Desarrollo de películas de harina de triticale como recubrimiento de productos de panificación tipo “muffins” y su efecto durante el almacenamiento

Presentada para la obtención del título
Magíster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Lic. Julieta C. Bartolozzo

2015

Trabajo realizado en:

Universidad Nacional de Córdoba

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba (ICYTAC)

Directora de tesis: Dra. Alicia Aguirre

Comisión de tesis:

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo a mis padres, porque gracias a ellos soy quien soy.

A mis hermanas, Flavia y “Pirita”, por estar siempre a mi lado.

A Daniel, por ayudarme y por elegirme para recorrer la vida juntos.

A Lucio, mi hijo, porque me llena el alma con su amor, simpatía y alegría.

A Gisel, por apoyarme y ser mi amiga incondicional, sin necesitar palabras siquiera.

A mis amigos, por estar siempre presentes y enseñarme cada uno a ver el mundo de una forma mejor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi Directora de tesis, la Dra. Alicia Aguirre, quien sin su conocimiento, aporte y dedicación no me hubiese sido posible la conclusión de este trabajo. También al Dr. Rafael Borneo por su contribución.

A todos los profesores que dictaron clases en esta Maestría, quienes aportaron para mi formación académica y profesional.

A las autoridades del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba (ICYTAC), quienes permitieron realizar mi trabajo de tesis en sus laboratorios.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTOS iii
RESUMEN vi
ABSTRACT viii
LISTADO DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS x
LISTADO DE FIGURAS xi
LISTADO DE TABLAS xiii
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Envases alimentarios 2
1.1.1. Películas y recubrimientos comestibles 4
1.1.1.1. Definición y características 4
1.1.1.2. Materiales formadores de películas y recubrimientos comestibles 5
1.1.1.3. Plastificantes 13
1.1.1.4. Proceso de formación y aplicación 15
1.1.1.5. Usos de películas y recubrimientos 18
1.2. Productos de panificación 21
1.2.1. Envejecimiento de productos de panadería 22
1.2.2. Productos panificados batidos tipo *muffin* 25
1.3. Generalidades y usos del triticale 28
OBJETIVOS 31
2. MATERIALES Y MÉTODOS 32
2.1. Materiales 32
2.2. Composición de la harina de triticale 32
2.2.1. Porcentaje de humedad 32
2.2.2. Porcentaje de proteínas 32
2.2.3. Cenizas 33
2.3. Preparación de la solución filmogénica 33
2.4. Formulación y elaboración de panificado tipo *muffin* 33
2.5. Aplicación de la película comestible: “sprayado” 35
2.6. Determinación de la calidad del panificado tipo *muffin* 36
2.6.1. Peso, volumen y peso específico 36
2.6.2. Medición de altura 36
2.6.3. Medición de color 37

2.6.4. Valor de Índice de pardeamiento “Browning Index” (BI) 39
2.6.5. Análisis de textura de la miga.....40
2.7. Determinación de la cinética de envejecimiento. Modelo de Avrami.....42
2.8. Análisis de imágenes.....43
2.9. Análisis sensorial.....47
2.10. Análisis estadístico 49
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 50
3.1. Características físico-químicas de la harina de triticale 50
3.2. Solución filmogénica.....50
3.3. Determinación de calidad de los *muffins* 51
3.3.1. Peso 52
3.3.2. Peso específico 53
3.3.3. Altura 55
3.3.4. Color.....55
3.3.5. Índice de pardeamiento (valor BI) 61
3.3.6. Análisis de textura 61
3.4. Cinética de envejecimiento. Modelo de Avrami.....65
3.5. Análisis de imágenes 67
3.6. Análisis sensorial.....74
4. CONCLUSIONES 76
5. BIBLIOGRAFÍA.....79
6. ANEXOS 94
ANEXO I: Test de triángulo para diferencias: número crítico (mínimo) de respuestas correctas 94
ANEXO II: Resumen del trabajo presentado en el “XIV Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de los Alimentos” en día 23, 24 y 25 de Octubre de 2013 en Rosario, Argentina. 95

RESUMEN

Desarrollo de películas de harina de triticale como recubrimiento de productos de panificación tipo "muffins" y su efecto durante el almacenamiento

En los últimos años las tendencias globales de mejoramiento de calidad y seguridad alimentaria han orientado nuevas líneas de investigación en el campo de los materiales de recubrimiento. El uso de polímeros biodegradables y renovables para la preparación de películas ha tenido gran crecimiento y, si bien se han hecho estudios de aplicación de películas biodegradables en carnes, frutas, vegetales o pescados, hay poca bibliografía sobre coberturas comestibles en productos de panificación. Los *muffins* son productos de panadería horneados en moldes pequeños muy apetecidos por ser dulces, esponjosos y suaves al paladar. Durante su almacenamiento se produce un fenómeno denominado envejecimiento, el cual se manifiesta por un deterioro de calidad y disminución de vida útil y de anaquel. Este proceso complejo incluye cambios que afectan las características del producto y disminuye la aceptabilidad del consumidor. Los objetivos del presente trabajo fueron desarrollar películas comestibles de cobertura a partir de harina de triticale, aptas para el recubrimiento de productos de panificación tipo *muffins*, y analizar su efecto durante el almacenado en comparación con *muffins* que no fueron recubiertos. Todos los *muffins* se prepararon con la misma formulación, sin conservantes. La solución filmogénica se elaboró con suspensiones de harina de triticale-agua y con glicerol como plastificante. La aplicación del recubrimiento se realizó por la técnica de "sprayado". Los *muffins* se almacenaron sin recubrimiento (controles) y con recubrimiento de harina de triticale, durante un período de 7 días en condiciones ambientales de humedad y temperatura. Se efectuaron las siguientes determinaciones: peso, volumen, peso específico, altura, color y textura; también se realizó un análisis de imágenes y análisis sensorial. El peso de los *muffins* controles sin recubrimiento disminuyó significativamente durante el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, el tiempo de almacenamiento no influyó significativamente en la pérdida de peso de *muffins* recubiertos con película de triticale. La cobertura mantuvo el peso

específico de los *muffins*, y en aquellos sin recubrimiento el peso específico aumentó significativamente con el tiempo. Ambos tipos de *muffins* se pusieron más amarillos y luminosos con el tiempo de almacenaje (menor a* y mayores b* y L*), aunque solamente en aquellos con recubrimiento la saturación de color (C*) aumentó. El incremento en la dureza de los *muffins* con el tiempo de almacenamiento fue mayor para aquellos que no estaban recubiertos, indicando mayor envejecimiento. La cinética de endurecimiento fue más rápida para *muffins* controles que para los *muffins* recubiertos. Los parámetros descriptivos de forma y tamaño en la estructura de la miga demostraron que el tiempo de almacenamiento incrementó de manera significativa el porcentaje de poros pequeños y disminuyó los valores de solidez de los poros de los *muffins* controles, mientras que no se encontró ninguna diferencia significativa en *muffins* recubiertos. Con un nivel de significancia del 5% no se observaron diferencias significativas en el análisis sensorial entre ambas muestras (sin y con recubrimiento) en la apariencia visual, sin embargo, se obtuvieron diferencias en el sabor. Estos resultados indicarían que el recubrimiento con películas en base a harina de triticale es una opción válida para aumentar la estabilidad de los *muffins* durante su vida en anaquel.

Palabras clave: *muffins*, film, recubrimiento, envejecimiento.

ABSTRACT

Triticale flour edible coating in bakery products like muffins: effects on storage

In recent years, global trends in quality improvement and food security have sparked new research in the field of coating materials. The use of biodegradable and renewable polymers for the preparation of films has had tremendous growth and, although there have been studies of application of biodegradable films in meats, fruits, vegetables or fish, there are very few studies on edible coatings in bakery products. Muffins are bakery products shaped in small molds that are much desired for their fluffiness, softness, and taste. During storage a phenomenon called staling occurs, which is manifested by deterioration in quality and a decrease in shelf life. This complex process includes changes affecting product characteristics and consumer acceptability. The objective of this work is to develop edible coating from triticale flour, apply it to bakery products like muffins and analyze their effect during storage compared to muffins that were not coated. The muffins were prepared with the same formula and without preservatives. The film forming solution was prepared with triticale flour suspensions and glycerol as plasticizer. The coating application was carried out by the technique of spraying. Coated and uncoated (control) muffins were stored for a period of 7 days at room temperature and humidity conditions. The following characteristics were assessed for both groups: weight, volume, specific weight, height, color, texture, as well as image analysis and sensory analysis. For uncoated muffins, features such as weight had a greater decrease during storage period. However, no significance difference was found for coated muffins over the storage time. Coated muffins conserve specific weight during storage period, while specific weight increased significantly over time for uncoated muffins. Both types of muffins became more yellow and bright with storage time (lower a* and higher b* and L*), but only for coated muffins, color saturation (C*) increased. The increase in hardness of the muffins during storage time was greater for uncoated, indicating increased staling. The kinetics of staling was also faster for uncoated muffins. Descriptive parameters of shape and size in the crumb structure showed that storage significantly increased the

proportion of small pores and decrease solidity values of pore in uncoated muffins, while no significant difference was found for coated muffins. With a significance level of 5%, no significant differences in sensory analysis between both samples in the visual appearance were observed; however, there were differences in taste. These results indicate that applying coating films based on triticale flour is a viable alternative to increase the stability of muffins during their shelf-life.

Keywords: muffins, film, coating, staling.

LISTADO DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

- a*: coordenada colorimétrica rojo-verde
- aw: actividad de agua
- b*: coordenada colorimétrica amarillo-azul
- C*: cromaticidad
- $CuSO_4$: sulfato cúprico
- dF: diámetro de Feret
- h: horas
- H: humedad
- %H: porcentaje de humedad
- H_0: firmeza inicial
- H_∞: firmeza límite
- HCl: ácido clorhídrico
- H_2SO_4: ácido sulfúrico
- H_2O_2: peróxido de hidrógeno
- H_3BO_3: ácido bórico
- k: constante de velocidad
- L*: luminosidad
- M: peso de la muestra
- Ms: peso de la muestra seca
- MinFeret: diámetro mínimo de Feret
- η: coeficiente de Avrami
- N: Newton
- NH_3: amoníaco
- NaOH: hidróxido de sodio
- Na_2SO_4: sulfato de sodio
- $(NH_4)\ BO_3$: borato de amonio
- s: segundos
- θ: fracción de cambio en la dureza

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Molécula de glicerol.....15

Figura 2. Molécula de sorbitol 15

Figura 3. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.....18

Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de *muffins*. 35

Figura 5. Representación gráfica del espacio CIElab. 38

Figura 6. Curva característica de Análisis de Perfil de Textura (APT). F1 (Pico máximo de la primera compresión) = Dureza o Firmeza. A2/A1 (Área 2 / Área 1) =Cohesividad. L2/L1 (Distancia 2 / Distancia 1) = Elasticidad. F1 x A2/A1 x L2/L1 (Dureza x cohesividad x elasticidad) = Masticabilidad.....40

Figura 7. Fotografía de *muffin* escaneado, mostrando el área seleccionada e imagen binarizada. 44

Figura 8. Circularidad: medida de forma en relación al círculo perfecto.....45

Figura 9. Diámetro de Feret: distancia mayor entre dos puntos cualesquiera a lo largo de dos tangentes paralelas que tocan los bordes opuestos del objeto de interés. 46

Figura 10. Modelo utilizado para las pruebas triangulares. 49

Figura 11. (a y b) Fotos de *muffins* controles (SC); (c y d) *muffins* recubiertos con película de harina de triticale (CC).....52

Figura 12. Peso de *muffins* (media ± desviación estándar, n=3). Diferentes letras indican diferencias significativas (p< 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento. 53

Figura 13. Peso específico de los *muffins* (media ± desviación estándar, n=3). Diferentes letras indican diferencias significativas (p< 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento. 51

Figura 14. Altura de los *muffins* (media ± desviación estándar, n=3). Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas (p< 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento. 55

Figura 15. (a) Corteza de *muffin* control, (b) corteza de *muffin* recubierto con película de harina de triticale.....56

Figura 16. Firmeza de los *muffins* (media ± desviación estándar, n= 6). Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas (p< 0,05). (SC): *muffins* sin recubrimiento; (CC): *muffins* con recubrimiento.....60

Figura 17. Efecto del recubrimiento con harina de triticale sobre la dureza de la miga de *muffins* sin recubrimiento (■, R^2= 0,99) y con recubrimiento ● , R^2= 0,90) a los días 0, 3, 5, 7 y 10 de almacenamiento 65

Figura 18. (a) Imagen escaneada de la miga del *muffin;* (b) Imagen binaria de este *muffin.* 68

Figura 19. Distribución de área de poro de la miga del *muffin* (SC: control y CC: con recubrimiento). Barras con diferente letra presentan una diferencia significativa (p≤ 0,05).....69

Figura 20. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre la circularidad de los poros en la miga de los *muffins*. Barras con diferente letra presentan una diferencia significativa (p≤ 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento. 70

Figura 21. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre relación de aspecto de poro de la miga de los *muffins*. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas (p< 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.....71

Figura 22. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre la redondez de poro de la miga de los *muffins*. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas (p< 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento. 72

Figura 23. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre la solidez de poro de la miga de los *muffins*. Barras con letras diferentes presentan diferencias significativas (p≤ 0.05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento. 73

Figura 24. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre los valores Feret y MinFeret de la miga de los *muffins*. Barras con letras diferentes presentan diferencias significativas (p≤ 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento. 71

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Composición de las fracciones proteicas de granos de triticale, trigo y centeno.....30

Tabla 2: Ingredientes de la formulación de *muffins*.....34

Tabla 3: Descriptores de forma 45

Tabla 4: Composición de la harina de triticale 50

Tabla 5: Medición de color de corteza de *muffins* 58

Tabla 6: Medición de color de miga de *muffins*.....60

Tabla 7: Valores de índice de pardeamiento (BI**)** de la corteza de *muffins* 61

Tabla 8: Parámetros de textura de *muffins*.....62

Tabla 9: Parámetros de Avrami para la cinética de dureza de la miga de los *muffins*.....63

Desarrollo de películas de harina de triticale como recubrimiento de productos de panificación tipo "muffins" y su efecto durante el almacenamiento

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las tendencias globales de la industria de los alimentos han orientado nuevas líneas de investigación. En la actualidad, los consumidores prefieren productos alimenticios saludables, mínimamente procesados, sin agregados químicos y de producción sustentable. Esta tendencia global hacia un mejoramiento de la calidad y seguridad alimentaria con menor impacto ambiental ha orientado nuevos avances en el campo del envasado y conservación de los alimentos.

Las preferencias y estilo de vida de los consumidores, así como los cambios en las prácticas de compras y la preocupación por la contaminación del medio ambiente, representan nuevos desafíos. Es por ello que el uso de polímeros biodegradables y renovables para la preparación de películas de recubrimiento ha tenido un gran crecimiento debido a las ventajas que presentan sobre los materiales tradicionales (Silvestre *et al.*, 2011). El desarrollo de films y revestimientos basados en biopolímeros producidos a partir de recursos renovables son los más implementados. Su uso se ha extendido a muchos alimentos: productos cárnicos y pescados tanto frescos como congelados, frutas y hortalizas enteras o en trozos, quesos y platos preparados, entre otros. Sin embargo, en productos panificados su utilización no se ha implementado masivamente, aunque es una alternativa tecnológica muy promisoria en este tipo de productos ya que se pueden crear películas y recubrimientos comestibles que pueden proveer una serie de ventajas, como aumentar la vida útil, ser soporte de aditivos y compuestos funcionales, mejorar las propiedades de manejo, retener compuestos de aroma y de sabor, evitar la pérdida y/o absorción de humedad, etc.

Los *muffins* son productos panificados batidos caracterizados por su masa liviana y esponjosa con alto contenido de humedad, lo que hace que tengan una vida útil inferior a la de las galletitas industriales. Una película comestible puede ser una alternativa tecnológica efectiva para aumentar su vida útil y mantener su calidad.

En los párrafos siguientes se hará una introducción sobre envases alimentarios, se revisaran los principales conceptos referidos a películas y recubrimientos comestibles. Posteriormente, se presentará el producto panificado elegido: *muffins.* Y por último, se describirá al triticale, cuya harina se utilizó como base para la elaboración de la película comestible de este trabajo.

1.1. Envases alimentarios

El envasado es una etapa muy importante en el procesado de alimentos, ya que la elección del material correcto es fundamental para contribuir a la preservación de la calidad del producto. El envase debe protegerlo de posibles daños microbiológicos y de cambios en sus atributos sensoriales, también funciona como contenedor y es un elemento de marketing dado que en éste se resaltan atributos del producto y se brinda información al consumidor (Parzanese, 2011).

De acuerdo con Yam *et al.* (2005) las funciones primordiales de un envase se pueden clasificar en cuatro categorías:

i. protección contra el mal manejo, factores ambientales y contaminación física o microbiana,
ii. presentar o informar al consumidor sobre el estado del alimento,
iii. conveniencia de acuerdo a las necesidades de la empresa productora y del consumidor,
iv. contención con la finalidad de controlar las características fisicoquímicas del alimento.

En la industria alimentaria los envases se han elaborado fundamentalmente a partir de polímeros sintéticos. Sin embargo, en los últimos 50 años se ha cuestionado ampliamente su uso, ya que la degradación de estas películas plásticas se lleva a cabo después de varios cientos de años y el proceso de reciclado es limitado, por lo que son consideradas como una fuente de contaminación para el medio ambiente (Magaña-Alemán, 2007).

En consecuencia, con el crecimiento de la población, los recursos naturales limitados y la contaminación ambiental, se planteó la necesidad de usar recursos renovables para producir películas biodegradables. Esto sumado a la demanda de

productos frescos, atractivos, nutritivos, seguros y convenientemente envasados para facilitar su distribución, transporte y uso en el hogar (Ribotta & Tadini, 2009), que en conjunto han dado lugar a la aparición de empaques que además de brindar protección frente al medio ambiente o al intercambio de gases y vapor de agua, mantengan la calidad sensorial, nutricional y microbiológica del producto empacado (Ouattara *et al.*, 2000; Cha & Chinnam, 2004; Han & Gennadios, 2005).

Los sistemas actuales de comercialización y distribución de productos alimentarios requieren de una adecuada selección de los materiales de envases y sistemas de envasado apropiados para cada tipo de producto. Para lograr este objetivo se requiere del conocimiento de las necesidades de protección de los productos a envasar, teniendo en cuenta los principales mecanismos de deterioro causantes de la pérdida de calidad y de la disminución de la vida útil del producto (Ribotta & Tadini, 2009).

Nuevas líneas de investigación están orientadas a resolver los inconvenientes antes citados utilizando películas biodegradables, las cuales son producidas exclusivamente a partir de ingredientes comestibles renovables y por lo tanto se prevé que se degradan más fácilmente que los materiales poliméricos tradicionales (Bourtoom, 2008). Además, las películas pueden mejorar las propiedades organolépticas de los alimentos envasados siempre que contengan diversos componentes (aromatizantes, colorantes, edulcorantes, etc.). Asimismo, pueden ser utilizadas para el envasado individual de pequeñas porciones de alimentos, en particular de productos que actualmente no están empaquetados individualmente, por razones prácticas, tales como peras, porotos, nueces y fresas (Bourtoom, 2008). También se pueden aplicar en el interior de los alimentos heterogéneos, en las interfases entre diferentes capas de componentes. Los envases pueden ser adaptados para evitar el deterioro por la humedad entre los componentes y la migración de solutos en alimentos como pizzas, tartas y dulces (Bourtoom, 2008).

Las películas pueden funcionar como envases activos, portadores de agentes antimicrobianos y antioxidantes. También se pueden utilizar en la superficie de los alimentos para controlar la velocidad de difusión de sustancias conservantes desde la superficie hasta el interior de la comida (Bourtoom, 2008). Otra posible aplicación para las películas comestibles, podría ser su uso en materiales de envasado de alimentos de

varias capas junto con películas no comestibles; en este caso, las películas comestibles serían las capas internas en contacto directo con los materiales alimenticios (Bourtoom, 2008).

1.1.1. Películas y recubrimientos comestibles

1.1.1.1. Definición y características

Un film o recubrimiento comestible es una capa continua y fina de material comestible, que se coloca sobre el alimento o bien separando distintos componentes del mismo; cuando la capa ha sido formada previamente a su aplicación sobre el alimento hablamos de film o película, sin embargo, cuando se forma directamente sobre el alimento, se trata de un recubrimiento (Quintero *et al.*, 2010).

Se define a las películas comestibles y recubrimientos como finas capas independientes elaboradas con polímeros capaces de proveer fuerza mecánica a esta estructura delgada. Los recubrimientos son una forma particular de película directamente aplicados sobre la superficie de los alimentos (Han & Gennadios, 2005) mediante el agregado de una solución líquida formadora de película, o por aplicación con un pincel ("paintbrush"), por atomización o pulverización ("spray"), inmersión ("dipping") o fluidización (Lacroix & Le Tien, 2005). La utilización de estas tecnologías tiene importantes ventajas como la reducción de los residuos de envases sintéticos y la incorporación de ingredientes funcionales dentro del material biodegradable obtenido de fuentes naturales (Vargas *et al.*, 2008).

Sin embargo, a pesar de la pequeña diferencia muchas veces los términos recubrimientos comestibles y películas comestibles se utilizan indistintamente para referirse a la aplicación de matrices transparentes y comestibles sobre las superficies de los alimentos, con el fin de servir de empaque y de preservar su calidad. Ambos funcionan de igual manera como barrera frente a las distintas sustancias que interactúan con el alimento (O_2, CO_2, vapor de agua, lípidos, sales, minerales, etc.) durante su almacenamiento y comercialización. Es por esto que la característica más importante e innovadora de los recubrimientos y películas comestibles es su capacidad de servir al

mismo tiempo de empaque y de tratamiento para la conservación del alimento (Parzanese, 2011).

Debido a que son considerados aditivos alimenticios y que es necesario que posean determinadas propiedades de barrera para la preservación de los productos, los recubrimientos y películas comestibles deben presentar las siguientes características:

i. Poseer propiedades nutricionales y organolépticas que sean compatibles con el alimento a recubrir.
ii. Presentar propiedades mecánicas adecuadas para evitar pérdidas por roturas o quiebre del material.
iii. Ser estables frente a las distintas condiciones de almacenamiento.
iv. Poder adherirse fácilmente a la superficie de los alimentos a tratar.
v. Responder a la reglamentación vigente (aditivos alimentarios).
vi. Requerir de tecnologías sencillas y de bajo costo para su fabricación y posterior aplicación (Parzanese, 2011).

La eficiencia funcional de las películas y cubiertas comestibles dependerá de la naturaleza de sus componentes, la composición de la película y su estructura. La selección de la sustancia formadora de la película estará en función del objetivo, de la naturaleza del producto donde se aplicará y del método de aplicación (Ribotta & Tadini, 2009).

1.1.1.2. Materiales formadores de películas y recubrimientos comestibles

Los materiales básicos para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles son proteínas, lípidos, fibras, celulosa y sus derivados, gomas y almidones (Andrade-Mahecha *et al.*, 2012). Todos ellos son agentes biopoliméricos capaces de formar una matriz estructural con cierta resistencia mecánica. No obstante, en algunos casos, especialmente cuando se usan las proteínas, se requiere del empleo de aditivos como los plastificantes para mejorar la resistencia y la elasticidad; en otros, se requiere de agentes tensoactivos, para incrementar la distribución de glóbulos hidrófobos dentro de una película compuesta de tipo emulsionada (Ribotta & Tadini, 2009).

Es importante destacar que las características funcionales de los recubrimientos y películas comestibles son consecuencia directa de la materia prima utilizada para su

fabricación, la cual debe ser obtenida de fuentes naturales para asegurar su biodegradabilidad (Parzanese, 2011).

Los componentes utilizados para la preparación de películas comestibles pueden ser clasificados en tres categorías: hidrocoloides (tales como proteínas, polisacáridos y alginatos), lípidos (tales como ácidos grasos, acilglicerol, ceras) y compuestos (Donhowe & Fennema, 1994); los cuales se describen a continuación:

- **HIDROCOLOIDES**

Son polímeros hidrofílicos (contienen grupos oxhidrilos) de origen vegetal, animal o microbiano. Durante los últimos años se expandió el desarrollo de películas biodegradables utilizando hidrocoloides como materia prima, porque presentan excelentes propiedades mecánicas así como de barrera frente al O_2, CO_2 y lípidos (Bourtoom, 2008). La desventaja es que por ser hidrofílicos permiten el transporte de humedad. Debido a que se denominan hidrocoloides a aquellas sustancias solubles o dispersables en agua, este término se aplica generalmente a sustancias compuestas por polisacáridos, aunque también algunas proteínas reciben esta clasificación (Parzanese, 2011).

a) POLISACÁRIDOS

• *Almidones*:

Su uso en la fabricación de films y recubrimientos es muy conveniente ya que son polímeros biodegradables, comestibles y sus fuentes son abundantes (maíz, trigo, papa, arroz, yuca, tapioca, etc.), renovables y de bajo costo (Pagella *et al.*, 2002).

El almidón está compuesto por amilosa (glucano lineal) y amilopectina (polímero ramificado) y la proporción entre ambos polímeros depende de su fuente de obtención (Bourtoom, 2008; Ribotta & Tadini, 2009). Forma un gel espeso translúcido después de la gelatinización, condición necesaria para formar la película, y la concentración requerida es baja (alrededor del 3%) (Ribotta & Tadini, 2009).

Las películas formadas a partir de almidón son descriptas como isotrópicas, inodoras, insípidas, incoloras, no tóxicas y biodegradables, y si el almidón es de tapioca, se incluyen propiedades como alta transparencia, alta resistencia a la acidez y menor costo en relación con los almidones utilizados tradicionalmente (Ribotta & Tadini, 2009).

Para disminuir la fragilidad de las películas de almidón, generalmente se requiere la adición de un agente plastificante tal como el glicerol, el sorbitol, ácidos grasos, lípidos y derivados, etc., lo que mejora su flexibilidad y extensibilidad. Una de las limitantes más importantes para el uso del almidón es su hidrofilicidad, no obstante sus películas ofrecen una buena barrera frente al oxígeno y al dióxido de carbono (Ribotta & Tadini, 2009).

• *Alginatos*:

Se obtienen de diferentes especies de algas, principalmente de *Macrocystis Pyrifera*. Presentan la propiedad de formar geles cuando se le adicionan iones calcio (Ca^{2+}) (Parzanese, 2011; Rubio-Anaya *et al.*, 2012).

Sus aplicaciones son variadas ya que poseen buenas propiedades de barrera frente al O_2 y lípidos, una de las más destacadas es en productos cárnicos frescos o congelados para evitar su deshidratación superficial. Además se lo utiliza en recubrimientos de partículas de café liofilizadas (Parzanese, 2011; Arzate-Vázqueza *et al.*, 2012).

• *Carragenanos*:

Se extraen de algas rojas como las especies *Chondrus* y *Gigarina*. Al igual que los alginatos requieren de la adición de sales de calcio para la formación de geles. Como resultado se obtienen películas transparentes, incoloras y de sabor ligeramente salado. Estas se aplican principalmente para retardar la pérdida de humedad de algunos frutos (Parzanese, 2011).

• *Pectinas*:

Corresponden a un grupo complejo de polisacáridos estructurales que están presentes en la mayoría de las plantas, principalmente en los cítricos. Para formar películas con este compuesto es necesario agregar una sal de calcio (cloruro de calcio) y plastificante. Forman películas menos rígidas que las de almidón y de menor resistencia a la tensión (Ribotta & Tadini, 2009). Debido a que son altamente permeables al agua su uso se limita a mejorar el aspecto de algunos productos como frutas secas (Parzanese, 2011).

• *Quitina y quitosano:*

La quitina es el polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa. Las principales fuentes de este biopolímero son el exoesqueleto de muchos crustáceos, las alas de algunos insectos, paredes celulares de hongos, algas, y otros (Bourtoom, 2008; Martínez-Camacho *et al.*, 2010).

Se trata principalmente de poli (beta-(1-4)-2-acetamida-D-glucosa), que es estructuralmente idéntica a la celulosa excepto que el hidroxilo secundario en el segundo átomo de carbono de la unidad de repetición de hexosa se sustituye por un grupo acetamida (Bourtoom, 2008).

En cuanto a su producción industrial, se basa mayormente en el tratamiento de los caparazones de crustáceos como camarones, langostas y cangrejos los cuales son obtenidos fácilmente como desechos de las plantas procesadoras de estas especies (Aider, 2010). Además, la quitina constituye la fuente industrial de quitosano ya que mediante un proceso de desacetilación química o enzimática (eliminación del 50% aproximadamente de sus grupos acetilos) ésta se convierte en quitosano, pudiendo obtenerse a gran escala (Bourtoom, 2008).

En los últimos años el quitosano se convirtió en el aditivo de alimentos de origen biológico preferido, debido a sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas (Aider, 2010; Martínez-Camacho *et al.*, 2010; Arzate-Vázqueza *et al.*, 2012), a su abundancia en la naturaleza y a su capacidad para formar películas (Bourtoom, 2008). Éstas se distinguen de las obtenidas a partir de otros polisacáridos por ser transparentes, de buenas propiedades mecánicas y de barrera frente al O_2 (Aider, 2010).

Las películas comestibles a base de quitosano son aplicadas en muchos productos, ya que pueden modificar el ambiente interno, lo que retrasa la maduración y disminuye la tasa de transpiración en frutas y verduras como frutillas, pimientos, pepinos, manzanas, peras, duraznos y ciruelas con el objetivo de preservar su calidad y actuar como agente antimicrobiano (Bourtoom, 2008; Aider, 2010).

• *Celulosa y derivados:*

La celulosa se compone de la repetición de unidades de D-glucosa unidas a través de enlaces glicosídicos β 1-4. En su estado nativo, los grupos hidroximetilo de la glucosa se encuentran alternativamente por debajo y por encima del plano de la cadena principal del polímero. Esto se traduce en el embalaje muy apretado de cadenas de

polímero y una estructura altamente cristalina que resiste la solvatación en medios acuosos (Bourtoom, 2008). La solubilidad en agua se puede aumentar mediante el tratamiento de la celulosa con alcalis, seguida de la reacción con ácido cloroacético, cloruro de metilo u óxido de propileno para producir carboximetilcelulosa (CMC), metilcelulosa (MC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) o hidroxipropilcelulosa (HPC) (Bourtoom, 2008).

Los derivados de la celulosa son considerados buenos agentes formadores de películas debido a su estructura lineal. Forman películas flexibles, resistentes y transparentes (Bourtoom, 2008) y a pesar de ser materiales hidrofílicos (Pei *et al.*, 2013), el tipo de sustituyente tiene efecto en la permeabilidad al vapor de agua; así la metil celulosa presenta la menor permeabilidad en relación con otros derivados. La hidroxi-propil celulosa es utilizada para retardar la absorción de humedad y el desarrollo de rancidez oxidativa (Ribotta & Tadini, 2009).

Generalmente las películas preparadas a partir de celulosa son resistentes a los aceites y a la mayoría de los solventes orgánicos no polares. Se emplean para controlar la difusión de O_2 y CO_2, a fin de retrasar el proceso de maduración en frutas y vegetales (Pavlath & Orts, 2009; Parzanese, 2011).

b) PROTEÍNAS

El proceso para la generación de una película a partir de biopolímeros como las proteínas involucra la desnaturalización y formación de enlaces cruzados, que pueden ser covalentes, puentes de hidrogeno, interacciones hidrofóbicas, interacciones electrostáticas o fuerzas de Van del Waals, entre otras. Un incremento en la temperatura propicia el establecimiento de enlaces disulfuro en películas proteicas (Guckian *et al.*, 2005), en tanto que interacciones electrostáticas se favorecen al trabajar a valores de pH alejados del punto isoeléctrico. El balance entre los diversos tipos de enlaces generados en la matriz de proteína se refleja en sus propiedades mecánicas y de barrera. En el caso de películas de redes particuladas, estas se pueden formar por arreglos al azar que dan por consiguiente la formación de agregados, “cluster-cluster”, inducidas por cambios de pH, fuerza iónica y la presencia de agentes desnaturalizantes (Fennema & Tannenbaum, 1985). La formación de películas es fuertemente influenciada por la concentración de proteína, temperatura de procesado, pH, fuerza iónica y composición del aislado proteico (van Vliet *et al.*, 2004). También el método de formación de la película puede

alterar las propiedades mecánicas de las películas de proteína (Park *et al.*, 2002; Wooster & Augustin, 2007).

Diversos tipos de proteínas han sido estudiados para la formación de películas y recubrimientos comestibles. Entre ellos se encuentran las proteínas de soya (Cho *et al.*, 2007; Denavi *et al.*, 2009; Zeng *et al.*, 2013; Mohseni *et al.*, 2014), cuyas películas son flexibles suaves y claras (Guilbert, 1986). También se han estudiado películas de zeína (obtenida del maíz) (Guo *et al.*, 2012; Marzo *et al.*, 2012), proteínas lácteas (Quinn *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2004; Rodriguez & Schöbitz, 2009; Ramos *et al.*, 2012; Bahram *et al.*, 2013; Mohseni *et al.*, 2014), de gluten de trigo (Hernandez-Muñoz *et al.*, 2003; Montalvo *et al.*, 2012), de colágeno (Arvanitoyannis *et al.*, 1997; Sobral *et al.*, 2001; Chambi & Grosso, 2006; Montalvo *et al.*, 2012; Pei *et al.*, 2013), de triticale (Aguirre *et al.*, 2011; Aguirre *et al.*, 2013a; Aguirre *et al.*, 2013b).

En general, las películas de origen proteico son una barrera pobre frente a la humedad (Pérez-Gago & Krochta, 2005; Montalvo *et al.*, 2012) pero son muy atractivas debido a sus propiedades de barrera contra aceites o grasas y compuestos volátiles, y su ventaja de permeabilidad a gases (Gontard *et al.*, 1992; Han & Krochta, 2007; Montalvo *et al.*, 2012). La incorporación y liberación de sustancias activas en estas películas es posible, pero esto depende tanto del tipo de proteína, así como de la estructura molecular del compuesto activo (Sivarooban *et al.*, 2008).

• *Proteínas de triticale*:

Las proteínas de origen agrícola son una fuente prometedora y sustentable de material biodegradable. Entre éstas se puede mencionar a las proteínas obtenidas a partir de la harina de triticale, las cuales presentan una adecuada capacidad de formación de película, con propiedades comparables a otros films comestibles elaborados a partir de diferentes materiales (Aguirre *et al.*, 2011; Aguirre *et al.*, 2013a). Las películas son flexibles, homogéneas y de pálido color amarillento. Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas de proteínas de triticale son de 2 a 3 veces órdenes de magnitud mayores que los polímeros sintéticos típicos de empaque pero están en el mismo rango que los valores de permeabilidad de películas comestibles elaboradas en base a proteínas. También se investigaron las propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas de películas de proteínas de harina de triticale adicionadas con aceite esencial de orégano. El agregado de aceite esencial de orégano a las películas de

proteínas de triticale produce que la matriz de los films sea menos densa, lo que facilita el movimiento de las cadenas poliméricas de proteínas, mejora la flexibilidad de los films y produce películas menos rígidas, el comportamiento típico de pequeñas moléculas que causan plastificación en un biopolímero. El efecto antimicrobiano del aceite esencial de orégano fue incorporado y expresado en las películas de proteínas de triticale (Aguirre *et al*., 2013b).

• *Proteínas del suero lácteo:*

El suero lácteo es un subproducto que se obtiene de la elaboración del queso y sus principales proteínas, la β-lactoglobulina y la α-lactoalbúmina al ser desnaturalizadas por el calor producen películas transparentes, insípidas y flexibles. Éstas son excelentes barreras al O_2, aunque resultan ser muy frágiles. Como solución a este inconveniente se detectó que sus propiedades mecánicas mejoran considerablemente mediante la adición de un agente plastificante, como el glicerol (Rodriguez & Schöbitz, 2009; Ramos *et al.*, 2012).

Dentro de sus aplicaciones se puede nombrar su uso como cobertura en productos sensibles al oxígeno, como nueces y maníes, para evitar su oxidación y prolongar su vida útil (Maté & Krochta, 1996), formación de recubrimientos comestibles anti-moho para quesos, envases destinados a la leche en polvo y otros productos deshidratados, en coberturas empleadas en derivados cárnicos (Parzanese, 2011) y en frutas frescas cortadas como manzanas (Mohseni *et al.*, 2014).

El concentrado de proteínas del suero lácteo posee propiedades funcionales apropiadas para la elaboración de películas biopreservantes, siendo factible la incorporación de bacterias acido lácticas productoras de sustancias tipo bacteriocina y así lograr un efecto controlador sobre *Listeria monocytogenes* al ser utilizada como cobertura sobre salmón ahumado (Rodriguez & Schöbitz, 2009).

• *Caseína:*

Los caseinatos son buenos formadores de películas emulsionadas por su naturaleza anfifílica, su estructura desordenada y su capacidad para formar puentes de hidrógeno. Las películas de caseinato presentan características favorables para uso en alimentos como transparencia y flexibilidad (Parzanese, 2011).

Se desarrollaron cubiertas protectoras para “brownies”, cubos de chocolate y donas a partir de caseinato de sodio, aceite de algodón, soja o maíz y un plastificante (Ponce *et al.*, 2008).

• *Colágeno:*

Es el mayor constituyente de la piel, tendones y tejidos conectivos, y se encuentra extensamente distribuido en las proteínas fibrosas de los animales. Las películas comestibles obtenidas a partir de esta proteína se aplican desde hace tiempo en productos y derivados cárnicos, principalmente como recubrimiento de salchichas y otros embutidos. Los beneficios que presenta este tipo de recubrimiento son evitar la pérdida de humedad y dar un aspecto uniforme al producto mejorando sus propiedades estructurales (Arvanitoyannis *et al.*, 1997; Sobral *et al.*, 2001; Chambi & Grosso, 2006; Parzanese, 2011).

• *Zeína:*

La zeína es una prolamina y la principal proteína de reserva del maíz. Se caracteriza por ser un material relativamente hidrofóbico y termoplástico por lo cual forman películas fuertes, con brillo, resistentes al ataque microbiano, insolubles en agua, con propiedades antioxidantes y capacidad de adhesión (Guo *et al*., 2012; Mendoza & Maté, 2012; Marzo *et al.*, 2012).

- **LÍPIDOS**

Contrariamente a los hidrocoloides, los lípidos se caracterizan por ser hidrofóbicos y no poliméricos, presentando excelentes propiedades de barrera frente a la humedad. Dentro del grupo de lípidos aplicados a recubrimientos y films comestibles se pueden mencionar las ceras, resinas, ácidos grasos, monogliceridos y digliceridos, siendo la cera de parafina y la cera de abeja las más eficientes (Bourtoom, 2008).

La función principal de un recubrimiento de lípidos es bloquear el transporte de humedad debido a su baja polaridad (Bourtoom, 2008). La característica negativa de estas sustancias es su escasa capacidad para formar films, es decir que no poseen suficiente integridad estructural ni durabilidad, forman películas gruesas y frágiles (Bourtoom, 2008). No obstante se los utiliza principalmente como protección de frutas, aplicándose una capa lipídica externa como suplemento a la cera natural que poseen los frutos, la cual es generalmente removida durante el lavado. Asimismo se emplean como

barrera entre los distintos compuestos de un alimento heterogéneo, como soporte de aditivos liposolubles y para dar brillo a los productos de confitería (Rhim & Shellhammer, 2005).

- **COMPUESTAS**

Como su nombre lo indica las películas compuestas son formuladas mediante la combinación de hidrocoloides y lípidos permitiendo aprovechar las ventajas funcionales que presenta cada uno, reduciendo las características desfavorables (Krochta *et al.*, 1994).

Según la ubicación en el espacio de los lípidos respecto a los hidrocoloides, los recubrimientos y películas compuestas pueden ser de dos tipos:

- *Laminadas:* se configuran mediante la superposición de un capa lipídica sobre una de hidrocoloides, formando una bicapa. De esta manera se logra una distribución homogénea de los lípidos controlando de manera satisfactoria la transferencia de agua (Tharanathan, 2003).
- *Emulsiones:* se trata de mezclas heterogéneas de lípidos dentro de una matriz de hidrocoloides, obtenidas por emulsión o microemulsión. Este tipo de películas son menos eficientes respecto a la transferencia de humedad ya que no se logra una distribución homogénea de los lípidos (Pérez-Gago & Krochta, 2005; Karbowiak *et al.*, 2007).

1.1.1.3. Plastificantes

En la preparación de películas biodegradables se utilizan una gran variedad de plastificantes. Los plastificantes se agregan a la solución filmogénica para mejorar las propiedades finales de las películas. Estos aditivos son generalmente pequeñas moléculas de bajo peso molecular y alto punto de ebullición (Aguirre *et al.*, 2013b).

La manera en que los plastificantes afectan las propiedades de los films depende de factores tales como el tipo de plastificante que sea (tamaño molecular, número total de grupos oxidrilo, configuración), su concentración y el tipo de polímero que se forme. Los plastificantes normalmente generan una mezcla homogénea sin separación de fase. Sin embargo, en algunos trabajos se observa una separación de fase

entre plastificante y polímero que es atribuida a un exceso de plastificante o a incompatibilidad entre ellos (Yang & Paulson, 2000).

Los grupos polares (-OH) de las cadenas de los plastificantes desarrollan puentes hidrógeno polímero-plastificante (Mangavel *et al.*, 2003) que reemplaza las interacciones polímero-polímero en los films. El peso molecular, su configuración y el número total de grupos funcionales del plastificante, así como su compatibilidad con el biopolímero pueden afectar la interacción polímero-plastificante.

Se han propuesto muchas teorías para dar cuenta del mecanismo de acción de los plastificantes (di Gioia & Guilbert, 1999):

- En la "teoría de la lubricidad", el plastificante actúa como un lubricante para facilitar los movimientos de las macromoléculas unas sobre otras.
- La "teoría del gel" considera la disrupción de las interacciones polímero-polímero (puentes de hidrógeno, uniones de tipo van der Waals o fuerzas iónicas).
- La "teoría del volumen libre" establece que hay un mayor volumen libre disponible para que las moléculas del polímero puedan moverse. Esta teoría reconoce como plastificante al componente capaz de impartir un mayor volumen libre por volumen de material.

Más allá de la teoría que consideremos, o la que sea más apropiada en cada caso, la acción de un plastificante es interponerse entre las cadenas de polímero y alterar las fuerzas que las mantienen unidas (Aguirre *et al.*, 2013b).

Los plastificantes como el glicerol, el sorbitol, el monoglicérido acetilado, el polietileno glicol, la sacarosa y algunos aceites comestibles, pueden ser utilizados para modificar las propiedades mecánicas de las películas. La incorporación de moléculas pequeñas en la red polimérica que conforma la cubierta o película puede, a su vez, modificar sus propiedades de barrera (Ribotta & Tadini, 2009). Los polioles son los plastificantes más utilizados en la formación de películas comestibles, y al igual que otros agentes de plastificación tienen efecto en las propiedades mecánicas, en las de sorción de agua, en la permeabilidad al vapor de agua y en la temperatura de transición vítrea, al debilitar la fuerza de las interacciones macromoleculares. Cabe mencionar que la permeabilidad al vapor de agua y a los gases a través de una película, es mayor arriba de su temperatura de transición vítrea (Talja *et al.*, 2007).

Debido a sus características el glicerol y el sorbitol son ampliamente usados en la preparación de films biodegradables. El glicerol (peso molecular 92 D) es una molécula higroscópica (Figura 1) cuyo punto de ebullición a presión atmosférica es 290°C, aunque es menor en presencia de agua. El sorbitol (Figura 2) es una molécula lineal de 6 carbonos y peso molecular de 182 D.

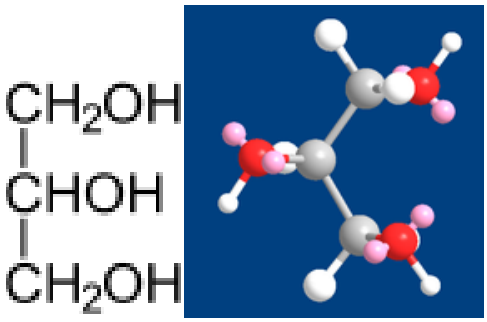

Figura 1. Molécula de glicerol

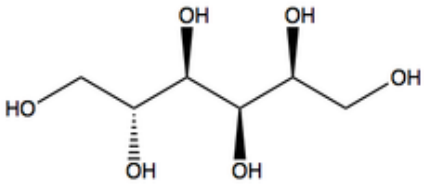

Figura 2. Molécula de sorbitol

1.1.1.4. Proceso de formación y aplicación

La formación de películas y recubrimientos requiere de al menos un componente capaz de formar una matriz estructural con suficiente cohesividad. En muchos casos, se prefiere el uso de varias sustancias, para contar con las propiedades funcionales complementarias de cada componente y para minimizar sus desventajas (películas o recubrimientos compuestos). La mayoría de las películas compuestas estudiadas utilizan un componente hidrófobo, con frecuencia un lípido y usualmente un hidrocoloide para la matriz estructural. Las sustancias formadoras de películas son capaces de formar estructuras continuas mediante el establecimiento de interacciones entre

macromoléculas, ya sea por reacciones de naturaleza química o por interacciones electrostáticas o hidrofóbicas (Ribotta & Tadini, 2009). El material para preparar recubrimientos aptos para su uso en alimentos puede ser formulado a partir de lípidos, proteínas, polisacáridos o a partir de combinaciones de ellos (Khan et al., 2014).

En general, la formación de una película o cubierta involucra uno de los siguientes procesos:

- fusión y solidificación de grasas, ceras y resinas,
- coacervación simple, donde un hidrocoloide disperso en una solución acuosa es precipitado o forma un gel debido a la remoción del solvente, a la adición de un no electrolito que vuelve insoluble al hidrocoloide, a la adición de un electrolito que induce el proceso "salting out", o a la modificación del pH de la solución,
- coacervación compleja, donde dos soluciones de hidrocoloide con cargas opuestas son combinadas, lo que induce interacciones y la precipitación de la mezcla biopolimérica,
- coagulación térmica mediante el calentamiento de la solución biopolimérica, que induce la desnaturalización, la gelación, la precipitación, o mediante un rápido enfriamiento de la solución de hidrocoloide que induce una transición sol–gel, por ejemplo (Debeaufort *et al.*, 1998).

Para que los recubrimientos y películas comestibles resulten eficientes respecto a la conservación y empaque del alimento es esencial que su proceso de fabricación y posterior aplicación se lleve a cabo de manera correcta. Si bien, existen varias técnicas tanto para la obtención como para la aplicación de aquellas, cada una de ellas deben respetar o cumplir con cinco etapas principales:

a) Formulación y obtención de los recubrimientos mediante la técnica adecuada (eliminación del solvente, solidificación de la mezcla, gelificación, extrusión, coacervación, pulverización, etc.).
b) Aplicación de la matriz comestible sobre la superficie del producto.
c) Adhesión del material que compone la película o recubrimiento a la superficie del alimento.
d) Formación del recubrimiento comestible sobre la matriz alimenticia. Cuando se trata de película comestible por ser premoldeadas ya están constituidas cuando se aplican al producto.

e) Estabilización de las capas continuas del recubrimiento comestible o de la película comestible mediante secado, calentamiento, enfriamiento o coagulación, lo cual depende tanto de la técnica para la aplicación elegida como de la formulación de la película o recubrimiento (Parzanese, 2011).

Existen varios métodos para la correcta aplicación de las matrices comestibles sobre los alimentos (Andrade *et al.*, 2012).

Las siguientes técnicas se utilizan para la formación de recubrimientos comestibles:

- **Inmersión**: consiste en la aplicación de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución filmogénica preparada. Se utiliza especialmente en aquellos alimentos cuya forma es irregular que requieren de una cobertura uniforme y gruesa. Es importante que el producto a tratar esté previamente lavado y secado, y que una vez retirado de la solución se deje drenar el excedente de solución para lograr un recubrimiento uniforme.
- **"Spray":** es la más utilizada (Andrade *et al.*, 2012). Esta técnica se basa en la aplicación de la solución filmogénica presurizada. Permite obtener recubrimiento comestible más finos y uniformes. Se usa en alimentos de superficie lisa o para la separación de componentes de distinta humedad de un alimento compuesto, por ejemplo en platos preparados como pizzas u otros. El recubrimiento por atomización ("spray coating") es usado para lograr resultados uniformes sobre el alimento ya que, a diferencia de otros sistemas, permite aplicar la suspensión líquida sobre superficies extensas. En la bibliografía se han descripto recubrimientos por spray o atomización de gelatina bovina en carnes, pescado y pollo (Antoniewski *et al.*, 2007). En galletitas, la aplicación por esprayado de una solución de lípidos y polisacáridos confirmó el potencial uso de esta técnica en un envase comestible como parte integral del alimento (Andrade *et al.*, 2012).

  Si bien la atomización requiere de contacto gota-gota y agregación, el cual es un paso crítico en la formación de una película de estructura homogénea, tiene la ventaja de poder combinar sustancias hidrofóbicas e hidrofílicas. El proceso de atomización comienza forzando a un líquido pasar a través de una boquilla. La energía potencial del líquido (medida como presión de líquido y aire por la boquilla) junto con la geometría de la boquilla causa que el líquido emerja como

pequeñas gotas. En spray de recubrimientos comestibles, la eficiencia depende de la distribución de tamaño de las gotas, siendo las de menor tamaño las mejores para lograr una cobertura homogénea (Andrade *et al.*, 2012).

1.1.1.5. Usos de películas y recubrimientos

La utilización de películas comestibles sobre productos alimenticios se realiza desde hace años, con los objetivos de aumentar el tiempo de almacenamiento y mejorar el aspecto de muchos alimentos. Como ejemplo se puede mencionar el empleo de cera para retrasar la deshidratación de los cítricos que se realiza en China desde los siglos XII y XIII (Parzanese, 2011).

Actualmente el uso de películas comestibles se ha extendido a muchos alimentos, debido al desarrollo de formulaciones innovadoras respecto a los biopolímeros utilizados para su composición. Según el tipo de biopolímeros (proteínas, polisacáridos, lípidos) que componga la película o recubrimiento comestible sus características y funciones serán diferentes, ya que están ligadas a la composición química y estructural del mencionado biopolímero. Dichas funciones están asociadas a la preservación de la calidad de los alimentos sobre los cuales se aplica y consisten principalmente en servir como barrera en la transferencia de distintas sustancias, desde el alimento hacia el exterior y viceversa (Parzanese, 2011) (Figura 3).

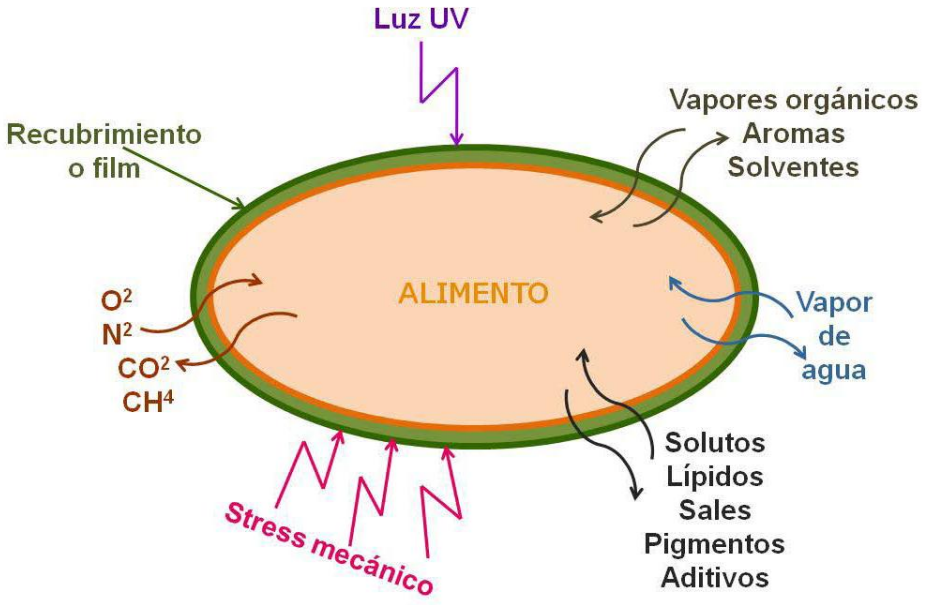

Figura 3. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.

FRUTAS Y HORTALIZAS

El uso de una película o recubrimiento comestible en productos altamente perecederos, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como el costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial (Quintero *et al.*, 2010). Estas características son influenciadas por parámetros tales como el tipo de material implementado como matriz estructural, las condiciones bajo las cuales se preforman las películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras), y el tipo y concentración de aditivos (plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc.) (Guilbert *et al.*, 1996; Rojas-Graü *et al.*, 2009).

Los biopolímeros más utilizados en este tipo de films son ceras, derivados de la celulosa, almidón, gomas, alginatos, quitosano y proteínas. Con ellos, más la adición de plastificantes y otros aditivos específicos, se formulan los distintos tipos de recubrimientos adecuándose a las características que presentan la fruta u hortaliza a tratar. Es necesario que estos recubrimientos exhiban óptimas propiedades de barrera tanto a gases (O_2 y CO_2) como al vapor de agua, debido a que las pérdidas en la calidad de estos productos se vinculan principalmente a procesos metabólicos de respiración y transpiración (Lin & Zhao, 2007; Dhall, 2013).

CARNES Y PESCADO

En la industria cárnica y pesquera la aplicación de películas y recubrimientos comestibles se desarrolla con el fin de controlar o reducir la pérdida de humedad de los productos y como soporte para la adición de agentes antimicrobianos u otro tipo de aditivos. Los beneficios que brindan estos tratamientos en carnes y pescado son los siguientes:

- Inhibir el crecimiento de bacterias patógenas que producen el deterioro.
- Ayudar a controlar la humedad del alimento, evitando pérdidas de textura, sabor, cambio de color y peso del producto.
- Mejorar la presentación o aspecto del producto.

- Evitar o disminuir la oxidación de los lípidos y la mioglobina.
- Mantener la humedad y disminuir la absorción de aceite o grasa durante la fritura de los productos cárnicos.

Es importante destacar que muchos de los biopolímeros utilizados como materia prima en la elaboración de películas o recubrimientos comestibles para productos cárnicos o pescados son derivados de estas industrias. Por ejemplo la queratina se extrae de las plumas de las aves de corral, la gelatina deriva del colágeno procedente del tejido conectivo animal, entre otros (Parzanese, 2011).

QUESOS

Los recubrimientos comestibles para quesos se aplican con el fin de evitar aquellos problemas que se presentan durante el tiempo de almacenamiento. Por ejemplo, se comprobó que recubrimientos comestibles formulados a partir de almidón, glicerol, sorbato de potasio y ajo en polvo inhiben el crecimiento de hongos sobre la superficie a la vez que disminuyen la pérdida de peso de los quesos. De esta manera se logra aumentar el tiempo de vida útil de estos productos (Parzanese, 2011).

Ramos *et al*. (2012) evaluaron la eficacia de recubrimientos comestibles antimicrobianos para envolver quesos, preparados a partir de proteína de suero de leche, glicerol, goma guar, aceite de girasol y Tween 20, como matriz base, junto con varias combinaciones de ácido láctico y compuestos antimicrobianos; y concluyeron que el recubrimiento era efectivo para reducir la pérdida de agua, dureza y cambio de color, como así también inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos o contaminantes.

PANIFICADOS

Los recubrimientos emulsionados son eficientes para prolongar la vida útil de productos de panificación de bajo contenido de humedad y para los productos extrudidos, tales como biscuits y cereales para desayuno, entre otros, ya que contribuyen a evitar la pérdida de crujibilidad por efecto de la absorción de agua durante el almacenamiento. Específicamente, este tipo de recubrimiento controla la

transferencia de agua, con lo que se mantiene e incluso mejora la calidad del producto en el que se aplica (Ribotta & Tadini, 2009)

Un ejemplo de aplicación de una película basada en polisacáridos (pectina) para prolongar la vida útil del pan retardando la retrogradación del almidón es el reportado por Baeva & Panchev (2005), quienes seleccionaron a la pectina por retener fuertemente la humedad, ser fácilmente plastificable y porque puede absorber grupos lipoides ya que posee grupos hidrofóbicos en su composición. La aplicación fue realizada en pastel tipo esponja, y encontraron que se mantuvo la microestructura de la miga sin cambios aparentes después de 6 días de haber sido elaborado. Al cuantificar los cambios en los estados del agua ligada (ligeramente y fuertemente ligada), se encontró que la película sólo permitía pequeños cambios (reducción de 4,5%), en relación con un control sin recubrimiento (reducción de 16%), y que la cantidad de agua fuertemente ligada en la miga del pastel con pectina fue 1,5 veces mayor que para el control. El recubrimiento con pectina también tuvo efecto en las propiedades mecánicas de la miga, al favorecer las características de frescura del producto.

Una mezcla de polisacáridos (almidón y metilcelulosa) y aceite de soya fue utilizada para producir un recubrimiento emulsionado para galletas cracker y cereales de desayuno, aplicándola por *sprayado*. Ello fue suficiente para prolongar la vida útil de esos productos, incluso a humedades relativas de almacenamiento de 85% (Bravin *et al.*, 2006; Ribotta & Tadini, 2009).

1.2. Productos de panificación

Los últimos años han sido sumamente activos en cuanto al número de lanzamientos al mercado de productos de panadería, fundamentalmente en Europa y Estados Unidos. Los principales atributos de posicionamiento de estos productos en el mercado son: sin aditivos y bajos en grasas trans. Todos los constituyentes de la masa tienen alguna relevancia en el proceso de panificación. La presencia de los distintos componentes, ya sea de la propia harina (carbohidratos, lípidos y proteínas) como los añadidos (sal, azúcares, grasas, etc.) dan lugar a un producto de determinada calidad e influyen en los cambios de ésta durante un posterior almacenamiento.

La función esencial de un envase para un producto panificado es la de disminuir su deterioro. Se entiende por deterioro de un alimento a cualquier cambio en sus características que produzca pérdida de calidad y modificaciones del sabor o la textura del producto, que generen el rechazo de los consumidores (Kilcast & Subramaniam, 2000). Los problemas de deterioro de los productos de panificación se pueden subdividir en físicos, químicos o microbiológicos. El proceso de deterioro predominante, en cada tipo de producto, está determinado por una serie de factores interrelacionados, entre los cuales se pueden mencionar: temperatura y humedad de almacenamiento, pH, contenido de conservantes, materiales de envase, uso de gases en el medio que rodea al producto, y lo más importante, el contenido de humedad y la actividad de agua del producto (Kilcast & Subramaniam, 2000; Ribotta & Tadini, 2009).

La pérdida o ganancia de humedad es un problema frecuente en productos de panificación. El cambio en el contenido de humedad puede afectar la textura del producto e incluso puede facilitar el deterioro químico y microbiológico en productos de humedad baja e intermedia. El intercambio de humedad con el medio externo se puede controlar mediante una adecuada selección de materiales para envasar los productos de panificación (Ribotta & Tadini, 2009).

1.2.1. Envejecimiento de productos de panadería

El deterioro físico más importante que puede ocurrir en los productos de panificación es el envejecimiento, siendo en general, uno de los atributos más importantes referidos a la calidad de estos productos ya que los productos de panadería envejecen relativamente deprisa. Dentro de los productos clasificados como de "horneado dulce", los *muffins* envejecen relativamente más deprisa que otros con mayor porcentaje de azúcar y grasa, como por ejemplo los *donuts*.

Entre la serie de cambios físicos que ocurren durante el envejecimiento los de mayor relevancia son: la redistribución de la humedad entre almidón y gluten, retrogradación del almidón, aumento de la dureza, pérdida de sabor y aromas y cambios en la textura (Ying *et al.*, 2006; Luna-Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011; Luyts *et al.*, 2013).

Los mecanismos del envejecimiento han sido objeto de numerosas investigaciones. Algunos estudios sugieren que el envejecimiento se debe a la migración de humedad desde la miga hacia la corteza, y más específicamente desde el almidón hacia el gluten. Productos con alta humedad, tales como pan y bizcochos, envejecen más rápidamente que los productos de humedad baja, tales como galletas. El envejecimiento no es un fenómeno simple de pérdida de humedad o migración de agua; también se ha visto que la cristalización de los componentes del almidón (amilosa y amilopectina) tiene gran influencia en la velocidad e intensidad del envejecimiento de los productos de panificación (Ribotta & Tadini, 2009; Bosmans *et al.*, 2013).

En general, los productos de panificación presentan importantes gradientes de humedad entre el exterior y el interior de las unidades. Esto ocasiona cambios internos en la humedad del producto (redistribución interna de la humedad) hasta alcanzar la humedad de equilibrio, así como la pérdida de humedad externa con la consiguiente deshidratación superficial de los productos, lo que genera endurecimiento de la miga y pérdida de crocancia de la corteza (Ribotta & Tadini, 2009).

Respecto a los deterioros químicos que sufren los panificados el principal es la oxidación de lípidos, que ocurre en presencia de oxígeno y de catalizadores, especialmente en productos de bollería con alto contenido en grasas insaturadas. La oxidación lipídica produce sabores y olores desagradables que conllevan su pérdida de calidad y rechazo del producto por parte del consumidor (Ribotta & Tadini, 2009). Existen dos formas fundamentales de deterioro de la materia grasa en productos de panificación, la rancidez oxidativa y la rancidez hidrolítica. La rancidez oxidativa implica la degradación de los ácidos grasos insaturados por el oxígeno a través de una reacción autocatalítica vía radicales libres; como productos finales de degradación se liberan aldehídos, cetonas y ácidos grasos de cadena corta, que afectan severamente los atributos sensoriales de los productos. La rancidez hidrolítica puede ocurrir en ausencia de oxígeno y se produce por hidrólisis de los enlaces ester que unen al glicerol con los ácidos grasos en los triglicéridos. Este tipo de rancidez es provocado por enzimas (lipasas) en presencia de humedad, las que pueden provenir de la harina, especias y microorganismos (Jensen & Risbo , 2007).

El tratamiento para reducir la rancidez oxidativa se realiza mediante el uso de antioxidantes tales como butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), α-

tocoferol, o bien a través del desplazamiento del oxígeno atmosférico del interior del envase, mediante el sistema de envasado bajo atmósfera modificada (Ribotta & Tadini, 2009). En cualquiera de los casos, el material de envase debe tener propiedades de barrera al oxígeno, necesarias para reducir el intercambio de oxígeno con el ambiente. La rancidez hidrolítica se controla evitado la presencia de lipasas de distinto origen, principalmente mediante el uso de buenas prácticas de manufactura. Hay diversas líneas de investigación en las cuales se estudia el agregado de antioxidantes a películas comestibles (Han & Krochta, 2007). Actualmente se busca sustituir ese tipo de antioxidantes por compuestos naturales como el extracto de romero (Frutos & Hernández–Herrero, 2005; Antunes *et al.*, 2012; Alikhani, 2014).

En cuanto lo que se refiere al deterioro microbiológico el crecimiento de hongos es el principal factor limitante de la vida útil de los productos de panificación con actividad de agua alta e intermedia. Uno de los factores más importante que condiciona el deterioro microbiano en los productos de panificación es la actividad de agua (aw). En productos con aw < 0,6 el desarrollo de microorganismos no es un problema importante. En productos de humedad intermedia, las levaduras osmofílicas y mohos son la causa principal del deterioro microbiano. En productos de humedad alta, con alta aw, pueden crecer la mayoría de las bacterias, levaduras y mohos (Ribotta & Tadini, 2009). Asimismo, el principal problema que limita la vida útil de los productos de panificación de humedad intermedia y alta es el desarrollo de mohos. Muchos mohos son capaces de desarrollarse a valores de aw > 0,8, mientras que pocos mohos xerofíticos se pueden desarrollar a niveles de aw < 0,65 (Smith *et al.*, 2004). Aunque los productos de panadería recién horneados están libres de mohos vegetativos y esporas, los productos se contaminan durante las operaciones posteriores a la cocción, especialmente por las esporas presentes en el aire y en las superficies que están en contacto con el producto (mesones de trabajo, máquinas rebanadoras), manipuladores e ingredientes que se agregan después del horneado, tales como recubrimientos, brillos o decoraciones que no han sido sometidos a tratamiento térmico previo (Ribotta & Tadini, 2009).

Retardar el ritmo de envejecimiento por medios tecnológicos tales como el procesado, la formulación, diversas condiciones de almacenamiento y uso de aditivos, ha proporcionado limitados beneficios. Por ello, es necesario desarrollar técnicas que reduzcan el ritmo de envejecimiento en productos horneados sin afectar adversamente

sus propiedades. Si bien el envasado mejorado puede llevar a una reducción pero no eliminación del envejecimiento, los *muffins*, como otros productos horneados, pueden y son generalmente vendidos sin envasar.

1.2.2. Productos panificados batidos tipo *muffin*

Los "muffins" son productos panificados batidos cuyos ingredientes principales son: harina, manteca, azúcar, huevo y leche. Aunque no son productos típicos de la pastelería tradicional, están teniendo un auge en el mercado, ya que presentan gran versatilidad de colores y sabores, y son muy apreciados por niños y ancianos.

En nuestro país, las ventas de alimentos y bebidas representan el 67% del total de ventas en supermercados. Dentro del rubro, el 39% son ventas de productos de almacén, con la diversidad de productos que incluye, un 17% son ventas de bebidas, un 16% y un 15% son ventas de lácteos y carnes respectivamente, un 6% verduras y frutas, un 5% productos de panadería y un 2% alimentos preparados y rotisería, en términos nominales. La tendencia registrada en los últimos meses mostró que las ventas de productos de panadería en supermercados registraron el crecimiento más alto, 86% anual, seguidas por las ventas de productos lácteos con un alza del 56% anual (http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/AyB/informes/AyB_ITrim_2014.pdf). El incremento del consumo de los productos batidos se atribuye a una mayor oferta de presentaciones, variedad de nuevos sabores, productos con agregados y a la mayor participación de marcas del distribuidor (marcas blancas) en el mercado. En el caso de las magdalenas, vainillas y *muffins*, el principal canal de comercialización lo constituyen las panaderías, los súper e hipermercados. Las ventas de *muffins* rellenos son menores en los meses de alta temperatura, sin embargo, se incrementan notablemente en los meses de frío. En cambio, los *muffins* sin relleno, mantienen su nivel de ventas constante a lo largo de todo el año. Los productos batidos son consumidos por todas las clases sociales, dependiendo, en algunos casos, de la variedad de producto y de la capacidad de compra del consumidor. Sin embargo, no se ubican dentro de la canasta básica de alimentos, con lo cual, en épocas de recesión se consumen en menor proporción. Los representantes en Argentina, de empresas de tecnología para la producción de productos batidos, como las magdalenas y *muffins*, señalan un crecimiento de la demanda de este tipo de equipamiento

(http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/ProductosBatidos_2011_08Ago.pdf). El negocio de los *muffins*, magdalenas y *cupcakes* está en auge, las ventas de estos productos están sobrepasando las tortas y logrando alta rivalidad con la venta de galletas.

El origen de los *muffins* se encuentra en Inglaterra, con referencias en recetarios a partir de 1703. Su nombre deriva de la palabra original *moofin*, cuyo origen puede deberse a una adaptación de la palabra francesa *moufflet* (pan suave) (Lezcano, 2011). A partir de la década de 1950 se comenzaron a comercializar distintos paquetes de *muffins*, tanto en Inglaterra como en Estados Unidos en cafeterías y pastelerías.

Los *muffins* son leudados químicamente, poseen una corteza delgada, la parte superior simétrica, con un contorno con forma de hongo champiñón. Los agujeros de la miga son redondos y de tamaño mediano, y las paredes de las celdas muy delgadas. Son ligeros y de miga suave (Charley, 1987). Son dulces, con alto contenido calórico y altamente apreciados por los consumidores debido a su buen sabor y textura suave (Martínez-Cervera *et al.*, 2012).

La formulación de los *muffins* contiene una proporción de grasa que se encuentra entre 18 y 40 %, respecto al peso total de la harina (Hui, 2006). Su masa es una emulsión compleja de grasa en agua compuesta de una mezcla de huevo-sacarosa-agua-grasa como fase continua y burbujas como fase discontinua. Se caracterizan por una estructura porosa típica y alto volumen que le confieren una textura esponjosa. Para obtener tales características la estructura final de la preparación debe ser estable para alojar las numerosas burbujas de aire pequeñas (Martínez-Cervera *et al.*, 2012).

La sacarosa, principal componente del azúcar industrial, es un ingrediente muy importante en la formulación de los *muffins*, ya que realiza múltiples funciones en este tipo de producto horneado: contribuye al sabor dulce, al volumen de la masa, ayuda a que el producto mantenga su buena humedad durante el horneado y limita la hinchazón del almidón, lo que ayuda a crear una textura más fina (Martínez-Cervera *et al.*, 2012). Un papel fundamental que desempeña este ingrediente, es el retardo de la gelatinización del almidón y las temperaturas de desnaturalización de las proteínas durante la cocción; de modo que las burbujas de aire pueden ser adecuadamente ampliadas por el dióxido de carbono y el vapor de agua (Beesley, 1995). Como resultado, la estructura es altamente aireada y voluminosa (Baeva *et al.*, 2003). Además, la sacarosa promueve los

agregados de grasa lo que mejora el atrapamiento de aire y la estabilización de las burbujas de aire durante la cocción (Martínez-Cervera *et al.*, 2012).

El azúcar presente en la formulación también es el responsable del pardeamiento de la corteza, este fenómeno no enzimático se produce a través de una serie de reacciones complejas, conocidas como las reacciones de Maillard, cuando aminas, aminoácidos, o proteínas se calientan con los azúcares, aldehídos y cetonas, llevan a formación de sabores, aromas y pigmentos de color oscuro. Los azúcares reductores son esenciales en la etapa inicial de la reacción de Maillard. Las reacciones implicadas en la conversión de los pigmentos marrones son complejas y no se comprenden del todo. La caramelización es otro ejemplo de las reacciones de pardeamiento no enzimático que implica la degradación de azúcares durante el calentamiento. El calor, en ausencia de compuestos nitrogenados, produce la pirólisis de los azúcares, resultando en un grupo complejo de reacciones que conducen a un caramelo marrón oscuro (Cui, 2005).

Es importante destacar que los productos batidos poseen una vida útil inferior a la de las galletitas industriales, como consecuencia de su mayor contenido de humedad, por lo que es fundamental preservar esta característica distintiva y disminuir su endurecimiento.

La vida útil se define como el tiempo durante el cual el producto alimenticio podrá:

i. ser seguro;
ii. retener calidad sensorial deseada, y las características química, física y microbiológica;
iii. cumplir con cualquier declaración en la etiqueta de datos nutricionales, cuando se almacena bajo las condiciones recomendadas (Kilcast & Subramaniam, 2000).

La vida útil en un producto panificado batido, como los *muffins*, depende de la formulación, tipo de grasa, porcentaje de azúcar, del embalaje, la actividad de agua y las condiciones de almacenamiento (normalmente entre 1 y 4 semanas de duración, dependiendo del uso de aditivos) (Gélinas *et al.*, 1999). Un objetivo de la industria de productos como *muffins* y tortas es aumentar la vida útil de estos productos reduciendo la cantidad de aditivos utilizados en la formulación (Gómez *et al.*, 2011). Varios trabajos han analizado la forma de minimizar los cambios de textura en pan, tortas y magdalenas durante el almacenamiento y prolongar su vida útil, por ejemplo agregando

almidón pregelatinizado (Karaoglu *et al.*, 2001; Seyhun *et al.*, 2005), almidón resistente (Baixauli *et al.*, 2008a; Sanz *et al.*, 2009), proteínas (Subagio & Morita, 2008), hidrocoloides (Seyhun *et al.*, 2005; Gómez *et al.*, 2007), emulgentes (Gujral *et al.*, 2003; Seyhun *et al.*, 2005) y lipasas (Guy & Sahi, 2006) o utilizado películas de pectina de manzana como cobertura de tortas (Baeva & Panchev, 2005).

1.3. Generalidades y usos del triticale

El triticale (*X Triticosecale* Wittmack) es un cereal híbrido resultante del cruzamiento entre trigo (*Triticum sp*.) y centeno (*Secale sp*.) (Brites *et al.*, 2007). Su cultivo ofrece una gran potencialidad productiva y de servicios en la agricultura moderna. El triticale posee el potencial de rendimiento del trigo y la capacidad de adaptación del centeno a un ambiente seco (Aguirre *et al.*, 2013b). Este cereal de invierno, que goza de buena sanidad y que es tolerante al frío y a la sequía, puede emplearse para pastoreo directo, henificación o como grano forrajero en invernada, recría y tambo. Su forraje conserva la calidad hasta bien avanzada la encañazón y el grano tiene un alto contenido de proteínas (Kloster *et al.*, 2013). En la mayoría de los países del mundo el triticale se emplea como grano harinero. En Argentina, en cambio, este cereal se ha trabajado siempre con fines forrajeros, para pastoreo directo y la fabricación de raciones. En los años 60' se comienza a experimentar con este cultivo en el Cono Sur, siendo en Argentina las Chacras del Ministerio de la Provincia de Buenos Aires y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Gral. Pico, Barrow, Bordenave, Anguil entre otras, donde se lograron avances y resultados importantes. En los años 70' se agregan las Universidades Nacionales de Río Cuarto y de Córdoba. La EEA Marcos Juárez del INTA inició sus actividades en el mejoramiento de triticale y evaluación de cultivares doble propósito a los fines de los años '80.

Aunque es un cereal adecuado para la dieta humana, ya que es una buena fuente de vitaminas, nutrientes minerales y tiene un mayor contenido de proteínas (Tabla 1) y mejor balance de aminoácidos esenciales que otros cereales, las variedades actuales de triticale no poseen las características adecuadas de molienda y horneado para la elaboración de pan y pastas, como para ser competitivo con el trigo (Aguirre *et al.*, 2013b). Una de las razones es la alta actividad alfa-amilásica de los granos de triticale que desmejora la calidad industrial de sus harinas. Otro obstáculo para su aceptación en

productos de panadería es que las harinas de triticale son un poco más oscuras que las de trigo.

Esta especie se encuentra en franco período de expansión especialmente en las zonas subhúmedas y semiáridas (Pejin *et al.,* 2009) no solamente por sus características de producción estable, buena sanidad, tolerancia a bajas temperaturas y al estrés hídrico, y resistencia a plagas sino también porque se ha demostrado la factibilidad de usar granos de triticale para la producción de bioetanol y energía (J´ozefiak *et al.,* 2007; Pejin *et al.,* 2009).

Las proteínas de triticale han demostrado también ser adecuadas para desarrollar películas, con aceptables propiedades comparables a las publicadas en la bibliografía para películas elaboradas en base a otras proteínas (Aguirre *et al.,* 2011; Aguirre *et al.,* 2013a).

Tradicionalmente se han clasificado a las proteínas de cereales en cuatro grupos de acuerdo a su solubilidad. Esta clasificación fue establecida por primera vez por Osborne (1907).

- *Albúminas*: solubles en agua.
- *Globulinas*: insolubles en agua y solubles en soluciones salinas diluidas.
- *Prolaminas*: insolubles en agua y en soluciones salinas y solubles en alcohol al 70%.
- *Glutelinas:* insolubles en los solventes anteriormente mencionados y solubles en ácidos o bases diluidos o en detergentes.

En el triticale la proporción de las distintas fracciones proteicas es intermedia entre la de trigo y la de centeno (Tabla 1). Eso hace que la calidad nutritiva del triticale sea similar a la del trigo y del centeno, e inclusive llega a superarlos en su mayor contenido de aminoácido lisina, mejor digestibilidad de proteínas y mejor balance mineral con mayor contenido de fósforo (Varughese *et al*., 1987).

Tabla 1

Composición de las fracciones proteicas de granos de triticale, trigo y centeno (Simmonds, 1978)

	Proteínas (%)	**Albúminas (%)**	**Globulinas (%)**	**Prolaminas (%)**	**Glutelinas (%)**
Triticale	12-18	5-15	5-10	40-50	30-40
Trigo	10-16	20-30	5-10	20-30	30-40
Centeno	9-14	20-30	5-10	20-30	30-40

OBJETIVOS

General

Desarrollar películas a partir de harina de triticale aptas para el recubrimiento de productos de panificación tipo *muffins* y estudiar el efecto de su aplicación durante el almacenamiento.

Específicos

- Caracterizar física y químicamente la harina de triticale.

- Investigar la capacidad de las películas de proteínas de triticale de actuar como recubrimiento comestible en productos de panificación tipo *muffins.*

- Estudiar las características físicas y propiedades de los *muffins* recubiertos con película de triticale.

- Comparar las características y propiedades de los productos *muffins* sin y con recubrimiento.

- Analizar la estabilidad durante el almacenado de los *muffins* recubiertos con película de harina de triticale en comparación con los que no fueron recubiertos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los ingredientes que se utilizaron para elaborar los *muffins* objeto de estudio del presente trabajo fueron: harina de trigo, huevos enteros frescos, manteca, azúcar, leche entera fluida, esencia de vainilla, sal y polvo para hornear, los cuales fueron comprados en el mercado local. La harina de triticale (variedad Buck TK 205) fue donada por Campeloni Semillas S.A. (Córdoba, Argentina). Todos los reactivos químicos utilizados en esta investigación fueron adquiridos de Sigma-Aldrich Chemie Gmbh (Munich, Alemania) y fueron de grado analítico.

2.2. Composición de la harina de triticale

2.2.1. Porcentaje de humedad

Se determinó mediante el método 44-01.01 (AACC, 2000) que consiste en desecar en cápsulas de Petri (2,000 ± 0,005) g de cada muestra en una estufa a (135 ± 1) ºC durante 2 horas. El porcentaje de humedad se calculó a través del siguiente cálculo:

$$\%H = [(M - Ms) / M] \times 100 \qquad (1)$$

donde %H es porcentaje de humedad, M es el peso de la muestra y Ms es el peso de la muestra seca.

2.2.2. Porcentaje de proteínas

El contenido de nitrógeno se valoró utilizando el micro método de Kjeldahl modificado para ácido bórico; el cual se basa en la destrucción oxidativa de los componentes de la muestra por calentamiento en ácido sulfúrico concentrado (AACC, 1995).

A 0,1000 g de cada muestra se le agregó un catalizador compuesto por: sulfato de sodio (Na_2SO_4) y sulfato cúprico ($CuSO_4$); y 2 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y se las llevó a mineralizar en un digestor (Technicom II, Dublín, Irlanda)

durante 2 horas a 200 ºC, luego se agregaron 2 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y se las mineralizó 2 horas más a 400 ºC.

A todas las muestras digeridas se las destiló utilizando una unidad de destilación VELP Científica modelo UDK 126A (Milán, Italia) resuspendiendo cada una de ellas en 5 ml de agua destilada y agregando hidróxido de sodio (NaOH) al 50% con el fin de alcalinizar el medio y arrastrar con vapor de agua el nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3). Este se recolectó en un erlenmeyer conteniendo ácido bórico (H_3BO_3) donde se formó $(NH_4)_3BO_3$ que se tituló con ácido clorhídrico (HCl) utilizando como indicador una mezcla de azul de metileno y rojo de metilo. El porcentaje de proteínas se calculó aplicando el factor 5,7 que se utiliza para cereales, el cual depende del contenido de aminoácidos aminados de las proteínas.

2.2.3. Cenizas

El contenido de cenizas se determinó por diferencia de peso, antes y después de calentar en mufla a 550 ºC hasta pesada constante, de aproximadamente 3,5 g de harina exactamente medidos. Los resultados se expresaron según el siguiente cálculo:

$$\%Cenizas = \frac{peso.residuo}{peso.muestra} \times 100 \qquad (2)$$

2.3. Preparación de la solución filmogénica

Para la preparación de la solución filmogénica a partir de harina de triticale se estudiaron diferentes formulaciones con glicerol como plastificante. Se probaron diferentes concentraciones de glicerol y diferentes tiempos de agitación a una temperatura de procesamiento de 75ºC. Las soluciones filmogénicas se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente y se conservaron en frascos hasta su uso.

2.4. Formulación y elaboración de panificado tipo *muffin*

Luego de ensayar diferentes formulaciones de la literatura se seleccionó la formulación base que se presenta en la Tabla 2, de acuerdo a las siguientes

características: excelente calidad, textura suave y blanda, bajo costo y facilidad de elaboración.

Tabla 2

Ingredientes de la formulación de *muffins*

Ingrediente	**Cantidad**
Harina 0000	225 g
Polvo para hornear	3 cucharaditas
Sal	1 cucharadita
Azúcar	110 g
Leche	240 ml
Huevo	1 unidad
Esencia de Vainilla	1 cucharadita
Manteca	85 g

Para que ningún efecto sea atribuible a la fórmula de los *muffins*, todos se prepararon con la misma formulación, sin conservantes.

Las etapas del proceso fueron las siguientes:

i. Pesada de los ingredientes.
ii. Formación de la masa batida. Para la formación de la masa batida se tamizó en un recipiente la harina, el polvo para hornear y el azúcar. En otro recipiente se batió el huevo, se incorporó la leche, la manteca derretida y la esencia de vainilla. Luego se añadieron los ingredientes secos a los húmedos y se batió hasta que no se visualizó la presencia de harina (2 minutos manualmente) y la masa quedó homogénea.

iii. Llenado de moldes de silicona con pirotines de papel, colocando aproximadamente 30 ± 2 g de masa en cada uno.
iv. Horneado a 180ºC, durante 20 minutos.
v. Enfriamiento de los *muffins* en los moldes a temperatura ambiente.
vi. Cobertura con film por "sprayado" (para obtener los *muffins* con cobertura).

El diagrama de bloques del proceso se representa en la Figura 4.

Los *muffins* así preparados, tanto control (SIN COBERTURA: SC) como con recubrimiento (CON COBERTURA: CC) fueron almacenadas a temperatura ambiente (25°C aproximadamente) y humedad ambiente, al resguardo de la luz durante 7 días; y durante 10 días para el ensayo de textura (valor límite de dureza). Se tomaron 3 muestras (triplicado) en tiempos preestablecidos. Según la bibliografía (Grigelmo-Miguel *et al.*, 1999; Beltrán-Orozco *et al*., 2007; Grillo *et al.*, 2014), los cambios más notables en la calidad de los *muffins* ocurren los primeros 7 días de almacenamiento.

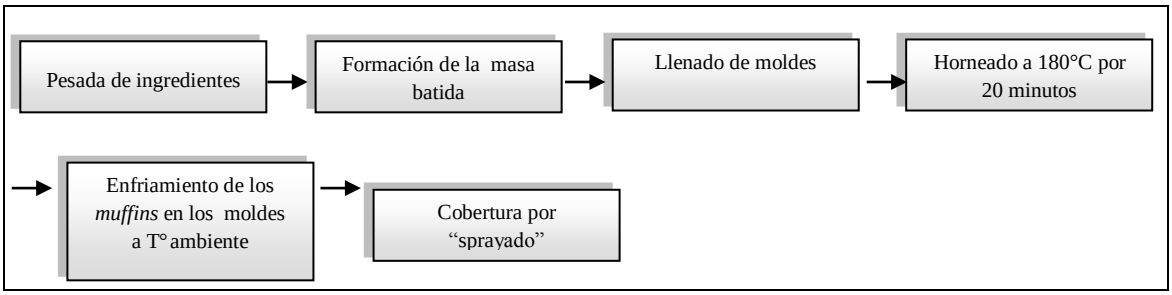

Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de *muffins.*

2.5. Aplicación de la película comestible: "sprayado"

Se realizó una pulverización de la solución filmogénica para obtener los *muffins* con cobertura (CC), a temperatura ambiente. La atomización se realizó con un equipo casero desarrollado en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba con una boquilla de pulverización hidráulica. Las condiciones de pulverización fueron las siguientes:

- volumen de la solución filmogénica: 4 ml por *muffin* a recubrir
- distancia entre la boquilla y el *muffin*: 25 cm

- tiempo de aplicación: 4 s
- presión: 2 bar

La superficie superior de los *muffins* se pulverizó con la solución filmogénica y posteriormente se secaron los *muffins* CC en estufa a 40 °C durante 40 minutos. *Muffins* sin recubrimiento se utilizaron como control.

2.6. Determinación de la calidad del panificado tipo *muffin*

2.6.1. Peso, volumen y peso específico

La medición del peso se realizó utilizando una balanza Ohaus analítica.

La medición del volumen se realizó utilizando el método de desplazamiento de volumen de semillas de colza (AACC, 2000).

El procedimiento para medir el volumen fue el siguiente: se introdujeron las semillas de colza en una probeta (V_2). Se vació la probeta y se colocó el *muffin*. Luego se volvieron a introducir las semillas y se midió nuevamente el volumen (V_1). El volumen ocupado por el *muffin* se obtuvo por diferencia entre el volumen final y el inicial, es decir:

$V_1 - V_2$ = Volumen del *muffin* (ml) (3)

Finalmente se calculó el peso específico, éste se obtiene por la relación del peso sobre el volumen.

Se realizaron 3 determinaciones de cada lote, se informaron el valor promedio ± desviación estándar.

2.6.2. Medición de altura

Para medir la altura de los *muffins* se utilizó un vernier. Se midió la altura a todos los *muffins*, desde el punto más alto a la parte inferior del papel, en los tiempos preestablecidos: tiempo inicial y 7 días. Se informaron el valor promedio ± desviación estándar de tres determinaciones de cada lote.

2.6.3. Medición de color

El color fue medido usando un espectrofotómetro CM-508d Minolta (Ramsey, NJ, USA) con una fuente de luz incorporada; para poder detectar pequeñas diferencias de un modo preciso y en forma numérica. Las mediciones se realizaron según el método 14-22 (AACC, 2000) utilizando 8 mm de apertura de la medición y un iluminador D65.

Los resultados fueron expresados con el sistema CIELab (L*: luminosidad, a*: rojo-verde y b*: amarillo-azul) que define cada color a partir de tres coordenadas denominadas L*, a* y b*. Las magnitudes L*, a*, y b* son adimensionales y se definen en función del tipo de estímulo y del blanco de referencia para tratar de simular a los observadores reales (Joshi & Brimelow, 2002). La coordenada L* recibe el nombre de luminosidad y a* y b* son las coordenadas colorimétricas que forman un plano perpendicular a la luminosidad, siendo, a su vez, perpendiculares entre sí. El corte del eje L* con el plano que forman a* y b* es el punto acromático. El valor a* es una medida de la intensidad de color rojo, en el desplazamiento sobre el eje a* hacia valores positivos del punto acromático se observan los rojos y para valores negativos los verdes. El valor b* es una medida de la intensidad de color amarillo, en el desplazamiento sobre el eje b* hacia valores positivos del punto acromático se observan los amarillos y para valores negativos los azules (Figura 5).

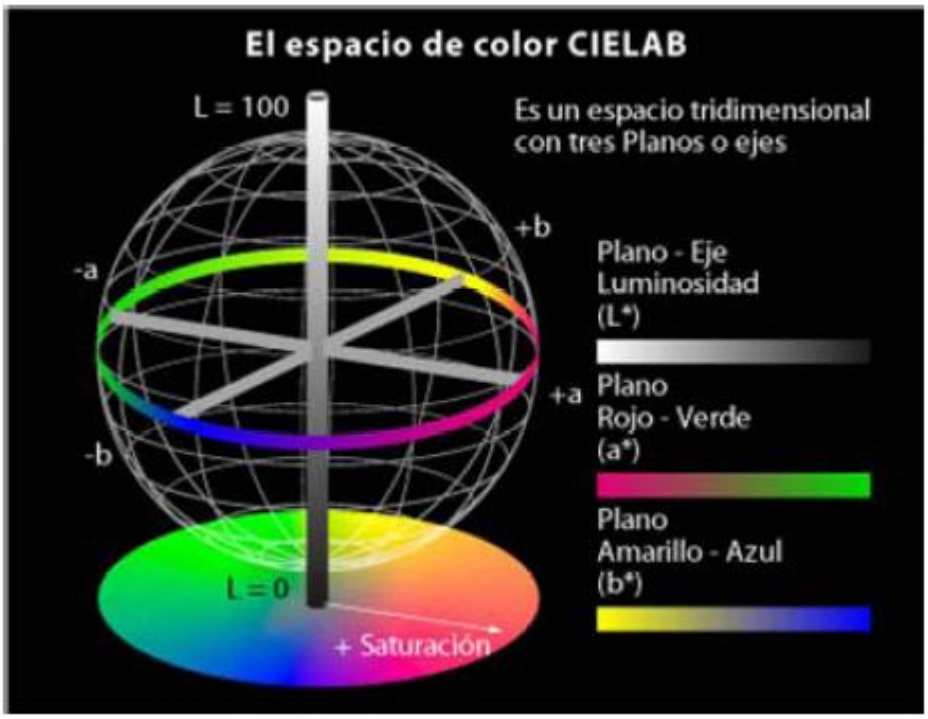

Figura 5. Representación gráfica del espacio CIElab.

El conjunto a*, b* recibe el nombre de cromacidad y junto con la luminosidad definen el color de un estímulo (en coordenadas cartesianas); esto se corresponde con el término cromaticidad y no indica explícitamente el tono y la saturación. Este inconveniente puede resolverse definiendo la magnitud colorimétrica C*, croma (Pérez-Alvarez *et al.*, 1999).

La cantidad de color percibido por el ojo, croma, se calcula como:

$$\mathbf{C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}} \qquad (4)$$

La Comisión Internacional de L'Eclairage (CIE) define croma (C*) como la fuerza percibida de un color de la superficie y el grado de diferencia visual de un color gris neutro de la misma ligereza (Pérez-Alvarez *et al.*,1999).

Para detectar la diferencia de color entre las muestras se calculó el valor ΔE, donde Δ es "diferencia de" y E es la letra inicial de "empfindung" (sensación) (Pérez-Alvarez *et al.*, 1999); cuanto más alto es el valor de ΔE, mayor es la desviación en comparación con el color original. La diferencia de color total (ΔE *) se calculó de la siguiente manera:

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{0.5} \qquad (5)$$

El ΔE* se calculó entre los *muffins* controles sin cobertura y los *muffins* con cobertura a tiempo inicial y luego de transcurrido el tiempo de almacenamiento. También se calculó el valor de ΔE* entre los *muffins* almacenados y las muestras frescas. Los valores utilizados para determinar si la diferencia de color total era visualmente evidente fueron los siguientes:

$\Delta E^* < 1$ las diferencias de color no son obvias para el ojo humano

$1 < \Delta E^* < 3$ las diferencias de color no son apreciadas por el ojo humano

$\Delta E^* > 3$ las diferencias de color son obvias para el ojo humano (Martínez-Cervera *et al.*, 2012).

El espectrofotómetro se calibró antes de cada ensayo con un plato estándar blanco. En todos los casos se examinó el color de la superficie y el de la miga de los *muffins.* Se realizaron tres determinaciones de cada lote. Se midió el color cinco veces en tres lugares distintos, tanto de la corteza como de la miga de cada tipo de *muffins*, control y con recubrimiento, en los tiempos preestablecidos (tiempo inicial y 7 días respectivamente), informándose el valor promedio ± desviación estándar. Las mediciones fueron realizadas a temperatura ambiente en una sala controlada para evitar variaciones de termocromismo provocadas por esta variable.

2.6.4. Valor de Índice de pardeamiento "Browning Index" (BI)

El color de superficie es un atributo importante a la hora de evaluar las preferencias del consumidor. Los resultados de color de la superficie de las muestras de los *muffins* se utilizaron en el cálculo del índice de pardeamiento (valor BI) según la ecuación 6 (Sakin-Yilmazer *et al.*, 2013)

$$BI = \{100 \times [(at + 1.79Lt / 5.645Lt + at - 3.012bt) - 0.31]\} / 0.17 \qquad (6)$$

donde: at: valor color a*; bt: valor color b*; Lt: valor color L*en un tiempo definido (t) de almacenamiento.

2.6.5. Análisis de textura de la miga

Las propiedades de textura de un alimento son un grupo de características físicas que dependen de la estructura del material, se perciben por los sentidos y se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza. La textura de un alimento depende de una suma de atributos, de los cuales la dureza es el primero que suele medirse y el más valioso (Marcet *et al.*, 2014). La dureza es un atributo primario que da una indicación del comportamiento mecánico del alimento ante una deformación. Desde el punto de vista instrumental, la dureza al corte, es la fuerza necesaria para separar en dos o más partes una sustancia sólida y desde el punto de vista sensorial se la define como la fuerza requerida para comprimir hasta cortar una sustancia entre los dientes (Anzaldúa Morales, 1994). Pero los consumidores no están sólo influenciados por la dureza de un producto sino también por otras características que son parte de la textura, tales como la cohesividad, elasticidad, etc. Por lo tanto la consideración de estas características y su influencia en la textura percibida también es muy importante. A raíz de esto, surgió el Análisis de Perfil de Textura (APT), el cual en un solo ensayo permite determinar varios parámetros texturales. Este ensayo se basa en una doble compresión que pretende imitar la acción de masticar, simulando las condiciones con que se encuentra un alimento en la boca. A partir de la curva obtenida por el texturómetro se pueden extraer varios parámetros.

Las propiedades mecánicas de los *muffins* se evaluaron con un texturómetro TA.XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, UK). El análisis de perfil de textura (APT) se realizó utilizando el software “Texture Expert” y una sonda P/25 (25 mm de cilindro de aluminio). El APT (prueba de compresión doble) utilizó una compresión del 40 % de la altura inicial, una velocidad de 1 mm/s, y unos 10 s de tiempo de espera entre los dos ciclos.

Para el análisis de la textura de la miga, los *muffins* fueron guardados y almacenados en recipientes plásticos con tapa hermética a temperatura ambiente por distintos intervalos de tiempo (0, 1, 3, 7 y 10 días). En cada intervalo de tiempo, dos *muffins* fueron cortados en rodajas de 25 mm de espesor. El centro de cada rodaja se sometió a dos ciclos de compresión-descompresión para obtener la curva de APT (Análisis de Perfil de Textura) característica (Figura 6), bajo las condiciones antes

mencionadas, a partir de la cual se obtuvieron los siguientes parámetros texturales calculados por el software del texturómetro:

- Firmeza o dureza: es la fuerza máxima que tiene lugar, en cualquier tiempo, durante el primer ciclo de compresión (Bourne, 1978). Definida también como la fuerza, en g fuerza o Newton, necesaria para comprimir la muestra hasta un 40% del espesor original, Método 74-09 (AACC, 2000)**.**
- Elasticidad: es una medida de cuanto recupera su altura o forma original el alimento luego de ser sometido a una deformación. Estrictamente se define como la altura que el alimento recupera durante el lapso transcurrido entre el final de la primera mordida y el comienzo de la segunda (Bourne, 1978). Se calcula como el cociente entre la distancia 2 (L2) y la distancia 1 (L1). Por lo tanto, la elasticidad = L2/L1.
- Masticabilidad: sensorialmente se define como la fuerza requerida para desintegrar un alimento sólido hasta que esté listo para ser deglutido (Civille & Szczesniak, 1973). Se determina como el producto de firmeza x cohesividad (definida como el cociente entre A2/A1) x elasticidad.
- Cohesividad: la relación entre la fuerza positiva durante la segunda compresión y la fuerza positiva de la primera compresión (cociente entre A2/A1) (Martínez-Cervera *et al.*, 2013).
- Resilencia o capacidad de recuperación: área durante la retirada de la primera compresión dividida por el área de la primera compresión (Martínez-Cervera *et al.*, 2013).

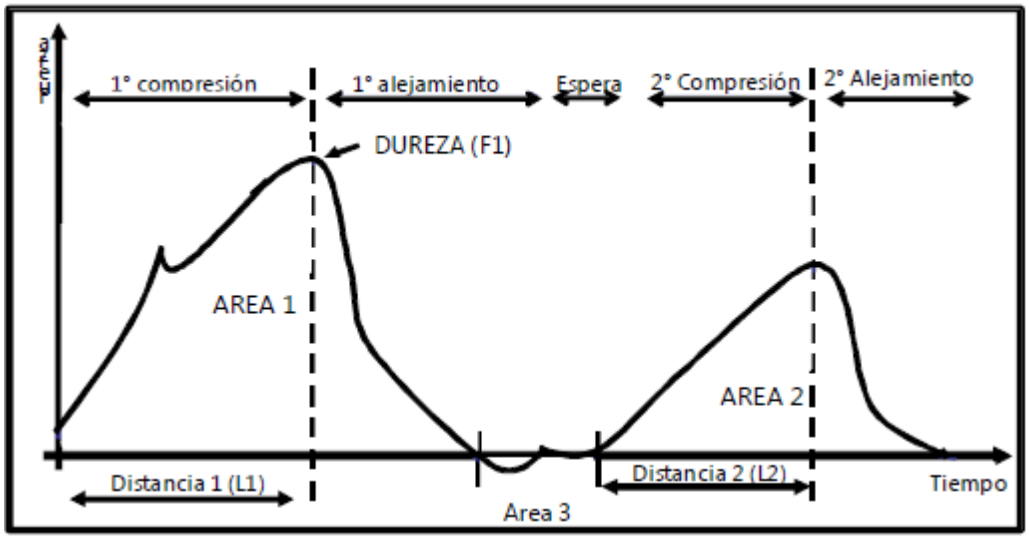

Figura 6. Curva característica de Análisis de Perfil de Textura (APT). F1 (Pico máximo de la primera compresión) = Dureza o Firmeza. A2/A1 (Área 2 / Área 1) =Cohesividad. L2/L1 (Distancia 2 / Distancia 1) = Elasticidad. F1 x A2/A1 x L2/L1 (Dureza x cohesividad x elasticidad) = Masticabilidad.

La velocidad de endurecimiento se obtuvo calculando la pendiente de la recta de regresión obtenida a partir de los puntos medidos (firmeza).

2.7. Determinación de la cinética de envejecimiento. Modelo de Avrami

A fin de establecer la cinética de envejecimiento en los *muffins* controles y recubiertos se utilizó la ecuación de Avrami (Willhoft, 1971; Ponte & Ovadia, 1996; Kim y D'Appolonia, 1997; Armero & Collar, 1998) para ajustar los datos experimentales de la firmeza y se determinaron los parámetros. Este modelo ha sido utilizado extensamente para la descripción de la medida de envejecimiento y caracterización de dureza de la miga de productos panificados (Armero & Collar, 1998).

La aplicación de este modelo para estimar parámetros de velocidad de la dureza del producto se basa en la retrogradación del almidón, y dentro de este contexto los parámetros matemáticos de la ecuación de Avrami tienen un significado físico (Armero & Collar, 1998).

La recristalización consiste básicamente en la nucleación de granos libres y el crecimiento subsiguiente hasta que el material está completamente ocupado por granos

recristalizados. La cinética de este proceso se puede describir mediante el modelo de Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov (JMAK), también llamado modelo de Avrami, que incluye una familia de ecuaciones que se pueden aplicar a cualquier reacción $\alpha \rightarrow \beta$ donde no existe una diferencia química entre α y β. Es un modelo que se ha utilizado con éxito en un gran número de procesos y es el modelo estándar para modelizar de forma sencilla la recristalización (De Cock, 2009).

A continuación se detalla la ecuación de Avrami:

$$\theta = (H_\infty - H_t) / (H_\infty - H_0) = \exp(-k\, t^{\eta}) \qquad (7)$$

donde θ es la fracción de cambio en la dureza de la miga de *muffin* a tiempo t; k es la constante de velocidad y es función de las constantes de nucleación y de velocidad de crecimiento; η es el exponente de Avrami e indica el mecanismo de nucleación y de crecimiento y es una función combinada del número de dimensiones para el cual el crecimiento tiene lugar, y el orden de dependencia del proceso de nucleación con el tiempo (0 o 1); H_∞ es la firmeza límite; Ht es la firmeza de la miga a tiempo t y H_0 es la firmeza de la miga a tiempo cero o firmeza inicial (McIver *et al.*, 1968). Por lo tanto, la función $(H_\infty - H_t) / (H_\infty - H_0)$ indica el alcance de los cambios del almidón, prescindiendo del nivel de firmeza de la miga inicial, proveyendo un parámetro para evaluar los cambios del almidón o el envejecimiento (Cornford *et al.*, 1964).

El recíproco de la constante de velocidad (1 / ***k***) es la constante de tiempo. Todos los parámetros se obtuvieron de Kim & D´Appolonia (1997).

2.8. Análisis de imágenes

La estructura de la miga se puede evaluar cuantitativamente mediante análisis de imágenes de la misma y el estudio de distintos descriptores de forma (Grillo *et al.*, 2014). La imagen entera que se analiza es fragmentada para crear una imagen binaria por la selección de un umbral de gris. Los pixeles (puntos que se combinan para formar una imagen) con valores de gris más bajos que el umbral se consideran objeto (miga) y los valores de gris por encima del valor umbral se consideran aire (alveolos). Se va

variando el nivel de gris hasta el nivel apropiado en que la imagen conserva los rasgos fundamentales de la contraparte monocromática.

Para analizar la estructura de la miga se emplearon 3 *muffins* de cada tipo control SC y CC, los cuales fueron cortados manualmente en dos mitades. Cada mitad del producto así obtenido se escaneó por su lado plano empleando un escáner fotográfico (HP Scanjet G3010, Palo Alto CA, USA). El escaneo se realizó con una resolución de 300 dpi. La imagen en formato de archivo JPEG se analizó con el programa de análisis de imágenes Image-J 1.38n (National Institutes of Health, Estados Unidos de América; http://rsbweb.nih.gov/ij/). Se seleccionó manualmente de la parte central del *muffin* un área de igual tamaño en todas las muestras. La imagen de color se convirtió a imagen de 8-bits y se analizó en escala de grises (0 negro, 255 blanco). Se utilizaron barras de longitudes conocidas y los valores de los pixeles se convirtieron en unidades de distancia. Se recortó una sección transversal cuadrada de las imágenes (Figura 7). El área de estas imágenes recortada, en la que se llevó a cabo el análisis, fue de 2 x 2 cm para cada imagen. Se calculó la distribución de área de poros o celdas de gas y los descriptores de forma (circularidad, relación de aspecto, redondez y solidez), diámetro de Feret, diámetro mínimo de Feret (Tabla 3).

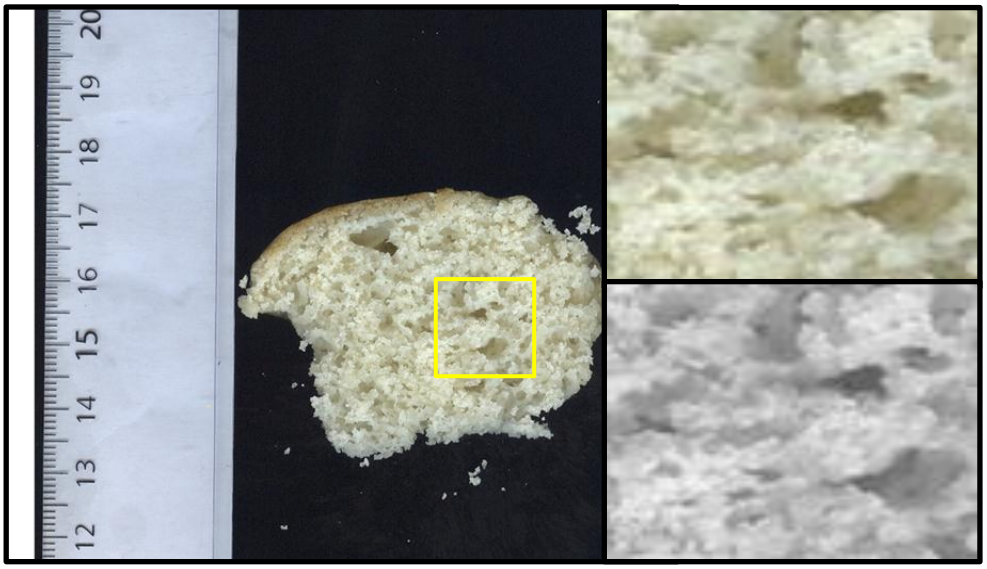

Figura 7. Fotografía de *muffins* escaneado, mostrando el área seleccionada e imagen binarizada.

Tabla 3

Descriptores de forma

Característica	**Definición**
Circularidad	4π (área/perímetro)^2
Relación de aspecto (AR)	Eje mayor/eje menor
Redondez	4 área/ (π eje mayor^2)
Solidez	Área/ zona convexa
Diámetro de Feret	La distancia mayor entre dos puntos cualesquiera a lo largo de dos tangentes paralelas que tocan los bordes opuestos del objeto de interés
Mínimo Feret	La distancia menor entre dos puntos cualesquiera a lo largo de dos tangentes paralelas que tocan los bordes opuestos del objeto de interés

La circularidad es una medida de forma en relación al círculo perfecto (Figura 8). Tiene un rango de valores de 0 a 1, el valor mayor de 1 indica un círculo perfecto, mientras que un objeto irregular tiene un valor más cercano a 0 (Turabi *et al.*, 2010; Mgangira *et al.*, 2013). Es decir, esta relación se aleja tanto más de la unidad cuanto más irregular sea el perímetro del poro.

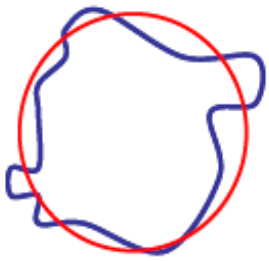

Figura 8. Circularidad: medida de forma en relación al círculo perfecto.

La relación de aspecto (AR) es un descriptor de forma que tiene que ver con la elongación del objeto (cuán similar es a una elipse), y se define como la relación entre la dimensión más larga y la dimensión más corta (Mgangira *et al.*, 2013).

La redondez describe el grado de deformación (Grillo *et al.*, 2014) e indica lo anguloso o suaves que son los vértices, aristas y lados que forman los perfiles del poro. Varía entre 0,1 y 0,9; un valor superior a 0,6 indica una alta redondez, entre 0,4 y 0,6 indica una redondez media y menos de 0,4 baja redondez (Mgangira *et al.*, 2013).

La solidez es la relación del área de la proyección de 2 dimensiones de la celda de gas y el área convexa. El área convexa puede ser definida como el área encerrada por una "cadena" imaginaria alrededor del objeto. La solidez tiene valores en el rango de 0 a 1. Una baja solidez, cercana a 0, indica bordes rugosos; y una alta solidez cerca de 1 indica un borde de poro suave (Mgangira *et al.*, 2013). Es decir que indica si el poro tiene un borde irregular o no.

El diámetro de Feret no es un diámetro en su sentido real, pero es la base común de un grupo de diámetros derivados de la distancia de tangentes paralelas al contorno del poro en una orientación bien definida; pueden determinarse diferentes diámetros de Feret de acuerdo a la dirección con la que se tracen las tangentes. El Diámetro de Feret (dF) es la mayor distancia entre dos puntos cualesquiera a lo largo del borde de un objeto, tal como puede observarse en la Figura 9. El diámetro mínimo es MinFeret. Si una partícula tiene forma irregular, el diámetro de Feret por lo general varía mucho más que con partículas de forma regular, por lo tanto, el máximo puede ser significativamente mayor y el MinFeret menor que el diámetro equivalente del círculo.

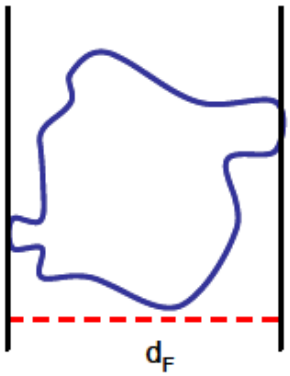

Figura 9. Diámetro de Feret: distancia mayor entre dos puntos cualesquiera a lo largo de dos tangentes paralelas que tocan los bordes opuestos del objeto de interés.

2.9. Análisis sensorial

Tanto el proceso de percepción de calidad de un alimento como el comportamiento de los consumidores están influenciados por atributos de su calidad intrínseca y por las expectativas que se forman a partir de las señales del producto, que pueden estar asociadas al mismo sin ser parte de él, como por ejemplo la marca, el envasado, el precio. Una metodología usada ampliamente para medir la experiencia del consumidor relacionada con la calidad intrínseca de un alimento es la prueba sensorial.

El análisis sensorial de los productos es una de las principales herramientas para el control de la calidad en el sector alimentario. Por este motivo se realizó la evaluación sensorial de los *muffins* sin cobertura (SC) y con cobertura (CC). Se utilizó un método de análisis sensorial descriptivo cuyo objetivo principal es determinar si hay diferencia sensorial global entre dos productos.

Se realizaron dos pruebas triángulos. Este tipo de ensayo comprende la presentación simultánea de 3 muestras codificadas, dos de las cuales son idénticas y el sujeto debe identificar la muestra diferente, según Norma IRAM 20008 de Análisis Sensorial-Ensayo Triangular (IRAM, 2012). Para estas pruebas se solicitó la participación de 25 evaluadores no entrenados, recluidos en la Universidad Nacional de Córdoba. Los criterios generales para la selección de los evaluadores fueron:

- Edad entre 18 – 45 años.
- Proporción de jueces hombres y mujeres (50%).
- No fumadores.
- Tener buena dentición.
- No ser alérgico al producto.
- Disponibilidad de tiempo suficiente al momento de realizar la evaluación.

Para estos ensayos se emplearon *muffins* recién elaborados; no se realizaron las pruebas pasado el tiempo de almacenamiento porque las muestras se elaboraron sin conservante.

Se ofrecieron 3 muestras ordenadas al azar de las cuales 2 fueron iguales. Cada panelista debió decidir al probar las muestras cuál de las muestras ofrecidas era la diferente. Los *muffins* fueron codificados con un número de tres dígitos al azar (Asensio *et al.*, 2013). En primera instancia se evaluó el atributo sensorial de la apariencia, la cual

se define como la propiedad sensorial de los alimentos detectada por el sentido de la vista y comprende:

a) Color: corresponde al tono y se le mide la intensidad.
b) Brillo: también se relaciona con color; cantidad de luz que se refleja.
c) Rugosidad: apariencia de textura visual.
d) Parejo: apariencia de textura visual.

Luego se realizó una prueba triangular para evaluar el sabor. Este es un atributo sensorial complejo, ya que combina tres propiedades: el olor, el aroma y el gusto que se detectan cuando se introduce un alimento en la boca.

Estadísticamente la posibilidad de una respuesta correcta por el azar es de 1 en 3 (33,3%), se tuvieron 6 posibilidades de presentación de los productos. Los resultados se analizaron según tablas de significancia (Roessler *et al.*, 1978) (Anexo I), que nos indican la cantidad de respuestas correctas mínimas necesarias para obtener diferencias con distintos niveles de significancia (Catania & Avagnina, 2007).

Se obtuvieron de esta forma datos de color, aroma, sabor, olor y textura, que se compararon con los resultados obtenidos de medir instrumentalmente el color y la textura en dichos productos.

El formato que se empleó para realizar las pruebas triangulares fue el siguiente:

PRUEBA TRIANGULO

NOMBRE: **FECHA:**

Producto: .....

Ud. tiene tres muestras codificadas. Dos de ellas son iguales.
Pruébelas de izquierda a derecha e indique cual de ellas es diferente

Haga un círculo en el número de muestra que es diferente

Muestras: 431 539 827

COMENTARIOS: (razones de elección o características del producto)

MUCHAS GRACIAS

Figura 10. Modelo utilizado para las pruebas triangulares.

2.10. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante el programa INFOSTAT (versión 2013e; Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC. Argentina) (Di Rienzo *et al.*, 2013). En todos los casos las determinaciones se realizaron al menos por triplicado y los resultados se informaron como el valor promedio ± desvío estándar. Los resultados se compararon por el Student's t-test para comparar medias a un nivel de significación de $p<0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características físico-químicas de la harina de triticale

La composición de la harina de triticale utilizada en este estudio para la elaboración de las películas comestibles se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Composición de la harina de triticale

Humedad (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)
13,26 ± 0,08	8,88 ± 0,02	0,61 ± 0,02

3.2. Solución filmogénica

La concentración y condiciones seleccionadas en las que la solución filmogénica presentó las mejores características relacionadas con la formación de la película para recubrimiento fueron las que se describen a continuación. Suspensiones acuosas de harina de triticale se agitaron magnéticamente durante 15 minutos a temperatura ambiente, ajustándose el pH a 10,7. Posteriormente se calentaron a 75°C, denominada temperatura de procesamiento, en constante agitación suave a fin de evitar la formación de burbujas. Cuando la suspensión alcanzó la temperatura de procesamiento se añadió 30 g de glicerol/100 g de harina de triticale, como plastificante; luego la suspensión formadora de película se mantuvo con agitación suave a la temperatura de procesamiento durante 15 minutos. Esta solución filmogénica se la dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se conservó en un frasco hasta su uso.

3.3. Determinación de calidad de los *muffins*

El envejecimiento de los productos horneados es un proceso complejo que incluye la pérdida de sabor, cambios en textura en la boca, redistribución de humedad y sequedad parcial. Todos estos cambios contribuyen a disminuir la aceptabilidad del consumidor (Gómez *et al.*, 2008).

Un objetivo importante de este trabajo fue evaluar la estabilidad del producto durante el almacenamiento, la cual se define como el mantenimiento de las características físicas y sensoriales propias de la frescura (Guy, 1983; Paeschke, 1997).

A fin de determinar el efecto de conservación de la cobertura de harina de triticale sobre la calidad de los *muffins* se midieron diversos parámetros necesarios para la correspondiente evaluación según lo descripto en Materiales y Métodos. En la Figura 11 pueden observarse fotografías de un *muffin* control (SC) y otro *muffin* recubierto con película de triticale (CC).

Los resultados obtenidos para las distintas propiedades físicas (peso, peso específico y altura) se encuentran expresados en las Figuras 12, 13 y 14; las mediciones se realizaron a tiempo cero, es decir, sin efecto de envejecimiento y luego de 7 días en anaquel. Los resultados se encuentran expresados con su correspondiente desviación estándar.

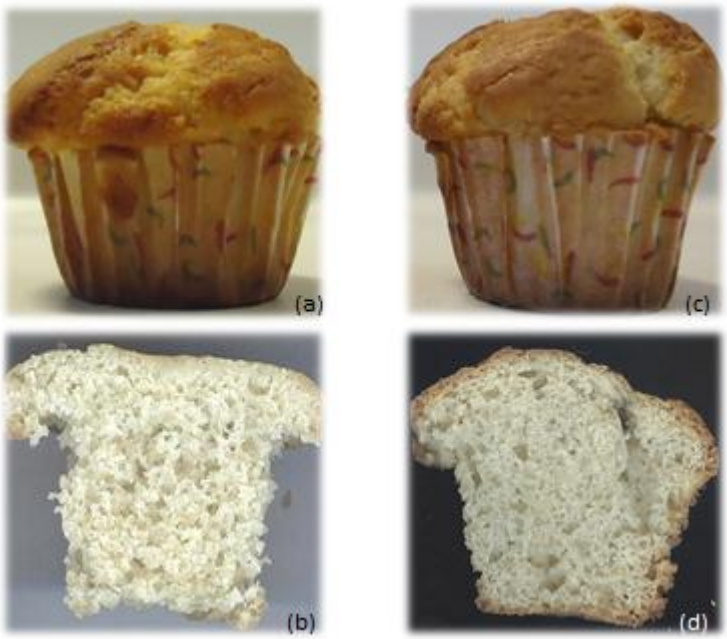

Figura 11. (a y b) Fotos de *muffins* controles (SC); (c y d) *muffins* recubiertos con película de harina de triticale (CC).

3.3.1. Peso

La pérdida de peso se debe principalmente a la migración de humedad, la cual es un fenómeno que impacta ampliamente en la dureza de la miga de productos horneados durante su almacenamiento a temperatura ambiente (Luyts *et al.*, 2013). Se ha demostrado que el envejecimiento está relacionado con dos procesos básicos que se producen en la miga; uno es un proceso de dureza intrínseco del material de la pared alveolar de las celdas de gas y el otro el de la migración macroscópica de la humedad de las zonas centrales de la miga a las regiones más secas de la corteza (Guy, 1983).

Como podemos observar en la Figura 12 el peso de los *muffins* controles sin cobertura (SC) disminuyó significativamente durante el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, el tiempo de almacenamiento no influyó significativamente en la pérdida de peso de *muffins* recubiertos con película de triticale (CC).

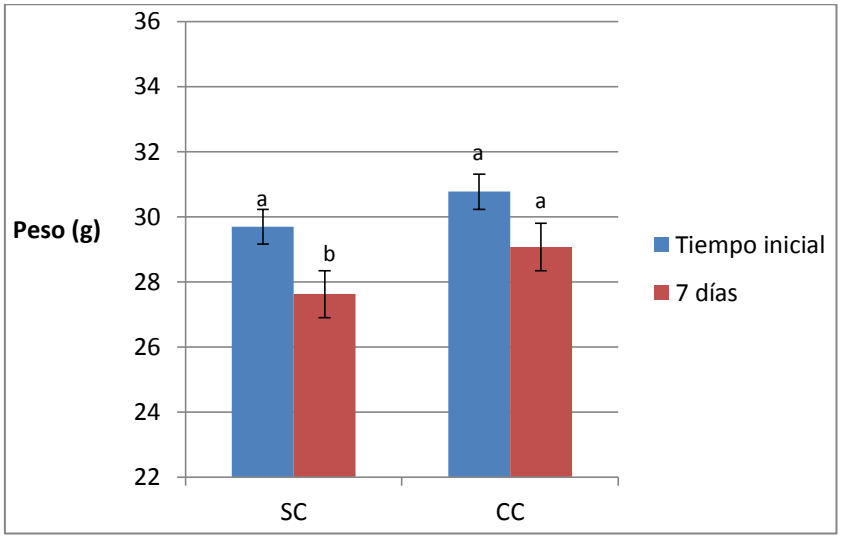

Figura 12. Peso de *muffins* (media ± desviación estándar, n=3). Diferentes letras indican diferencias significativas (p<0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

Nuestros resultados coinciden con lo observado por Beltrán-Orozco (2007) en *muffins* o mantecadas almacenadas sin recubrimiento durante 7 días. Los autores también trabajaron con mantecadas almacenadas en bolsas de polipropileno y en cajas de poliestireno, encontrando una mayor pérdida de peso, en aquellas almacenadas en las cajas de poliestireno, a partir de las 96 h hasta las 168 h que duró el estudio. Las menores pérdidas de peso se registraron en el empaque con bolsa de polipropileno, que permitió que el producto empacado tenga una menor deshidratación en el mismo tiempo bajo las mismas condiciones de almacenamiento. En el caso de nuestro estudio, la película de harina de triticale que recubrió los *muffins*, siendo totalmente biodegradable y comestible, también previno la pérdida de peso por deshidratación de los mismos, confiriéndoles aspecto de frescura por más tiempo.

3.3.2. Peso específico

El peso específico es un parámetro que se utiliza como indicador de esponjosidad, cualidad muy importante ya que refleja la porosidad, suavidad y ligereza de los productos. La esponjosidad de los *muffins* se debe mantener durante su

almacenamiento ya que es un atributo distintivo muy apreciado por los consumidores. La Figura 13 muestra los valores de peso específico obtenidos.

En los *muffins* con cobertura de harina de triticale la disminución de volumen fue menor que en los controles, consecuentemente se mantuvo sin diferencias significativas el peso específico en éstos, mientras que en los controles se observó un aumento en el peso específico.

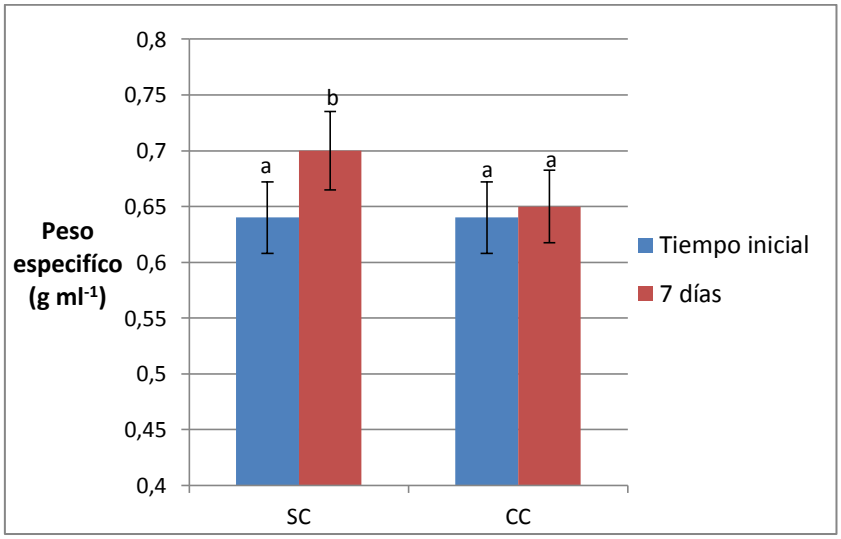

Figura 13. Peso específico de los *muffins* (media ± desviación estándar, n=3). Diferentes letras indican diferencias significativas ($p<0,05$). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

Resultados similares fueron encontrados en pan por Besbes *et al.* (2014), quienes sugieren que el endurecimiento se debe a la redistribución del agua a escala molecular entre las proteínas y el almidón, y a posibles cambios en el volumen que pueden ser causa de la contracción de la miga. Esta contracción es probablemente el resultado de la reorganización de los biopolímeros que existen en la miga, que experimentan cambios bioquímicos y físicos.

Los resultados obtenidos en este trabajo con *muffins* recubiertos sugieren la posibilidad del uso de películas de harina de triticale como preservantes de frescura ya que no se observaron diferencias significativas en el peso específico para *muffins* recubiertos luego de transcurrido el tiempo de almacenamiento.

3.3.3. Altura

La altura se relaciona con el envejecimiento de los panificados ya que se produce una deformación y cambios estructurales en la miga. En la Figura 14 se muestran los valores de altura obtenidos, no encontrándose diferencias significativas en la altura de los *muffins* con y sin recubrimiento en el lapso de tiempo medido.

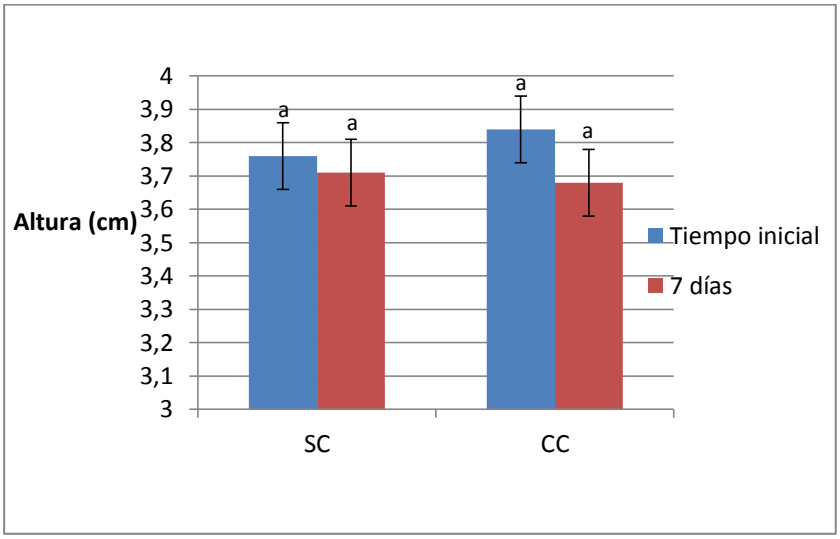

Figura 14. Altura de los *muffins* (media ± desviación estándar, n=3). Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

3.3.4. Color

El color, junto con la textura y el *flavor*, pueden determinar la elección o no del producto por parte del consumidor porque esta propiedad influye fuertemente en la percepción general del producto panificado (Gellynck *et al.*, 2009).

La medición del color de la corteza es un parámetro de calidad útil para evaluar cambios de formulación y del proceso de elaboración en productos panificados (Shittu *et al.*, 2007).

El color, al ser el primer parámetro sensorial en ser apreciado, es un atributo importante a la hora de evaluar las preferencias del consumidor. El color en productos horneados podría provenir de diferentes fuentes: color intrínseco impartido por ingredientes individuales (Gularte *et al.*, 2012), color desarrollado como resultado de la

interacción de los ingredientes (Acosta *et al.*, 2011), producto de las reacciones de Maillard o caramelización, como también por los cambios de procesamiento asociados a reacciones químicas o enzimáticas. En general, la corteza se caracteriza por tener baja humedad y un color oscuro. La Figura 15 muestra la corteza de un *muffin* control y otro recubierto con película de triticale.

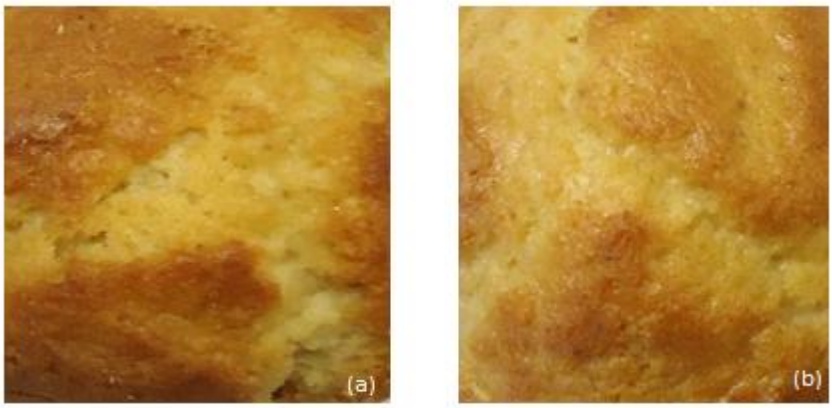

Figura 15. (a) Corteza de *muffin* control, (b) corteza de *muffin* recubierto con película de harina de triticale.

En este tipo de productos panificados, el color superficial es producido principalmente a través de las reacciones de Maillard y de caramelización (Kirchhoff & Schieberle, 2001). Las reacciones de Maillard incluyen un grupo de reacciones bastante complejo en donde, en primera instancia, ocurre la condensación de los grupos amino libres, generalmente de los aminoácidos, con los grupos carbonilo de los azúcares reductores. Debido a que el agua es un producto de la reacción, ésta se ve favorecida por las condiciones de deshidratación durante el horneado. Luego de esta condensación, se llevan a cabo una serie de arreglos que conducen a la formación de los pigmentos oscuros. Los azúcares también pueden llevar al oscurecimiento en ausencia de aminoácidos, a través de las reacciones de caramelización, que es un conjunto complejo de reacciones que dependen de la temperatura y que ocurren en un rango de pH bastante acotado (Cui, 2005).

Para la medición objetiva del color se utilizó el sistema CIELab. En éste se representan de forma regular los factores psicológicos que modifican nuestra percepción del color, tales como el tono (rojo, naranja, amarillo, etc.) la saturación o croma (muy rojo o menos rojo, según la proporción de gris presente en el color) y la luminosidad (situada entre blanco y el negro). Este es un sistema tridimensional esférico definido por tres coordenadas colorimétricas L*, a* y b*; todas son magnitudes adimensionales. La coordenada L* recibe el nombre de claridad o luminosidad y puede tomar valores entre 0 (negro) y 100 (blanco). Las coordenadas colorimétricas (a*, b*) forman un plano perpendicular a la luminosidad. La coordenada a* define la desviación del punto acromático correspondiente a la luminosidad hacia el rojo si a* es positiva y hacia el verde si a* es negativa. Análogamente, la coordenada b* define la desviación hacia el amarillo si b* es positiva y hacia el azul si b* es negativa (Pérez-Alvarez *et al.*, 1999).

En la Tabla 5 se presentan los valores medios de L*, a*, b*, el cálculo de C* y ΔE* de la corteza de los *muffins* analizados.

Los valores de a* y b* fueron positivos indicando que la coloración de la corteza de todos los *muffins* fue principalmente amarillo-rojiza.

La valores luminosidad (L*) de *muffins* sin cobertura se mantuvieron constantes durante el almacenamiento. Sin embargo, los valores de L* de los *muffins* recubiertos a los 7 días de almacenamiento fueron levemente mayores, debido precisamente a la película de triticale. La película de triticale le proporciona un mayor brillo al producto durante el almacenamiento. Esto puede ser debido a un menor secado superficial de estas muestras.

Tabla 5

Medición de color de corteza de *muffins* (media desviación ± estándar, n=6)

CORTEZA DE *MUFFINS* SIN COBERTURA					
	L*	**a***	**b***	**C***	**ΔE***
Inicial	44,50 ± 3,03	15,09 ± 0,80	30,67 ± 3,31	34,18	---
7 días	43,60 ± 6,11	13,09 ± 3,01	30,28 ± 4,46	32,98	2,23

CORTEZA DE *MUFFINS* CON COBERTURA					
	L*	**a***	**b***	**C***	**ΔE***
Inicial	42,30 ± 3,79	13,67 ± 0,46	28,13 ± 2,92	31,27	---
7 días	47,15 ± 2,15	13,89 ± 0,44	30,83 ± 2,57	33,81	5,56

Grillo *et al*. (2014) en su estudio sobre el uso de imágenes para evaluar la vida media de productos batidos, relacionaron los cambios colorimétricos que ocurren en *muffins* durante el almacenamiento con el envejecimiento. A través del análisis de imágenes digitalizadas que realizaron para evaluar la fluctuación de color, encontraron que los *muffins* frescos tienen una superficie brillante, debido a su alto contenido de humedad y a que el contenido lipídico se distribuye equitativamente. Además, percibieron que la superficie de los *muffins* tiene grupos de partes no uniformes de diferente color. Durante el almacenamiento, la humedad del producto disminuye, lo que afecta el color de superficie, convirtiéndose en homogéneo y más plano. En particular hallaron que se produce una decoloración con una tendencia lineal durante todo el

almacenamiento, seguido por una pérdida de color más rápida durante la última semana de almacenamiento. Este cambio de color puede ser relacionado con el proceso oxidativo que se produce durante el envejecimiento y que con frecuencia, los consumidores lo reconocen como un signo de mala calidad de los productos.

Croma (C*) es el componente cuantitativo asociado con la pureza del color en el espacio CIELab. En los *muffins* recubiertos con la película de triticale los valores de C* aumentaron con el almacenamiento indicando una saturación de color significativamente mayor con el tiempo.

Los valores de ΔE* obtenidos entre *muffins* sin cobertura y con cobertura de triticale son 3,64 a tiempo inicial y 3,63 a la semana (datos no mostrados en tabla), ambos > 3 por lo que se puede inferir que las diferencias de color resultarían detectables para el ojo humano (Martínez-Cervera *et al.*, 2012).

También se calculó el valor ΔE* para detectar la diferencia de color entre los *muffins* almacenados y las muestras frescas, cuanto más alto es el valor de ΔE*, mayor es la desviación en comparación con el color original. Un ΔE* > 3, que corresponde a una diferencia sensorial notable (Sharma, 2003; Martínez-Cervera *et al.*, 2012), sólo se mostró en *muffins* almacenados con películas comestibles que cubren el producto. El valor ΔE* obtenido entre los *muffins* sin cobertura a tiempo inicial y a tiempo final de almacenamiento fue de 2,23. En cambio, el valor ΔE* obtenido entre los *muffins* con cobertura a tiempo inicial y a tiempo final de almacenamiento fue de 5,56 (Tabla 5).

En la Tabla 6 se presentan los valores medios de L*, a*, b* y el cálculo de C* y ΔE* de la miga de los *muffins* analizados.

Los valores de a* y b* fueron positivos, con L* alto, indicando que la miga de todos los *muffins* fue principalmente amarillo pálido.

La temperatura alcanzada en el interior de los *muffins* no excede de 100 ºC, lo que significa que las reacciones de Maillard y de caramelización no se producen y los colores observados en la miga, por lo tanto, corresponden principalmente a los colores de los ingredientes utilizados en la fórmula. En general el color de la miga está relacionado principalmente con el color de las harinas (Gómez *et al.*, 2011).

Tabla 6

Medición de color de miga de *muffins* (media desviación ± estándar, n=6)

MIGA DE *MUFFINS* SIN COBERTURA					
	L*	**a***	**b***	**C***	**ΔE***
Inicial	72,03 ± 3,14	0,36 ± 0,19	23,72 ± 1,73	23,72	---
7 días	66,49 ± 2,18	1,74 ± 0,60	28,71 ± 0,16	28,76	7,62

MIGA DE *MUFFINS* CON COBERTURA					
	L*	**a***	**b***	**C***	**ΔE***
Inicial	70,73 ± 3,14	0,28 ± 0,11	24,81 ± 1,69	24,81	---
7 días	69,76 ± 2,18	1,35 ± 0,60	25,96 ± 0,16	25,99	1,85

En nuestro trabajo, los valores de a* en miga aumentaron más de 4 veces con el tiempo de almacenado, tanto en los *muffins* controles como en los recubiertos, mientras que los valores de b* de los *muffins* sin recubrimiento aumentaron un 21% y los recubiertos un 4%, lo que significa que la película de triticale también fue efectiva en disminuir el aumento de color amarillento de la miga de *muffins* almacenados.

Igual que en el caso de la corteza, los *muffins* sin cobertura mostraron en la miga una saturación de color (C*) mayor con el tiempo de almacenado que los recubiertos.

3.3.5. Índice de pardeamiento (valor BI)

Los resultados de color de la superficie (corteza) de las muestras de los *muffins* se utilizaron en el cálculo del índice de pardeamiento (valor BI), según lo descripto en Materiales y Métodos (Sakin-Yilmazer *et al.*, 2013). El valor de este índice indica la pureza del color marrón y se reporta como un parámetro importante en los procesos donde el pardeamiento enzimático y no enzimático se lleva a cabo.

Tabla 7

Valores de índice de pardeamiento (BI) de la corteza de *muffins.* SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento

MUFFIN	**BI**
SC (Inicial)	140.82
SC (7 días)	137.28
CC (Inicial)	147.28
CC (7 días)	127.35

Se observó una tendencia general de mayor disminución en los valores del Índice de pardeamiento (BI) de *muffins* recubiertos con el almacenamiento (Tabla 7) que en los *muffins* controles sin cobertura. Este menor pardeamiento en los *muffins* recubiertos está relacionado con una menor pérdida de humedad superficial de estas muestras debido a la protección que implica la película de triticale.

3.3.6. Análisis de textura

La textura aparece como un indicador importante de frescura y calidad para el consumidor, por lo que es un factor esencial para la aceptación del producto en el mercado (Brady & Mayer, 1985; Angioloni & Collar, 2009) y una de las principales características distintivas de los productos de panadería. Una pérdida de la textura deseada resulta en un acortamiento notable de la vida útil del producto, y por lo

general, los consumidores de productos como *muffins* los prefieren con una miga aireada y tierna.

La eficiencia del recubrimiento comestible de la harina de triticale en el control del envejecimiento de *muffins* se evaluó a través de los parámetros de textura, los cuales se muestran en la Tabla 8 y la Figura 16.

Tabla 8

Parámetros de textura de *muffins* controles: sin recubrimiento (SC) y con recubrimiento (CC)

Muestras	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad	Resilencia
SC (Inicial)	0,82 ± 0,02	0,43 ± 0,03	84,61 ± 15,81	0,23 ± 0,02
SC (7 días)	0,80 ± 0,03	0,38 ± 0,04	154,32 ± 55,31	0,21 ± 0,03
CC (Inicial)	0,78 ± 0,03	0,38 ± 0,03	82,91 ± 19,84	0,20 ± 0,02
CC (7 días)	0,73 ± 0,04	0,34 ± 0,03	140,91 ± 76,62	0,17 ± 0,02

En los estudios de textura de los alimentos, en general el parámetro que se mide con mayor frecuencia es la firmeza o dureza del producto final debido a la fuerte correlación que existe entre la firmeza de la miga y la percepción de frescura por parte del consumidor (Carr *et al.*, 2006).

Diversos estudios previos demuestran que en los alimentos como los *muffins* los parámetros de textura más determinantes son la dureza o firmeza, resilencia y elasticidad (Gómez *et al.*, 2010; Marcet *et al.*, 2014), por lo cual éstos fueron los parámetros principales que se estudiaron.

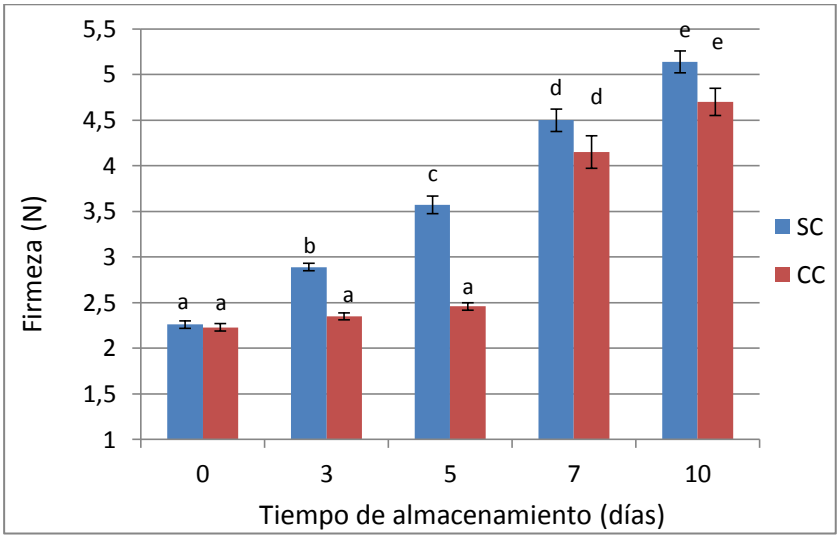

Figura 16. Firmeza de los *muffins* (media ± desviación estándar, n= 6). Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas (p<0,05). (SC): *muffins* sin recubrimiento; (CC): *muffins* con recubrimiento.

Los valores de firmeza de los *muffins* controles y recubiertos aumentaron durante el tiempo de almacenamiento (Figura 16), posiblemente debido a la pérdida de agua desde la superficie. Estos resultados están de acuerdo con estudios previos para diferentes clases de *muffins* (Grijelmo-Miguel *et al.*, 1999; Baixauli *et al.*, 2008b, Martínez-Cervera *et al.*, 2011). Sin embargo, el aumento de la dureza en *muffins* con cobertura fue menor, sobre todo en los primeros días. El recubrimiento de la película de triticale resultó eficaz para la obtención de *muffins* más frescos que las muestras controles durante el lapso de almacenaje.

El aumento de la dureza de la miga con el tiempo es un fenómeno en el que influyen diversos factores. La pérdida de humedad de la miga y la redistribución del agua entre los componentes, junto con las interacciones almidón-almidón que se establecen con el tiempo son dos de los mecanismos admitidos como básicos. Como se esperaba entonces, la dureza de la miga aumentó durante el lapso de almacenamiento para ambos tipos de *muffins* estudiados (Figura 16); aunque se observó que el recubrimiento de triticale disminuyó el endurecimiento de los *muffins* CC durante el almacenamiento.

Marcet *et al.* (2014) en su trabajo con *muffins* libres de gluten encontraron que el valor de la dureza está directamente relacionado con la densidad de la muestra.

Resultados similares se obtuvieron en este estudio, ya que los *muffins* con mayor peso específico presentaron mayores valores de firmeza.

Otra propiedad medida fue la elasticidad de la masa de los *muffins.* La elasticidad es un atributo de calidad muy importante que revela la habilidad de una muestra de recuperar su altura en el lapso de tiempo que va desde el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda (Sanz *et al.,* 2009).

Con respecto al cambio de elasticidad durante el almacenamiento, no se encontraron diferencias significativas entre los *muffins* SC y CC (Tabla 8). Bauxali *et al*., (2008b) tampoco encontraron diferencias significativas en los valores del parámetro de elasticidad con el almacenamiento de *muffins* adicionados con almidón resistente. La misma tendencia se encontró para la resilencia (Tabla 8). Baixauli *et al.* (2008b), también han encontrado que el patrón de comportamiento de resilencia era el mismo que para el parámetro de elasticidad.

La cohesividad caracteriza cuánto un material puede ser deformado antes de que se rompa, reflejando la cohesión interna del mismo. Un alimento que tenga altos valores de cohesividad no se desintegrará durante la masticación (Matos & Rosell, 2012) Los valores observados en este trabajo de cohesividad en los *muffins* (entre 0,34 y 0,43) implican una alta susceptibilidad de estos productos a desgranarse. El parámetro de masticabilidad refiere al tiempo requerido para masticar una pieza de *muffin* antes de tragarlo, y valores bajos indican una ruptura fácil en la boca (Matos & Rosell, 2012). En nuestro estudio no se encontraron diferencias significativas de cohesividad y masticabilidad entre los *muffins* SC y CC en el lapso de tiempo estudiado (Tabla 8).

Similares tendencias a las obtenidas en este trabajo fueron encontradas por Martínez-Cervera *et al.* (2011) en *muffins* preparados con fibra de cacao como reemplazante de grasas. Mientras que en *muffins* enriquecidos con fibra de frutas, Grigelmo-Miguel *et al.* (1999) encontraron que el parámetro de elasticidad no varió, mientras que la dureza y la masticabilidad aumentaron durante un período de almacenamiento de 7 días.

El cálculo de la pendiente de los valores de dureza en función del tiempo de almacenamiento de cada una de las muestras representadas en la Figura 16 nos proporciona una idea de la velocidad de endurecimiento de la miga. De acuerdo a la Figura 17 los *muffins* con recubrimiento mostraron menor velocidad de endurecimiento

que el control sin recubrimiento. La pendiente de la recta de los *muffins* sin recubrimiento fue de 0,304; mientras que para los *muffins* con recubrimiento fue de 0,275. Por lo que se concluye que el recubrimiento con harina de triticale, causó un efecto positivo sobre la firmeza de la miga en estos productos batidos. Gómez *et al.* (2010) también observaron que la evolución de la dureza en tortas sigue un modelo linear durante los primeros días de almacenamiento.

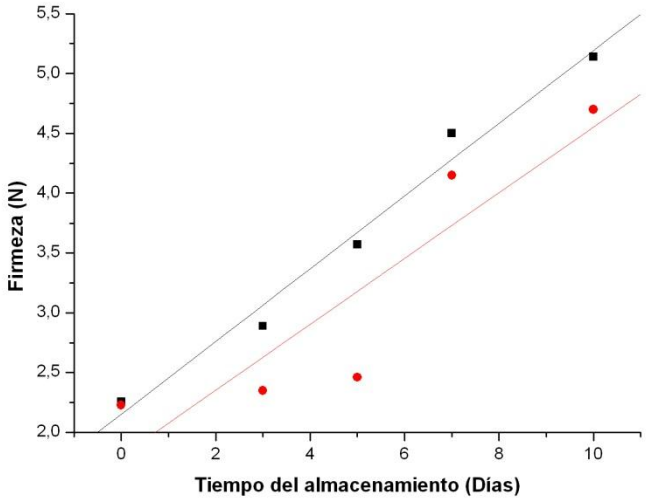

Figura 17. Efecto del recubrimiento con harina de triticale sobre la dureza de la miga de *muffins* sin recubrimiento (■ , R^2= 0,99) y con recubrimiento (●, R^2= 0,90) a los días 0, 3, 5, 7 y 10 de almacenamiento.

3.4. Cinética de envejecimiento. Modelo de Avrami

El efecto del recubrimiento sobre la dureza de la miga durante el tiempo de almacenamiento se analizó cuantitativamente mediante la ecuación de Avrami. En el almacenamiento de los productos de panificación como los *muffins* se lleva a cabo un proceso de reasociación y recristalización del almidón conocido como retrogradación y ocurre cuando las moléculas de almidón gelatinizado comienzan a reasociarse, lo que genera una estructura cristalina. Esta ecuación fue derivada para una cristalización en una matriz sólida y la aplicación de este modelo se basa en que los parámetros matemáticos de la ecuación de Avrami tienen un significado físico en el contexto de la

retrogradación. Este es un modelo que se ha utilizado con éxito en un gran número de procesos y es el modelo estándar para modelizar de forma sencilla la recristalización.

Los datos de dureza obtenidos se modelaron usando la ecuación de Avrami y los parámetros resultantes a partir de ellos se muestran en la Tabla 9. El exponente de Avrami η está relacionado con la forma en que se produce la nucleación de los cristales y su posterior crecimiento. Los valores obtenidos en este estudio para los *muffins* controles sin cobertura y para los recubiertos fueron 1,51 y 1,71, respectivamente y reflejan la morfología similar del proceso de envejecimiento. Se ha definido a la retrogradación del almidón como un proceso de cristalización que comienza con un núcleo espontáneo que crece en una sola dimensión, lo que corresponde a un exponente de Avrami de 1. Sin embargo, nuestros resultados, con valores obtenidos de 1,51 y 1,71, diferentes a 1, coinciden con los presentados por otros autores en pan (Martin *et al*., 1991; Armero & Collar, 1998), también diferentes a 1. Esto sería debido a que el envejecimiento de los *muffins*, así como el de otros productos de panificación, es el resultado de varios factores y de que la retrogradación del almidón no es la única causa.

Tabla 9

Parámetros de Avrami para la cinética de dureza de la miga de los *muffins* (SC: sin cobertura y CC: con cobertura). H_0, y H_∞: dureza a tiempo cero e infinito (o valor límite), ***k:*** constante de velocidad, ***η:*** exponente de Avrami; 1/ *k:* constante de tiempo

Muffin	**H_0**	**H_∞**	***k***	***η***	**Constante de tiempo**
SC	2.26	5.14	0.3157	1.51	3.1676
CC	2.23	4.70	0.2407	1.70	4.1545

Valores de ***n*** (exponente de Avrami) más altos se asocian a menudo con valores de ***k*** (constante de velocidad) pequeños. El coeficiente ***k*** estimado de la dureza de la miga de los *muffins* recubiertos disminuyó en un 24 % en comparación con el control,

con lo que disminuyó la velocidad de envejecimiento, como resultado del efecto de la película de triticale. Según Armero & Collar (1998), una disminución del valor ***k*** da lugar a un a cinética más lenta de solidificación de la miga.

La constante de tiempo (1/*k*), es el tiempo para cualquier fracción dada de material para ser convertido en la forma envejecida (Kim & D'Appolonia, 1997). Cuanto mayor sea la constante de tiempo, más lenta es la cinética de endurecimiento. El valor de la constante de tiempo obtenido para los *muffins* recubiertos fue 31% mayor que para el control. La cinética de solidificación de la miga depende de los cambios en la resistencia del material con el tiempo y también en la distribución del material (Armero & Collar, 1998). Los resultados muestran que el recubrimiento de la película de triticale fue eficaz en el retraso del proceso de envejecimiento y esto resultó en *muffins* con una textura más suave y frescos por más tiempo.

Los resultados obtenidos según el modelo de Avrami, se correlacionan con la pendiente del gráfico de dureza (Figura 17) donde para los *muffins* con cobertura de triticale ésta es considerablemente menor.

3.5. Análisis de imágenes

El análisis de imágenes ha demostrado ser un instrumento válido, de fácil ejecución y preciso, para medir la evolución de la vida de anaquel de un producto de panadería de forma clara, objetiva, fiable y de manera no destructiva, al permitir evaluar las variaciones de forma durante el tiempo de almacenamiento. Además, a través del uso de análisis de imagen, es posible establecer el nivel de calidad del producto final, especialmente su apariencia y su atractivo para los consumidores.

Las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los alimentos panificados como los *muffins* dependen en gran medida de la estructura de la miga. La miga afecta la apariencia, el volumen y la textura del producto de panadería (Turabi *et al.*, 2010). Por lo tanto, la comprensión a nivel macro y micro de la estructura interna de los productos de panadería es esencial.

A nivel macroscópico se pueden distinguir dos fases: una gaseosa que es aire y una sólida que está totalmente conectada. La examinación a nivel de la micro-estructura de los alimentos siempre ha sido difícil, debido a la complejidad del material en

cuestión. El análisis de imágenes y la cuantificación es una tecnología que permite obtener resultados a partir de imágenes digitalizadas. Estas mediciones proporcionan evaluaciones objetivas de las características morfo-colorimétricas de las muestras. Este método es más cuantitativo y menos sesgado que el método común de la percepción visual, que es propenso a variaciones debido a las opiniones personales de los inspectores (Sonka *et al.*, 2008). Muchos estudios han demostrado la utilidad del análisis de imágenes para el estudio de las características morfométricas en frutas y verduras, legumbres y productos de panadería (Lopez-García *et al.*, 2010; Turabi *et al.*, 2010; Grillo *et al.*, 2014).

Grillo *et al.* (2014) en su trabajo sobre almacenamiento de *muffins* con dos clases diferentes de películas de polipropileno durante 12 semanas observaron que las mayores diferencias en los parámetros medidos ocurrieron durante los primeros 7 días, siguiendo un período de estabilización general en las semanas siguientes. En nuestro estudio se midieron los parámetros descriptivos de forma y tamaño de partículas (poros) en la estructura de la miga, debido a la relación que existe entre esta información cuantitativa y el estado de envejecimiento de los *muffins* (control y recubiertos), para poder hacer una interpretación de cómo el almacenamiento durante 7 días cambia la apariencia textural de estos productos.

La Figura 18 (a) muestra el gráfico de la imagen escaneada de la miga de un *muffin*. La imagen binaria que se obtuvo por el software Image J se puede ver en la Figura 18 (b). Imágenes binarias como estas se utilizaron para el análisis cuantitativo de los poros.

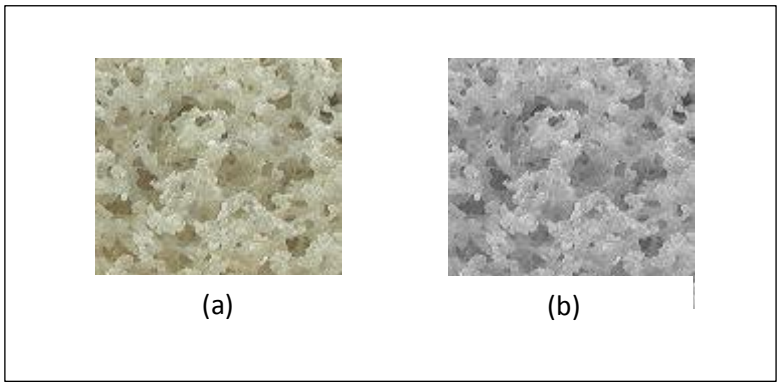

Figura 18. (a) Imagen escaneada de la miga del *muffin*. (b) Imagen binaria de este *muffin*.

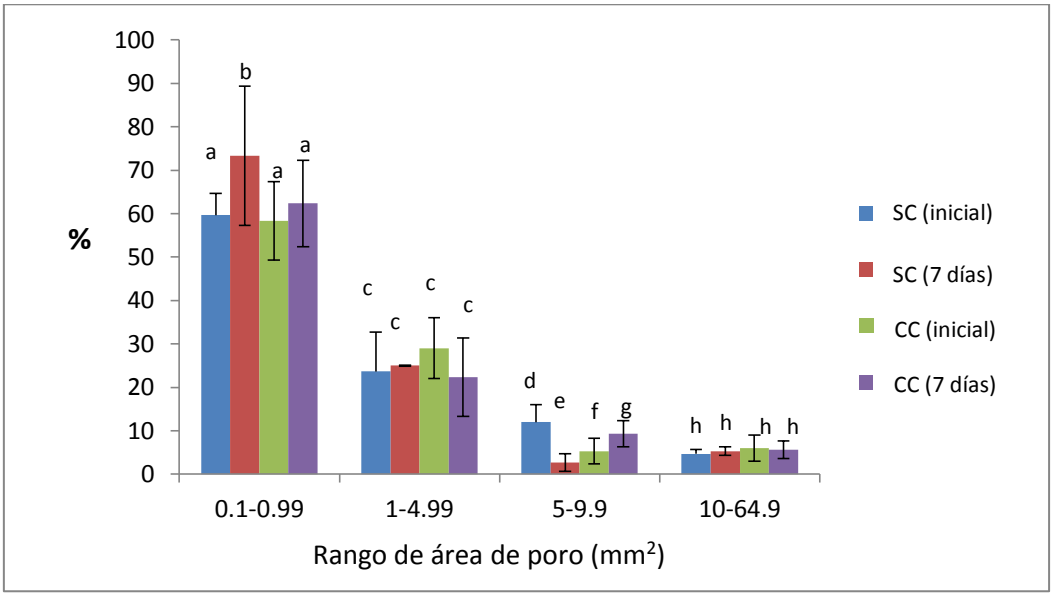

Figura 19. Distribución de área de poro de la miga del *muffin* (SC: sin recubrimiento y CC: con recubrimiento). Barras con diferente letra presentan una diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

La distribución de área de poros de la miga de los *muffins* se muestra en la Figura 19. Valores altos de fracción de área de poros indica que el producto es más poroso, lo cual se relaciona con un mayor volumen específico y esponjosidad (Turabi *et al.*, 2010). En nuestro estudio se observó que con el tiempo de almacenamiento los *muffins* controles se hicieron menos porosos, ya que se incrementó significativamente el porcentaje de los poros pequeños (0,1 a 0,99 mm^2) y disminuyó el porcentaje de poros intermedios. Los poros grandes se mantuvieron sin diferencias significativas. Mientras tanto, en *muffins* recubiertos con película de triticale, el tiempo de almacenamiento sólo afectó al porcentaje de poros intermedios (5 a 9,9 mm^2), el cual se incrementó levemente y se mantuvieron sin diferencias significativas el porcentaje de poros pequeños y poros grandes. Por lo cual, se puede inferir que la película de triticale es efectiva para mantener la estructura y pared alveolar de la miga de los *muffins*, lo cual es muy importante para conservar el volumen específico del producto.

Con el análisis de imagen también se evaluó la circularidad de los poros, la cual es una medida de forma de partícula en relación con un círculo perfecto. Un círculo perfecto tiene una circularidad de 1, mientras que un objeto irregular tiene un valor circularidad más cerca de 0 (Turabi *et al.*, 2010). Es decir, esta relación se aleja tanto

más de la unidad cuanto más irregular sea el perímetro de la partícula. El tiempo de almacenamiento produjo una disminución significativa de la circularidad de los poros en la miga de los *muffins* controles, mientras que no se encontró ninguna diferencia significativa en términos de circularidad para los *muffins* recubiertos (Figura 20). La pérdida de circularidad de los poros en los *muffins* controles está asociada a cambios en la pared alveolar producto del envejecimiento. La misma tendencia fue observada por Grillo *et al.* (2014), según dichos autores, una deformación estable pero ligera durante el período observado.

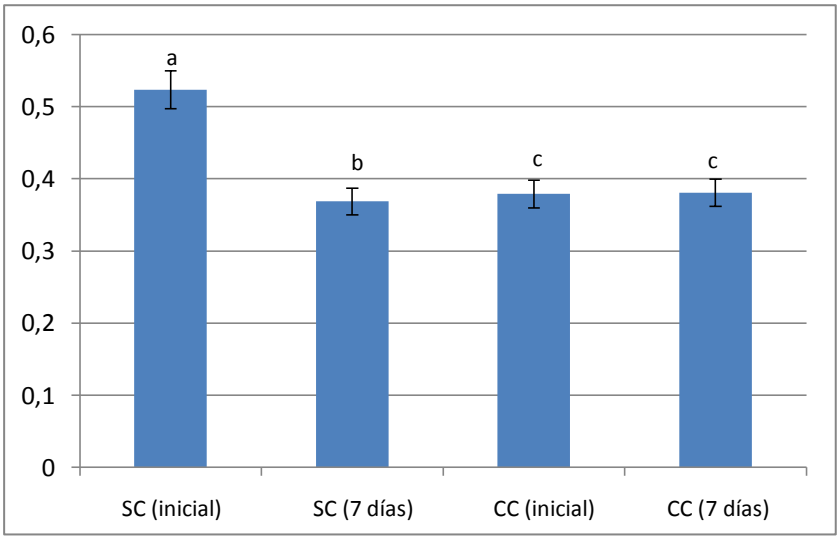

Figura 20. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre la circularidad de los poros en la miga de los *muffins*. Barras con diferente letra presentan una diferencia significativa ($p \leq 0,05$). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

Otro parámetro que se analizó fue la relación de aspecto o elongación (AR), que se define como la relación entre el largo y el ancho de la partícula. Los valores de AR de los poros de la miga se muestran en la Figura 21. No se encontraron diferencias significativas entre los controles y los *muffins* recubiertos durante el tiempo de almacenamiento.

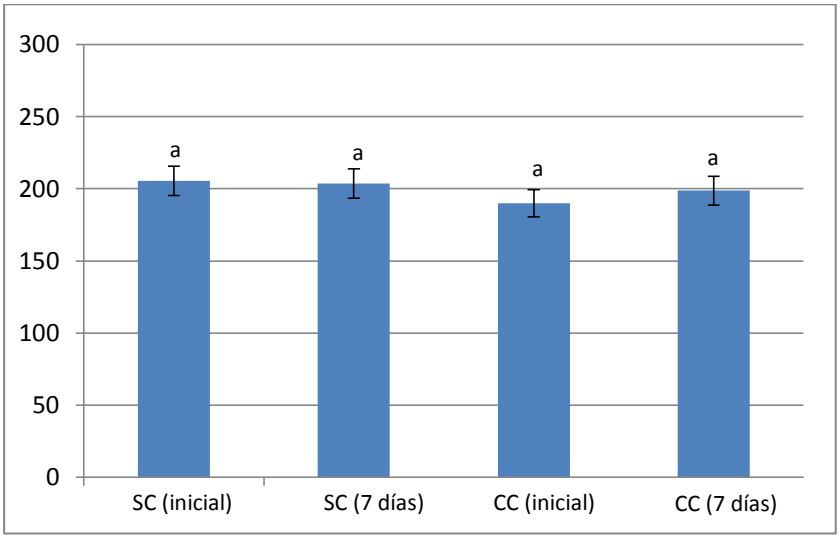

Figura 21. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre relación de aspecto de poro de la miga de los *muffins*. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas (p< 0,05). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

El parámetro redondez, describe el grado de deformación de la muestra (Grillo *et al.*, 2014). La redondez indica lo anguloso o suaves que son los vértices, aristas y lados que forman los perfiles de la partícula. Los valores de redondez de los poros de la miga se muestran en la Figura 22. No se encontró diferencia significativa entre el control y los *muffins* recubiertos durante el tiempo de almacenamiento. Los valores de redondez de nuestro estudio se encuentran entre 0,53 y 0,59. Un valor superior a 0,6 indica una alta redondez, entre 0,4 y 0,6 indica un grado medio de la redondez, y menos de 0,4, baja redondez (Mgangira *et al.*, 2013). Por lo cual, se observó que se mantuvo un grado medio de redondez tanto en los *muffins* controles como en los recubiertos con película de triticale. Grillo *et al.* (2014) encontraron una leve disminución (4,9%) en el factor redondez de los *muffins* almacenados en bolsas de polipropileno durante el almacenamiento.

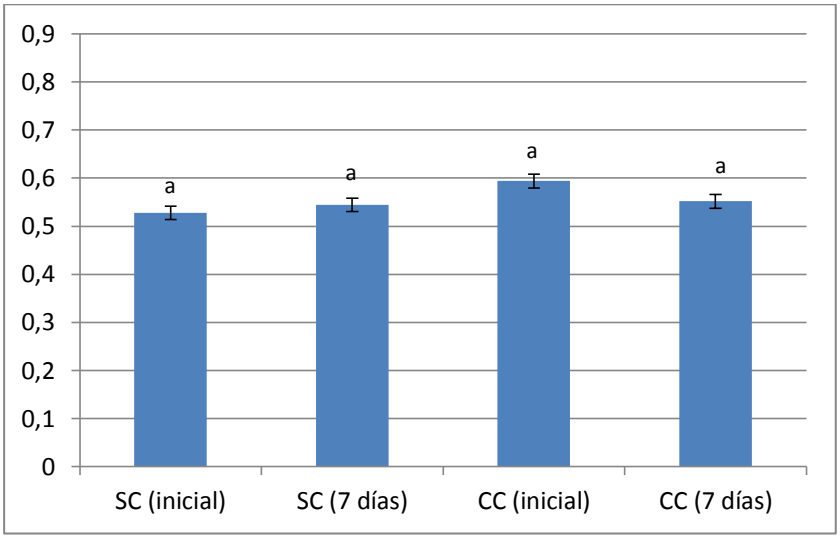

Figura 22. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre la redondez de poro de la miga de los *muffins*. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

La solidez (convexidad) es la relación del área de la proyección de 2 dimensiones de la partícula y la zona convexa. La zona convexa se puede definir como el área encerrada por una "cadena" imaginaria envuelta alrededor del objeto. La solidez tiene valores en el rango de 0 a 1. El tiempo de almacenamiento produjo una disminución significativa de la solidez de los poros de la miga de *muffins* controles, mientras que no se encontró ninguna diferencia significativa en cuanto a la solidez de los *muffins* recubiertos (Figura 23). Esta disminución de solidez en los *muffins* controles se relaciona con una pérdida de uniformidad de los poros, como consecuencia del almacenamiento; esto no ocurrió en los *muffins* recubiertos con película de triticale.

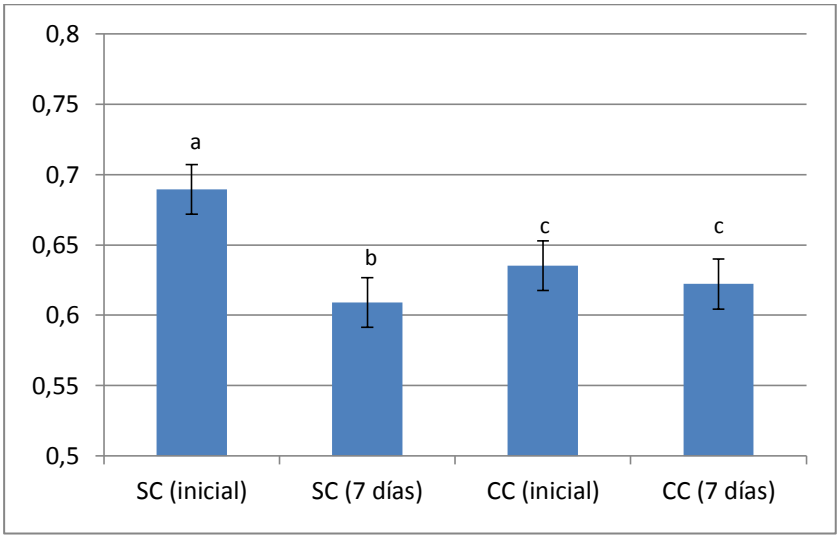

Figura 23. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre la solidez de poro de la miga de los *muffins*. Barras con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

Otra característica que se analizó fue el diámetro de Feret; el mismo no es un diámetro en su sentido real, pero es la base común de un grupo de diámetros derivados de la distancia de dos tangentes paralelas al contorno de la partícula en una orientación bien definida. El diámetro de Feret es la mayor distancia entre dos puntos cualesquiera a lo largo de la frontera del objeto y la menor distancia es el diámetro mínimo o MinFeret. Si una partícula tiene una forma irregular, el diámetro de Feret por lo general varía mucho más que con partículas de forma regular, por lo tanto, el máximo puede ser significativamente mayor y el mínimo menor que el diámetro del círculo equivalente. Los resultados se muestran en la Figura 24. No se encontraron diferencias significativas en el diámetro de Feret y MinFeret entre el control y los *muffins* recubiertos durante el tiempo de almacenamiento.

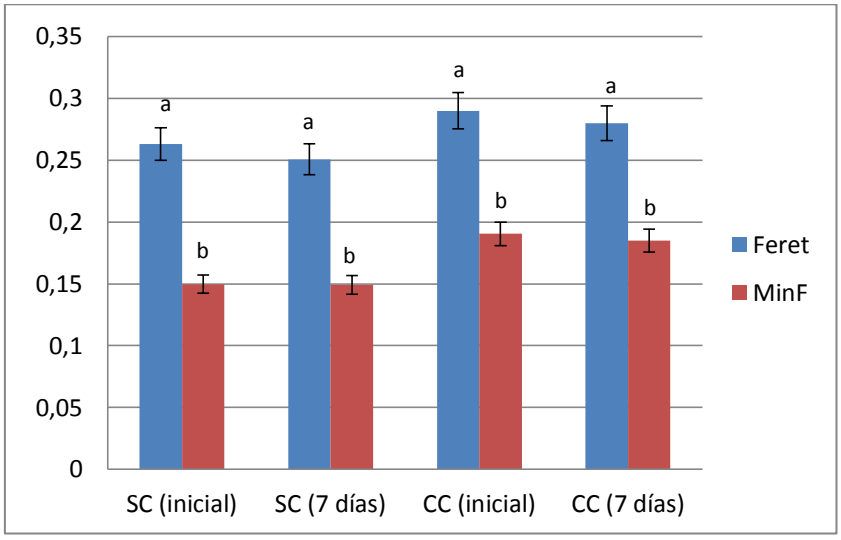

Figura 24. Efecto del recubrimiento de película de triticale sobre los valores Feret y MinFeret la miga de los *muffins*. Barras con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$). SC: *muffins* sin recubrimiento; CC: *muffins* con recubrimiento.

3.6. Análisis sensorial

Para hacer el análisis sensorial de los *muffins* en estudio se utilizaron pruebas discriminativas (pruebas triangulares), según lo descripto en Materiales y Métodos. En cada prueba se ofrecieron 3 muestras ordenadas al azar de las cuales 2 fueron iguales. Cada panelista debió decidir al probar las muestras cuál de ellas era la diferente. Los *muffins* fueron codificados con un número de tres dígitos al azar.

En primer lugar se realizó una prueba para evaluar el atributo sensorial de apariencia, el cual se define como la propiedad sensorial de los alimentos detectada por el sentido de la vista; y comprende atributos como el color, brillo, rugosidad - parejo (apariencias de textura visuales), etc. Luego se realizó una prueba triangular para evaluar el sabor; éste es un atributo sensorial complejo, ya que combina tres propiedades: el olor, el aroma y el gusto que se detecta cuando se introduce un alimento en la boca. Los resultados se interpretaron según las tablas de Roessler, que nos indica la cantidad de respuestas correctas mínimas necesarias para obtener diferencias con distintos niveles de significancia (Catania & Avagnina, 2007).

Los resultados de la prueba triangular de apariencia indican que el 60 % identificó la muestra con recubrimiento de triticale; en varios comentarios de los jueces

justifican la elección debido a la coloración de la superficie del *muffin*. Sin embargo, se acepta la hipótesis: “no hay diferencias” con un nivel de significancia del 5 % ya que el número crítico de respuestas correctas fue menor al esperado para obtener diferencias según tabla Roessler para pruebas triangular (Anexo I).

En la prueba triangular de sabor donde se les solicita a los jueces que prueben las muestras se obtienen los siguientes resultados: el 73% de los jueces identificó el *muffin* con recubrimiento como el de sabor diferente, en algunos comentarios de la elección lo justifican como más esponjoso; por lo que se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5% y se concluye que existen diferencias entre ambos. Sin embargo, es importante destacar que los *muffins* recubiertos no resultaron desagradables para los jueces.

Estos resultados sugieren que no hay diferencias significativas de apariencia visual de los *muffins* controles y los *muffins* recubiertos a tiempo inicial, sin embargo se encuentran diferencias en el sabor en los *muffins* recubiertos, ya que un porcentaje importante de jueces los identificaron como diferentes.

4. CONCLUSIONES

Con el uso de una materia prima autóctona y de bajo costo, como el triticale, fue posible elaborar una película comestible en base a su harina, que se aplicó efectivamente mediante la técnica del *sprayado* (pulverización) en un producto panificado batido muy apreciado por los consumidores, como los *muffins*. La composición de la harina de triticale utilizada en este estudio resultó apta para la elaboración de la solución filmogénica con agregado de glicerol como plastificante. Después del proceso de pulverización, las partículas de solución formadora de película que impactaron sobre la superficie de los *muffins* se adhirieron a ella, lo que resultó en un recubrimiento con alta resistencia de unión y una técnica viable de aplicación.

En este trabajo se evaluó la calidad de *muffins* controles (sin recubrimiento) y recubiertos con película de triticale durante el almacenamiento y se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La pérdida de peso de los *muffins* controles disminuyó significativamente durante el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, el tiempo de almacenamiento no influyó significativamente en la pérdida de peso de *muffins* recubiertos con película de triticale.
- La película de harina de triticale que recubrió los *muffins*, siendo totalmente biodegradable y comestible, previno la pérdida de peso por deshidratación de los mismos, confiriéndoles aspecto de frescura por más tiempo.
- No se observaron diferencias significativas en el peso específico de *muffins* recubiertos, luego de transcurrido el tiempo de almacenamiento, indicando que se mantuvo la esponjosidad. Mientras que en los controles sin recubrimiento se observó una disminución en el volumen y un aumento en el peso específico.
- Referido al color, los valores de a* y b* fueron positivos indicando que la coloración de la corteza de todos los *muffins* fue principalmente amarillo-rojiza. La valores luminosidad (L*) de *muffins* sin recubrimiento se mantuvieron constantes durante el almacenamiento. Sin embargo, los valores de L* de los *muffins* recubiertos fueron levemente mayores debido a la película de triticale, la cual le proporciona un mayor brillo al producto, manteniéndose durante el almacenamiento. Ambos tipos de *muffins* se pusieron más amarillos y luminosos con el tiempo de almacenaje (menor

a* y mayores b* y L*), aunque solamente en aquellos recubiertos la saturación del color aumento (C*).

- Se observó una tendencia general de disminución en los valores del Índice de pardeamiento (BI) tanto en los *muffins* controles como en los recubiertos.
- Los *muffins* con recubrimiento presentaron menor velocidad de endurecimiento que los controles sin cobertura. El incremento en la dureza con el tiempo de almacenamiento fue mayor para aquellos que no estaban recubiertos, indicando un mayor envejecimiento y una disminución de calidad. Con el recubrimiento de harina de triticale se observó una cinética más lenta de envejecimiento, según la ecuación de Avrami. Además, el valor de constante de tiempo obtenido para *muffins* recubiertos fue (31%) mayor que para los controles.
- El recubrimiento de la película de triticale fue eficaz en el retraso del proceso de envejecimiento, que resultó en *muffins* con una textura más suave y frescos por más tiempo.
- El análisis de imágenes mostró que en *muffins* recubiertos con película de triticale el tiempo de almacenamiento sólo afectó en la miga al porcentaje de poros intermedios, el cual se incrementó levemente y se mantuvieron sin diferencias significativas el porcentaje de poros pequeños y poros grandes. Se puede inferir que la película de triticale es efectiva para mantener la estructura y pared alveolar de la miga de los *muffins*, lo cual es muy importante para conservar el volumen específico del producto.
- El tiempo de almacenamiento produjo una disminución significativa de la circularidad de los poros en la miga de *muffins* controles, mientras que no se encontraron diferencias significativas para los *muffins* recubiertos. Igual tendencia se observó en la solidez de los poros de la miga de *muffins* controles, mientras que no se encontró ninguna diferencia significativa en cuanto a la solidez de los *muffins* recubiertos. Esta disminución de solidez en los *muffins* controles se relaciona con una pérdida de uniformidad de los poros, como consecuencia del almacenamiento; esto no ocurrió en los *muffins* recubiertos con película de triticale. Se observó que se mantuvo un grado medio de redondez tanto en los *muffins* controles como en los recubiertos con película de triticale.

- En el análisis sensorial no se encontraron diferencias significativas en la apariencia visual de los *muffins* controles y los *muffins* recubiertos a tiempo inicial, sin embargo se encontraron diferencias en el sabor en los *muffins* con recubrimiento de harina de triticale, ya que un porcentaje importante de jueces los identificaron como diferentes. Sin embargo, *los muffins* recubiertos no resultaron desagradables para los catadores.

Nuestros resultados mostraron la viabilidad del recubrimiento por pulverización en *muffins.* Al mismo tiempo que se demostró que es factible su aplicación para prolongar su vida útil, manteniendo la calidad y frescura del producto.

5. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, K., Cavender, G., & Kerr, W. L. (2011). Sensory and physical properties of muffins made with waxy whole wheatflour. *Journal of Food Quality, 34*, 343-351.

Aguirre, A., Borneo, R., & Leon, A. E. (2011). Properties of triticale flour protein based films. *LWT- Food Science and Technology, 44*, 1853-1858.

Aguirre, A., Borneo, R., & Leon, A. E. (2013a). Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil. *Food Bioscience*, *1*, 2-9.

Aguirre, A., Borneo, R., & Leon, A. E. (2013b). Properties of triticale protein films and their relation to plasticizing-antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol. *Industrial Crops and Products, 50*, 297-303.

Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potencial in the food industry: review. *LWT- Food Science and Technology, 43*, 837-842.

Alikhani, M. (2014). Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by aplication of edible coatings and microencapsulation technique. *Food Science Nutrition, 2*, 210-217.

American Asociation de Cereal Chemists (AACC). (1995). *Approved Methods of the AACC* (9nd ed.). St. Paul, MN, USA: American Asociation de Cereal Chemists.

American Association of Cereal Chemists (AACC). (2000). *Approved Methods of the AACC* (10 ed.). St Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.

Andrade, R. D., Skurtys, O., & Osorio, F. A. (2012). Atomizing spray systems for application of edible coatings. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety, 11*, 323-337.

Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012). Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate Polymers, 11*, 449-458.

Angioloni, A., & Collar, C. (2009). Bread crumb quality assessment: a plural physical approach. *Europe Food Research Technology, 229*, 21-30.

Antoniewski, M. N., Barringer, S. A., Knipe, C. L., & Zerby, H. N. (2007). Effect of a gelatin coating on the shelf life of fresh meat. *Journal Food Science, 72*, 382-387.

Antunes, M. D., Gago, C. M., Cavaco, A. M., & Miguel, M. G. (2012). Edible coatings enriched with essential oils and their compounds for fresh and fresh-cut fruit. *Recent Patent of Food, Nutricion and Agriculture, 4*, 114-122.

Anzaldúa Morales, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica.* Zaragosa: Acribia. España.

Armero, E., & Collar, C. (1998). Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *Journal of Cereal Science, 28,* 165–174.

Arvanitoyannis, I., Psomiadou, E., Nakayama, A., Aiba, S., & Yamamoto, N. (1997). Edible films made from gelatin, soluble starch and polyols. *Food Chemistry, 60*, 593-604.

Arzate-Vázqueza, I., Chanona-Péreza, J. J., Calderón-Domíngueza, G., Terres-Rojas , E., Garibay-Febles, V., Gutiérrez-López, G. F. (2012). Microstructural characterization of chitosan and alginate films by microscopy techniques and texture image analysis. *Carbohydrate Polymers, 87*, 289-299.

Asensio, C., Nepote, V., & Grosso, N. R. (2013). Consumer's acceptance and quality stablility of olive oil flavoured with essential oils of different oregano species. *International Journal of Food Science and Technology, 48*, 2417–2428.

Baeva, M. R., Terzieva, V. V., & Panchev, I. N. (2003). Structural development of sucrose-sweetened and sucrose-free sponge cakes during baking. *Nahrung Food, 47*, 154-160.

Baeva , M., & Panchev , I. (2005). Investigation of the retaining effect of a pectin-containing edible film upon the crumb ageing of dietetic sucrose-free sponge cake. *Food Chemistry, 92,* 343-348.

Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. (2008a). Muffins with resistant starch: baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science, 47*, 502-509.

Baixauli, R., Salvador, E. A., & Fiszman, E. S. (2008b). Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology, 226*, 523-530.

Bahram, S., Resai, M., Soltani, M., Kamali, A., Ojagh, S. M., & Abdollahi, M. (2013). Whey protein concentrate edible film activated with cinnamon essential oil. *Journal of Food Processing and Preservation, 38*, 1251-1258.

Beesley, P. M. (1995). Sugar functionality reviewed. *Food Technology International Europe, 1*, 87-89.

Beltrán-Orozco, M. C., Réndon Meza, J. H., & Gallardo-Velázquez, T. (2007). Cinética de las características físicas de mantecadas bajas en grasa almacenada en dos tipos de empaque durante su vida en anaquel. *Información Tecnológica, 18*, 13-22.

Besbes, E., Jury, V., Monteau, J., & Le Bail, A. (2014). Effect of baking conditions and storage with crust on the moisture profile, local textural properties and staling kinetics of pan bread. *LWT - Food Science and Technology, 58*, 658-666.

Bosmans, G. M., Lagrain, B., Ooms, N., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2013). Biopolymer interactions, water dynamics, and bread crumb firming. *Journal Agricultural Food Chemistry, 61*, 4646-4654.

Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology, 32*, 62–66.

Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal, 15*, 1-12.

Brady, P. L., & Mayer, S. M. (1985). Correlation of sensory and instrumental measures of bread texture. *Cereal Chemistry, 62*, 70-72.

Bravin, B., Peressini, D., & Sensidoni, A. (2006). Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering, 76*, 280-290.

Brites, C. M., Igrejas, G., & León, A. E. (2007). Centeno y triticale. En L. A. al., *De tales harinas, tales panes* (págs. 161-186). Córdoba: Hugo Báez.

Carr, L. G., Rodas, M. A., Della Torre, J. C., & Tadini, C. C. (2006). Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. *LWT- Food Science and Technology, 39*, 540-547.

Catania, C., & Avagnina, S. (2007). El análisis sensorial. *Curso superior de degustación de vinos*. Mendoza, Argentina: INTA.

Cha, D. S., & Chinnam, M. S. (2004). Biopolymer based antimicrobial packaging: critical reviews. *Food Science and Nutrition, 44*, 223-237.

Chambi, H., & Grosso, C. (2006). Edible films produced with gelatin and casein cross-linked with transglutaminase. *Food Research International, 39*, 456-458.

Charley, H. (1987). *Tecnología de los Alimentos.* México: Limusa-Noriega.

Cho, S. Y., Park, J. W., Batt, H. P., & Thomas, R. L. (2007). Edible films made from membrane processed soy protein concentrates. *LWT- Food Science and Technology, 40*, 418-423.

Civille , G. V., & Szczesniak, A. S. (1973). Guidelines to training a textura profile panel. *Journal of Texture Studies, 4*, 204-223.

Cornford, S. J., Axford, D. W., & Elton, G. A. (1964). The elastic modulus of bread crumb in linear compression in relation to staling. *Cereal Chemistry, 41*, 216-229.

Cui, S. W. (Ed.). (2005). *Food carbohydrates: chemistry, physical properties and applications.* Boca Ratón, USA: CRC Press.

De Cock, T. (2009). Estudio y modelizacion de la recristalización. *Tesis doctoral*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J., & Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in Food Science, 38*, 299-313.

Denavi, G., Tapia-Blacido, D. R., Anon, M. C., Sobral, P. J., Mauri, A. N., & Menegalli, F. C. (2009). Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. *Journal of Food Engineering, 90*, 341-349.

Dhall, R. K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruit and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 53*, 435-50.

di Gioia, L., & Guilbert, S. (1999). Corn protein-based thermoplastic resins: effects of some polar and anphiphilic plasticizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*, 1254-1261.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2013). *InfoStat versión 2013*. (F. U. Grupo InfoStat, Productor) http://www.infostat.com.ar

Donhowe, I. G., & Fennema, O. (1994). Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions and testing methods. En J. M. Krochta, E. A. Baldwin, & N. O. Nisperos-Carriedo (Edits.), *Edible coatings and films to improve food quality* (págs. 1-24). Lancaster, Pa: Technomic Pub .

Fennema, O. R., & Tannenbaum, S. R. (1985). En O. R. Fennema (Ed.), *Introduction to food chemistry* (págs. 1-20). NewYork: Marcel Dekker.

Frutos, M. J., & Hernández–Herrero , J. A. (2005). Effects of rosemary extract (Rosmarinus officinalis) on the stability of bread with oil, garlic and parsley dressing. *LWT- Food Science and Technology, 38*, 651-655.

Gélinas, P., Roy, G., & Guillet, M. (1999). Relative effects of ingredients on cake staling based on accelerated shelf-live test. *Journal Food Science, 64*, 937-940.

Gellynck , X., Kühne, B., Van Bockstaele, F., Van de Walle, D., & Dewettinck, K. (2009). Consumer perception of bread quality. *Appetite, 53*, 16-23.

Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., & Rosell, C. M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids, 21*, 167-173.

Gómez, M., Oliete, B., Pando, V., Ronda, F., & Caballero, P. A. (2008). Effect of fermentation conditions on bread staling kinetics. *European Food Research and Technology, 226*, 1379-1387.

Gómez, M., Ruiz-París, E., Oliete, B., & Pando, V. (2010). Modeling of texture evolution of cakes during storage. *Journal of Texture Studies, 41*, 17-33.

Gómez, M., Ruiz, E., & Oliete, B. (2011). Effect of batter freezing conditions and resting time on cake quality. *LWT - Food Science and Technology, 44*, 911-916.

Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. L. (1992). Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science, 57*, 190-199.

Grijelmo-Miguel, N., Carreras-Boladeras, E., & Martín-Belloso, O. (1999). Development of high-fruit-dietary-fibre muffins. *Europe Food Reserch Technology, 210*, 123-128.

Grillo, O., Rizzo, V., Saccone, R., Fallico, B., Mazzaglia, A., Venora, G. (2014). Use of image analysis to evaluate the shelf life of bakery products. *Food Research International, 62*, 514–522.

Guckian, S., Dwyer, C., & O´Sullivan, M. (2005). Properties of and mechanisms of protein interactions in films formed from different proportions of heated and unheated whey protein solutions. *Food Hydrocolloids, 223*, 91-93.

Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective films. En M. M, *Food packaging and preservation: theory and practice* (págs. 371-394). London: Elsevier Applied Science Publishing .

Guilbert, S., Gontard, N., & Gorris, L. G. (1996). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films an coatings. *LTW- Food Science and Technology, 29*, 10-17.

Gujral, H. S., Haros, M., & Rosell, C. M. (2003). Starch hydrolyzing enzymes for retarding the staling of rice bread. *Cereal Chemistry, 80*, 750-754.

Gularte, M., de la Hera, E., Gómez, M., & Rosell, C. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Science and Technology, 48*, 209-214.

Guo, X., Lu, Y., Cui, H., Jia, X., Bai, H., & Ma, Y. (2012). Factors affecting the physical properties of edible composite film prepared from zein and wheat gluten. *Molecules, 17*, 3794-3804.

Guy, R. C. (1983). Factors affecting the staling of madeira slab cake. *Journal of Science of Food and Agriculture, 34*, 477-491.

Guy, R. C., & Sahi, S. S. (2006). Application of lipase in cake manufacture. *Journal of Science of Food and Agriculture, 86*, 1679-1687.

Han, J. H., & Gennadios, A. (2005). Edible films and coatings: a review. En J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (pág. 242). London, UK: Elsevier Ltd.

Han, J. H., & Krochta, J. M. (2007). Physical properties of whey protein coating solution and films containing antioxidants. *Journal of Food Science, 72*, 308-315.

Hernandez-Muñoz, P., Kanavouras, A., Lagaron , J. M., & Gavara, R. (2003). Development and characterization of biodegradable films made from wheat gluten protein fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemestry, 51*, 7647-7654.

Hui, Y. H. (2006). *Bakery products: science and technology*. (págs. 497-498). USA: Blackwell Publishing.

IRAM (2012). 20008 Análisis Sensorial, Metodología: Ensayo triangular. *Norma IRAM 20008*.

Jensen , P. N., & Risbo , J. (2007). Oxidative stability of snack and cereal products in relation to moisture sorption. *Food Chemistry, 103*, 717-724.

Joshi, R., & Brimelow, C. (2002). Colour measurement of food by colour reflectance. En D. B. MacDougall (Ed.), *Colour in food: improving quality* (págs. 82-114). Boca Ratón, USA: CRC Press.

J´ozefiak, D., Rutkowski , A., Jensen, B. B., & Engberg, R. M. (2007). Effects of dietary inclusion of triticale, rye and wheat and xylanase supplementation on growth performance of broiler chickens and fermentation in the gastroinstestinal tract. *Animal Feed Science Technology, 132*, 79-93.

Karaoglu, M. M., Kotancilar, H. G., & Celik, I. (2001). Effects of utilization of modified starches on the cake quality. *Starch Starke, 53*, 162-169.

Karbowiak, T., Debeaufort, F., & Voilley, A. (2007). Influence of thermal process on structure and functional propierties of emulsion-based edible films. *Food Hydrocollids, 21*, 879-888.

Khan, M. K., Schutyser, M., Schroën, K., & Boom, R. (2014). Barrier properties and storage stability of edible coatings prepared with electrospraying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies, 23,* 182–187.

Kilcast, D., & Subramaniam, P. (Edits.). (2000). *The stability and shelf-life of food.* Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC.

Kim, S. K., & D'Appolonia, B. L. (1997). Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. *Cereal Chemistry, 54,* 207-215.

Kirchhoff, E., & Schieberle, P. (2001). Determination of key aroma compounds in the crumb of a three-stage sourdough rye bread by stable isotope dilution assays and sensory studies. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 49,* 4304-4311.

Kloster, A. M., Bainotti, C., Cazorla, C., Amigone, M. A., Donaire, G., & Baigorria, T. (2013). Triticale. Un cultivo invernal plástico y multifuncional. *Planteos Ganaderos,* 50-56.

Krochta, J. M., Baldwin, E. A., & Nisperos-Carriedo, M. (1994). *Edible coating and films to improve food quality.* Florida, United States of America: CRC Press.

Lacroix, M., & Le Tien, C. (2005). Edible films and coatings from nonstarch polisaccarides. En J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (págs. 338-361). London, UK: Elservier Ltd.

Lezcano, E. P. (2011). *Alimentos Argentinos*: www.alimentosargentinos.gob.ar

Lin, D., & Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally procedded fruit and vegetable. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 6,* 60-75.

López-García, F., Andreau-García, G., Blasco, J., Aleixos, N., & Valiente, J. M. (2010). Automatic detection of skin defects in citrus fruits using a multivariate image analysis approach. *Computers and Electronics in Agriculture, 71,* 189-197.

Luna-Fernández, M., & Bárcenas-Pozos, M. E. (2011). Envejecimiento del pan: causas y soluciones. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, 5,* 40-53.

Luyts, A., Wilderjans, E., Van Haesendonck, I., Brijs, K., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2013). Relative importance of moisture migration and amylopectin retrogradation for pound cake crumb firming. *Food Chemestry, 141*, 3960-3966.

Magaña-Alemán, F. (2007). Diseño de un material de empaque biodegradable a base de aislado de proteína de suero adicionado con agentes microbianos naturales. *Tesis de Maestría*. México: Universidad Autónoma de Querétaro.

Mangavel, C., Barbot, J., Guéguen, J., & Popineau, Y. (2003). Molecular determinants of the influence of hydrophilic plasticizers on the mechanical properties of cast wheat gluten films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*, 1447-1452.

Marcet, I., Paredes, B., & Díaz, M. (2014). Egg yolk granules as low-cholesterol replacer of whole egg yolk in the preparation of gluten-free muffins. *LWT- Food Science and Technology*, 1-7.

Martin, M. L., Zelznak, K. J., & Hoseney, R. C. (1991). A mechanism of bread firming. I Role of starch swelling. *Cereal Chemistry, 68*, 498-503.

Martínez-Camacho, Cortez-Rocha, M. O., Ezquerra-Braver, J. M., Graciano-Verdugo, A. Z., Rodriguez-Félix, F., Castillo-Verdugo, M. M. (2010). Chitosan composite films: thermal, structural, mechanical and antifungal propierties. *Carbohydrate Polymers, 82*, 305-315.

Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT- Food Science and Technology, 44*, 729-736.

Martínez-Cervera, S., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. M. (2012). Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose. *LWT- Food Science and Technology, 45*, 213-220.

Martínez-Cervera, S., Salvador, A., & Sanz, T. (2013). Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocolloids, 35*, 1-7.

Marzo, I., Mendoza, M., & Maté, J. I. (2012). Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína. *IV Congreso Internacinal de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Maté, J. I., & Krochta, J. M. (1996). Whey protein coating effect on the oxygen uptake of dry roasted peanuts. *Journal of Food Science, 61*, 1202-1207.

Matos, M. E., & Rosell, C. M. (2012). Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads. *European Food Research and Technology, 235*, 107-117.

McIver, R. G., Axford , D. W., Colwell, K. H., & Elton, G. A. (1968). Kinetic study of the retrogradation of gelatinised starch. *Journal Science Food Agriculture, 19*, 560-563.

Mendoza, M., & Maté, J. I. (2012). Efecto de la mezcla de plastificantes sobre la caracterización de propiedades tecnológicas de películas comestibles basadas en zeína de maíz. *IV Congreso Internacional Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Córdoba, Argentina

Mgangira, M. B., Anochie-Boateng, J. K., & Komba, J. (2013). Quantification of aggregate grain shape characteristics using 3-D laser scanning techonology. *32nd South African Transport Conference* (págs. 138-148). Pretoria: Document Transformation Technologies cc.

Mohseni, S., Ghavidel, R. A., & Asl, A. F. (2014). Shelf life extension of fresh-cut apples using whey protein concentrate, soy protein isolate, carrageenan and alginate films. *International Journal of Biosciences, 5*, 60-67.

Montalvo, C., López-Malo, A., & Palou, E. (2012). Películas comestibles de proteínas: características, propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 6*, 32-46.

Oh, J. H., Wang, B., Field, P. D., & Aglan, H. A. (2004). Characteristics of edible films made from dairy proteins and zein hydrolysate cross-linked with transglutaminase. *International Journal of Food Science and Technology, 39*, 287-294.

Osborne, T. (1907). *Proteins of the wheat kernel.* Carnegie Inst. Wash. Public.

Ouattara, B., Sinard, R. E., Piette , G., Begin, A., & Holley, R. A. (2000). Diffusion of acetic and propionic acids from chitosan-based antimicrobial packaging films. *Journal of Food Science, 65*, 768-773.

Paeschke, T. (1997). Shelf life extension of reduced-fat baked goods using fruit powders. *Cereal Food World 42*, 391-395.

Pagella, C., Spigno, G., & De Faveri, D. M. (2002). Characterization of starch based edible coatings. *Food and Bioproducts Processing, 80*, 193-198.

Park, S. K., Hettiarachchy, N. S., Ju, Y. Z., & Gennadios, A. (2002). Formation and properties of soy protein films and coatings. En *Protein based films and coatings* (págs. 123-137). Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC.

Parzanese, M. (2011). Películas y recubrimientos comestibles. *Alimentos Argentinos*, 1-11.

Pavlath, A. E., & Orts, W. (2009). Edible films and coatings:why, what, and how. En M. E. Embuscado, & K. C. Huber (Edits.), *Edible films and coatings for food applications* (págs. 1-23). New York, USA: Springer Science and Business Media.

Pei, Y., Yang, J., Liu, P., Xu, M., Zhang, X., & Zhang, L. (2013). Fabrication, properties and bioapplications of cellulose/collagen hydrolysate composite films. *Carbohrydrates Polymers, 92*, 1752-1760.

Pejin, D., Mojovic, L., Grujic, O., Pejin, J., & Rakin, M. (2009). The bioethanol production with the thin stillage recirculation. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 15*, 49-52.

Pérez-Alvarez, J. A., Fernández-Lopez, J., Sayas, M. E., & Rosmini, M. R. (1999). Determinación objetiva del color en los alimentos. *Techno Food, 11*, 18-28.

Pérez-Gago, M. B., & Krochta, J. M. (2005). Emulsion and bi-layer films. En J. Han (Ed.), *Innovatrions in Food Packaging* (págs. 384-402). London: Academic Press.

Ponce, A. G., Roura, S. I., del Valle, C. E., & Moreira, M. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extract: in vivo and in vitro studies. *Postharvest Biology and Technology, 49*, 294-300.

Ponte, J., &. Ovadia, D. (1996). Baked goods freshness. Techology, evaluation and inhibition of staling. En R. E. Hebeda, & H. F. Zobel (Edits.), *Instrumental Method* (págs. 151-170). New York: Marcel Dekker .

Quinn, G., Monahan, F. J., O´Riordan, O., O´Sullivan, M., & Longares, A. (2003). Role of covalent and noncovalent interactions in the formation of films from unheated whey protein solutions following pH adjustment. *Journal of Food Science, 68*, 2284-2288.

Quintero, C. J., Falguera, V., & Muñoz, H. A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga, 5*, 93-118.

Ramos, O. L., Pereira, J. O., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Franco, M. I., Lopes-da-Silva, J. A., y otros. (2012). Evaluation of antimicrobial edible coatings from a whey protein isolate base to improve the shelf life of cheese. *Journal Dairy Science, 11*, 6282-6292.

Rhim, J. W., & Shellhammer, T. H. (2005). Lipid-based edible films and coatings. En J. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (págs. 362-383). London, UK: Academic Press.

Ribotta, P. D., & Tadini, C. C. (Edits.) (2009). Alternativas tecnológicas para la elaboración y conservación de productos panificados. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Rodriguez, D., & Schöbitz, R. (2009). Film antimicrobial based whey protein, lactid acid bacteria incorporated as controller Listeria monocytogenes applied to smoked salmon. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 7*, 49-54.

Roessler, E. B., Pangborn, R. M., Sidel, J. L., & Stone, H. (1978). Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired-difference, duo-trio and triangle test. *Journal of Food Science, 43.*

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

Rubio-Anaya, M., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2012). Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables. *Temas selectos de Ingeniería de los Alimentos, 6*, 173-181.

Sakin-Yilmazer, M., Kemerli, T., Isleroglu, H., Ozdestan, O. G., & Kaymak-Ertekin, F. (2013). Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens. *Journal of Food Engineering, 119*, 483–489.

Sanz, T., Salvador, E. A., Baixauli, E. R., & Fiszman, S. M. (2009). Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II Effects in texture, colour and consumer response. *European Food Research and Technology, 229*, 197-204.

Seyhun, N., Sumnu, G., & Sahin, S. (2005). Effects of different starch types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Food and Bioproducts Processing, 83*, 1-5.

Sharma, G. (2003). *Digital color imaging handbook.* Boca Raton, USA: CRC Press.

Shittu, T., Raji, A. O., & Sanni, L. O. (2007). Bread from composite cassava-wheat flour: I.Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Reserch International, 40*, 280-290.

Silvestre, C., Duraccio, D., & Cimmino, S. (2011). Foof packaging based on polymer nanomaterial. *Progress in Polymer Science, 36*, 1766-1782.

Simmonds, D. (1978). Structure, composition and biochemistry of cereal grains. En Y. Pomeranz (Ed.), *Cereal'78: better nutrition for the world's millions* (págs. 105-137). St Paul, MN: AACC.

Sivarooban, T., Hettiarachchy, N. S., & Johnson, M. G. (2008). Physical and antimicrobial properties of grape seed extract, nisin, and EDTA incorporated soy protein edible films. *Food Reserarch International, 41*, 781-785.

Smith, J. P., Daifas, D. P., El–Khoung , W., Koukoutsis , J., & El-Khoung, A. (2004). Shelf life and safety concerns of bakery products: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44*, 19-55.

Sobral, P. J., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical water vapor barrier, and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids, 15*, 423-432.

Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2008). *Image processing, analysis, and machine vision.* Toronto: Thomson Learning.

Subagio, A., & Morita, N. (2008). Effects of protein isolate from hyacinth beans (Lablab purpureus (L.) Sweet) seed on cake characteristics. *Food Science Technology, 14*, 12-17.

Talja, R. A., Heléna, H., Roos, Y. H., & Jouppila, K. (2007). Effects of various polyols and polyol contenents on physical and mehanical properties of potato starch-based films. *Carbohydates Polymers, 67*, 288-295.

Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology, 14,* 71-78.

Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids, 24*, 755-762.

van Vliet, T., Lakemond, C. M., & Visschers, R. W. (2004). Rheology and structure of milk protein gels. *Current Opinion in Colloid & Interface Science, 9*(5), 298-304.

Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, J., & Gónzales-Martinez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh an minimally processed fruit: critical review. *Food Science and Nutrition, 48*, 496-511.

Varughese, G., Barker, T., & Saari, E. (1987). Triticale, CIMMYT, México, DF 32pp. ISBN 968-6127-13-5.

Willhoft, E. M. (1971). Bread staling II.-Theoretical study. *Journal Science Food Agriculture, 22*, 180-183.

Wooster, T. J., & Augustin, M. A. (2007). Rheologies of whey protein-dextran conjugate films at the air/water interface. *Food Hydrocollids, 21,* 1072-1080.

Yam, K., Takhistov, P., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science, 70*, 1-9.

Yang, L., & Paulson, A. T. (2000). Mechanical and water vapor properties of edible gellan films. *Food Research International, 33*, 563-570.

Ying, J., Kexue , Z., Haifeng , Q., & Huiming , Z. (2006). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Journal Food Chemistry, 104*, 53-58.

Zeng, X., Duan, Y., Zhe, W., Jiang, J., Wang, S., & Wang, M. (2013). Edible coating based on soy protein to improve shelf life and overall quality of minimally processed jujubes. *Journal Food, Agriculture and Environment, 11*, 263-269.

6. ANEXOS

ANEXO I: Test de triángulo para diferencias: número crítico (mínimo) de respuestas correctas

Los valores dentro de la tabla son números mínimos de respuestas correctas
que se necesitan para que existan diferencias significativas según el nivel de significancia (alfa) elegido.
Se rechaza la hipótesis "No hay diferencias" si el número de respuestas correctas es mayor o igual al de la tabla.
n: número de respuestas totales obtenidas

	nivel de significancia (%)			
n	**10**	**5**	**1**	**0,1**
3	3	3		
4	4	4		
5	4	4	5	
6	5	5	6	
7	5	5	6	7
8	5	6	7	8
9	6	6	7	8
10	6	7	8	9
11	7	7	8	10
12	7	8	9	10
13	8	8	9	11
14	8	9	10	11
15	8	9	10	12
16	9	9	11	12
17	9	10	11	13
18	10	10	12	13
19	10	11	12	14
20	10	11	13	14
21	11	12	13	15
22	11	12	14	15
23	12	12	14	16
24	12	13	15	16
25	12	13	15	17

	nivel de significancia (%)			
n	**10**	**5**	**1**	**0,1**
26	13	14	15	17
27	13	14	16	18
28	14	15	16	18
29	14	15	17	19
30	14	15	17	19
31	15	16	18	20
32	15	16	18	20
33	15	17	18	21
34	16	17	19	21
35	16	17	19	22
36	17	18	20	22
42	19	20	22	25
48	21	22	25	27
54	23	25	27	30
60	26	27	30	33
66	28	29	32	35
72	30	32	34	38
78	32	34	37	40
84	35	36	39	43
90	37	38	42	45
96	39	41	44	48

Nota: Para valores de n superiores se calcula: $z = (k - (1/3)n / \sqrt{(2/9)n}$
donde k es el número de respuestas correctas.
Comparar el valor de z con el valor crítico de una variable con distribución estándar Normal.
Ej: en la Tabla 4, la última fila corresponde a z(α) = t(α,∞)

ANEXO II: Resumen del trabajo presentado en el "XIV Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de los Alimentos" en día 23, 24 y 25 de Octubre de 2013 en Rosario, Argentina.

EFECTO DEL RECUBRIMIENTO CON PELÍCULAS DE HARINA DE TRITICALE SOBRE EL ENVEJECIMIENTO DE MUFFINS

BARTOLOZZO, Julieta; BORNEO, Rafael y AGUIRRE, Alicia
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales -UNC).

En los últimos años las tendencias globales de mejoramiento de calidad y seguridad alimentaria han orientado nuevas líneas de investigación en el campo de los materiales de recubrimiento. El uso de polímeros biodegradables y renovables para la preparación de películas ha tenido gran crecimiento y, si bien se han hecho estudios de aplicación de películas biodegradables en carnes, frutas, vegetales o pescado, hay poca bibliografía sobre coberturas comestibles en productos de panificación. Los muffins son productos de panadería horneados en moldes pequeños muy apetecidos por ser dulces, esponjosos y suaves al paladar. Durante su almacenamiento se produce un fenómeno denominado envejecimiento, el cual se manifiesta por un deterioro de calidad y disminución de vida útil y de anaquel. Este proceso complejo incluye cambios que afectan las características del producto y disminuye la aceptabilidad del consumidor. Los objetivos del presente trabajo fueron desarrollar películas de cobertura a partir de harina de triticale, aptas para el recubrimiento de productos de panificación tipo muffins, y analizar su efecto durante el almacenado en comparación con muffins que no fueron recubiertos. Para que ningún efecto sea atribuible a la fórmula de los muffins, éstos se prepararon con la misma formulación, sin conservantes. La solución formadora de film se elaboró con suspensiones de harina de triticale-agua y con glicerol como plastificante. La aplicación del recubrimiento se realizó por la técnica de "spraying". Los muffins se almacenaron sin/con cobertura de recubrimiento (SC) de film de harina de triticale (CC), durante un período de 7 días en condiciones ambientales de humedad y temperatura controladas. Se efectuaron las siguientes determinaciones: peso, volumen, densidad, color (con espectrofotómetro de reflectancia Minolta 508d), textura (con texturómetro TA.XT2i-Stable Micro System) y análisis sensorial con una prueba discriminativa triangular. En muffins SC las características de peso y volumen tuvieron una mayor disminución que en aquellos CC. La cobertura mantuvo la densidad de los muffins, y en aquellos SC la densidad aumentó significativamente con el tiempo. Ambos tipos de muffins se pusieron más amarillos y luminosos con el tiempo de almacenaje (menor a* y mayores b* y L*), aunque solamente en aquellos CC la saturación de color (C*) aumentó. El incremento en la dureza de los muffins con el tiempo de almacenamiento fue mayor para aquellos que no estaban recubiertos, indicando mayor envejecimiento. Con un nivel de significancia del 5% no se observaron diferencias significativas en el análisis sensorial entre ambas muestras (SC y CC) en el aspecto visual, pero si en el sabor. Estos resultados indicarían que el recubrimiento con películas en base a harina de triticale es una opción válida para aumentar la estabilidad de los muffins durante su vida en anaquel.