



Universitat de Lleida

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

Departament de Tecnologia d'Aliments

**Recubrimientos comestibles y sustancias de origen
natural en manzana fresca cortada: Una nueva
estrategia de conservación**

María Alejandra Rojas Graü

Tesis Doctoral

Diciembre, 2006



Universitat de Lleida

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

Departament de Tecnologia d'Aliments

**Recubrimientos comestibles y sustancias de origen
natural en manzana fresca cortada: Una nueva
estrategia de conservación**

Memoria presentada por

María Alejandra Rojas Graü

para optar al grado de Doctora

Dirigida por:

Dra. Olga Martín Belloso

Lleida, diciembre de 2006

*Ponerse en movimiento es importante,
pero lo más importante es mantener el entusiasmo inicial,
persistir y no rendirse a pesar de las dificultades.
Porque vamos a tener tropiezos. La clave no está en no caerse
sino en saber levantarse y continuar.*

Paulo Coelho

Este trabajo ha sido realizado en el laboratorio de Nuevas Tecnologías de Procesado de Alimentos del Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Lleida. Algunas experiencias de los capítulos VI y VII fueron realizadas en el Western Regional Research Center, United States Department of Agricultura (USDA), California, USA. Para su realización se contó con el apoyo del Fondo Social Europeo y del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya.

Agradecimientos

Fueron muchos los momentos claros y oscuros a lo largo de este camino, pero afortunadamente me puedo sentar a escribir la parte más emotiva y personal de este trabajo: los agradecimientos a todos aquellos quienes de una manera u otra me ayudaron a alcanzar esta meta.

En primer lugar, gracias Olga por haberme dado la oportunidad de trabajar dentro de este grupo de investigación, gracias por tu ayuda a lo largo de estos años y sobre todo, muchísimas gracias por haberme acogido cuando recién llegué a esta ciudad. Gracias también a Ana y a Juan por todos los momentos divertidos que compartimos y por haberme adoptado como una más de la familia.

Este pequeño trozo de gratitud va dirigido a una persona muy especial, quien me ha guiado y acompañado en todo momento, quien ha robado muchísimas sonrisas de mis labios en momentos difíciles, quien ha estado siempre muy pendiente mí (y no solo profesionalmente) y a quien le estaré eternamente agradecida.... Marisol, gracias por ser mi guía, mi amiga y esencialmente por confiar en mí.

Gracias a todos mis compañeros de laboratorio, Ángel, Robert S., Robert M., Gemma, Isabel, Rosita, Jonathan, Ingrid y muy especialmente a Pedro, a quien agradezco por su amistad y apoyo incondicional, gracias Peter.

A mis "compis" de Tecal, con quien compartí tantas comidas, salidas, cafés y risas. Gracias a los que ya se han ido: María Elena, Jose, Ester, Neus, y a los que aún están: Arancha, Luz, Héctor, Ana y Dolores. A mis otros compis de zulo "los vegetales", gracias por la compañía de estos últimos meses, especialmente a Virginita, gracias por los lindos momentos que compartimos, a todos GRACIAS....

A mi buena amiga, Miren. Gracias por estar allí cuando te necesité, gracias por escucharme, ayudarme y apoyarme cuando creía que el mundo se venía abajo. Gracias por todos los momentos, viajes, paseos y emociones que hemos compartido. Y finalmente gracias por hacer que estos últimos meses de tesis fueran más divertidos... menos mal las palomitas siempre vuelan al palomar....

Gracias a todos los técnicos de laboratorio quienes me ayudaron y socorrieron en momentos de angustia. Gracias Gemma, Magda, Nuria, Montse, Robert G., Andrés, Jordi y especialmente a ti Manel, gracias por no aburrirme con tantos kilos de manzanas, por estar siempre allí en los momentos más cruciales de los experimentos y gracias por esas ideas maravillosas... definitivamente, ¡eres el genio de la planta piloto!

Un merecido agradecimiento a todos los estudiantes que aportaron un granito de arena a este trabajo, especialmente a Nuria, Rosa y Laura, por las interminables horas de trabajo que compartimos.

Un muy merecido agradecimiento a mi “peluchehermanito” Francisco, gracias por compartir conmigo tus conocimientos, por todos los momentos que me hiciste reír, por los inolvidables días que compartimos junto a nuestra mamápelucha, por seguir siendo mi amigo a pesar de la distancia, gracias.

Un agradecimiento muy especial a todos mis compañeros de la Universidad Politécnica de Valencia, porque aunque mi paso por allí fue realmente corto, con ustedes viví muy buenos momentos, especialmente al Dr. Juan Serra, por su amistad y por haberme introducido en el mundo de la investigación.

My deepest appreciation to Tara and Roberto for their hospitality and for all the support and the confidence they deposited on me, opening the doors of their laboratories. Their professional guidance and generosity sharing with me their experience and knowledge is just a small sample of how wonderful human beings they are. I am so grateful for considering them now my friends! All my gratitude also to Wally, Mendel, Phillip, Zhongli, Matthew, Carl and Don, who helped me so much during my stay in USA. Thank you.

Gracias a Thatiana, Catherin y Meyerlin, mis tres inseparables amigas de la carrera. Gracias por apoyarme cuando decidí continuar mis estudios lejos de casa, gracias por recibirme año tras año con tanto cariño y gracias por seguir estando allí. A ti Thati, gracias por tu nobleza y sobre todo por ser más que mi amiga, mi hermana.

Papá, muchísimas gracias por haber confiado en mí. Gracias por apoyarme desde el primer momento que decidí cruzar el atlántico, gracias por tus palabras de aliento, consejos y recomendaciones a lo largo de todos estos años, y especialmente por todo tu cariño.

Mamá, gracias también a ti por apoyarme en todo. Por estar siempre allí pendiente de mí, por tus constantes llamadas, por preocuparte e interesarte por mis “bichitos”, por tu cariño y comprensión. Gracias por estar aquí al final del camino.

También gracias al resto de mi familia: a mis hermanos Mary, Nano, Andréa y Jesús, a mis adorados y entrañables sobrinos, a mis queridos abuelos, a mis primos, a mis tíos, y especialmente a dos personas importantes en mi vida: mi madrina “María” y mi tía “Canuta”, gracias por todo el amor que me han brindado siempre.

Definitivamente hay personas que llegan a nuestras vidas, nos dejan una huella y se marchan, pero hay otras que se quedan con nosotros eternamente... Armando, por no interponerte nunca a mis deseos de marcharme a estudiar a otro país, por apoyarme siempre y animarme en los momentos de flaqueza, por ser incondicional, por soportarme y por quererme como el primer día, un millón de Gracias.

Y aunque de último pero no menos importante, gracias a Dios por estar siempre a mi lado.

Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación

RESUMEN

El estilo de vida de los consumidores modernos unido al deseo de adquirir productos naturales y beneficiosos para la salud ha hecho que la producción y consumo de frutas con proceso mínimo, como es el caso de las frutas cortadas, se haya visto incrementado en los últimos años. Sin embargo, la obtención de estos productos lleva consigo una serie de operaciones que pueden desencadenar cambios en la calidad del producto final. Encontrar métodos que ayuden a frenar este deterioro constituye uno de los principales objetivos de los sectores involucrados en la producción y conservación de frutas cortadas. En este sentido, los recubrimientos comestibles constituyen una estrategia potencial para reducir los efectos perjudiciales que inflige el procesado mínimo en los tejidos vegetales de frutas frescas cortadas, constituyendo un campo innovador en el área de la conservación de alimentos frescos.

Determinar las condiciones óptimas para el procesado de manzana fresca cortada, así como métodos que resulten eficientes en la conservación y extensión de su vida útil, constituyeron el objetivo principal de esta investigación. En primer lugar, se establecieron las características óptimas para el procesado de manzana Fuji, evaluando el efecto de distintos tratamientos antioxidantes en la conservación del color, así como el estado óptimo de madurez para su procesamiento. En segundo lugar, se evaluó el empleo de recubrimientos comestibles de base polisacárida como método alternativo de conservación, caracterizando sus propiedades de barrera a los gases y al vapor de agua, y su habilidad para servir como transporte de agentes antioxidantes y antimicrobianos. El estudio concluyó con una valoración del período de vida útil de los trozos de manzana recubiertos, basado en los cambios fisiológicos, físico-químicos, sensoriales y microbiológicos experimentados por la fruta.

El empleo de antioxidantes de origen natural, especialmente el uso de N-acetilcisteína en concentraciones superiores a 0,75% p/v, mostró tener una notable eficacia en la conservación del color de manzanas troceadas. Por su parte, el procesamiento de las manzanas en un estado de madurez intermedio, con una firmeza de aprox. 67 N, produjo los menores cambios degradativos en la fruta. De la misma forma, el uso de una atmósfera modificada con concentraciones reducidas de O₂ conllevó una notable mejoría en la conservación de la calidad general de los trozos de fruta.

De igual forma, los recubrimientos comestibles elaborados a partir de alginato y gelano incorporando aceite de girasol, mejoraron la permeabilidad al vapor de agua en los trozos de fruta de 15,70 y 14,60 s cm⁻¹ a valores de 19,2 y 27,6 s cm⁻¹ respectivamente, además de servir como soporte de antioxidantes. Dichos recubrimientos permitieron ralentizar los procesos respiratorios (concentraciones de etileno por debajo de 50 µl l⁻¹), mantener la textura alrededor de 10 N por la presencia de iones de calcio y el color por el uso de N-acetilcisteína, así como una disminución del crecimiento microbiano, alargando la vida útil de los trozos de manzana hasta dos semanas, período a partir del cual se detectó la presencia de acetaldehído y etanol.

Por otro lado, la incorporación de aceites esenciales como agentes antimicrobianos causó un efecto significativo en las características de películas elaboradas a partir de puré de manzana y de una mezcla de alginato-puré de manzana. En ambas películas, el aceite de orégano demostró ser el antimicrobiano más efectivo en el control de *E. coli* O157:H7, seguido del aceite de hierba de limón y de canela. El mismo orden de efectividad fue observado cuando se emplearon sus correspondientes compuestos activos (carvacrol, citral y cinamaldehído). La permeabilidad al vapor de agua de las películas de puré de manzana ($7,04 \pm 0,63$ g-mm/kPa-h-m²) incluso se vio ligeramente mejorada por la incorporación de los antimicrobianos en la formulación, alcanzando valores de hasta $6,17 \pm 0,56$ g-mm/kPa-h-m² por el uso de 0,1% de aceite de orégano, aunque la incorporación de estos compuestos también causaron un aumento en su permeabilidad al O₂ ($22,64 \pm 1,28$ cm³-μm/m²-d-kPa) observándose valores tan altos como $38,12 \pm 0,80$ cm³-μm/m²-d-kPa, sin que sus propiedades mecánicas se vieran afectadas. La presencia de alginato produjo efectos beneficiosos en la película, evidenciándose una disminución de la permeabilidad al O₂ de casi el 50%. Por otro lado, la incorporación de los antimicrobianos en la formulación de alginato-puré de manzana no causó ningún efecto significativo en las propiedades de barrera de la película, aunque las propiedades mecánicas se vieron ligeramente modificadas.

Finalmente, los agentes antimicrobianos incorporados en recubrimientos comestibles de alginato-puré de manzana inhibieron efectivamente el crecimiento de *L. innocua* inoculada en trozos de manzana, reduciendo en algunos casos el número de colonias hasta por debajo del límite de detección (2,0 log CFU/g), así como también el crecimiento de microorganismos aerobios psicrófilos, mohos y levaduras durante el almacenamiento. Sin embargo, su incorporación dentro de la formulación causó efectos, en algunos casos perjudiciales, sobre la vida útil de los trozos de manzana recubiertos. La incorporación de vainilla, como agente antimicrobiano, causó los menores efectos adversos en la fruta, manteniendo la textura, el color, y la calidad sensorial durante el almacenamiento, aunque su efecto como barrera a la difusión de los gases fue menor. Por el contrario, el aceite de hierba de limón, aunque funcionó como barrera a los gases, causó un efecto perjudicial en el color y la textura de los trozos de manzana repercutiendo directamente en la calidad sensorial de los trozos de fruta. Por su parte, la incorporación de aceite de orégano en la formulación tuvo consecuencias negativas desde el punto de vista sensorial, aunque su efecto en el resto las propiedades fue bueno.

A partir de toda la información obtenida en este estudio se puede concluir que las manzanas Fuji frescas cortadas pueden conservarse de forma adecuada mediante el uso combinado de sustancias de origen natural y recubrimientos comestibles de base polisacárida, los cuales permiten retrasar de manera efectiva los procesos de pérdida de calidad inducidos por las operaciones de procesado.

Recobriments comestibles i substàncies d'origen natural en poma fresca tallada: Una nova estratègia de conservació

RESUM

L'estil de vida dels consumidors moderns, conjuntament amb el desig d'adquirir productes naturals i beneficiosos per la salut, ha fet que la producció i consum de fruites mitjançant processat mínim, com és el cas de les fruites tallades, s'hagi vist incrementat en els darrers anys. No obstant, l'obtenció d'aquests productes comporta una sèrie d'operacions que poden desencadenar canvis en la qualitat del producte final. Trobar mètodes que ajudin a reduir aquest deteriorament és un dels principals objectius dels sectors involucrats en la producció i conservació de fruites tallades. En aquest sentit, els recobriments comestibles constitueixen una estratègia potencial per tal de reduir els efectes perjudicials que infligeix el processat mínim en els teixits vegetals de fruites fresques tallades, constituint un camp innovador en l'àrea de la conservació d'aliments frescos.

Determinar les condicions òptimes per al processat de poma fresca tallada, així com els mètodes que resultin eficients en la conservació i extensió de la seva vida útil, fou el principal objectiu d'aquesta recerca. En primer lloc, s'establiren les característiques òptimes per al processat de poma Fuji, avaluant l'efecte de diferents tractaments antioxidants en la conservació del color, així com l'estat òptim de maduresa per al seu processat. En segon lloc, s'avaluà la utilització de recobriments comestibles de base polisacàrida com a mètode alternatiu de conservació, caracteritzant les seves propietats de barrera als gasos i al vapor d'aigua, i la seva habilitat per acomplir la funció de transport d'agents antioxidants i antimicrobians. L'estudi concloué amb una valoració del període de vida útil dels trossos de poma recoberts, basat en canvis fisiològics, físico-químics, sensorials i microbiològics experimentats per la fruita.

L'emprament d'antioxidants d'origen natural, especialment l'ús de N-acetilcisteïna en concentracions superiors a 0,75% p/v, mostrà una notable eficàcia en la conservació del color de pomes trossegades. Per la seva banda, el processat de les pomes en un estat de maduresa intermedi, amb una fermesa d'aproximadament 67 N, produí els menors canvis degradatius en la fruita. De la mateixa forma, l'ús d'una atmosfera modificada amb concentracions reduïdes d'O₂ comportà una notable milloria en la conservació de la qualitat general del trossos de fruita.

D'igual forma, els recobriments comestibles elaborats a partir d'alginat i gelà, incorporant oli de girasol, milloraren la permeabilitat al vapor d'aigua en els trossos de fruita de 15,70 i 14,60 s cm⁻¹ a valors de 19,2 i 27,6 s cm⁻¹ respectivament, a més de servir com a suport d'antioxidants. Aquests recobriments van ralentir els processos respiratoris (concentracions d'etilè per sota de 50 µl l⁻¹), mantingueren la textura al voltant de 10 N degut a la presència d'ions de calci i el color per l'ús de N-acetilcisteïna, i disminuïren el creixement microbià, allargant la vida útil dels trossos de poma fins a dues setmanes, període a partir del qual es feu patent la presència d'acetaldèhid i etanol.

D'altra banda, la incorporació d'olis essencials amb finalitat antimicrobiana afectà significativament a les característiques dels recobriments elaborats a partir de puré de poma i d'una mescla d'alginat i puré de poma. En ambdues pel·lícules, l'oli d'orenga demostrà ser l'antimicrobià més efectiu en el control de *E. coli* O157:H7, seguit per l'oli de lemongrass i de canyella. El mateix ordre d'efectivitat fou observat quan s'empraren els seus corresponents compostos actius (carvacrol, citral i cinamaldèhid). La permeabilitat al vapor d'aigua de les pel·lícules de puré de poma ($7,04 \pm 0,63$ g-mm/kPa-h-m²) fins i tot es veié lleugerament millorada per la incorporació dels antimicrobians a la formulació, assolint valors de fins a $6,17 \pm 0,56$ g-mm/kPa-h-m² per l'ús de 0,1% d'oli d'orenga, encara que la incorporació d'aquests compostos també produí un augment en la seva permeabilitat a l'O₂ ($22,64 \pm 1,28$ cm³-µm/m²-d-kPa) observant-se valors tan alts com $38,12 \pm 0,80$ cm³-µm/m²-d-kPa, sense que les seves propietats mecàniques es veiessin afectades. La presència d'alginat tingué efectes beneficiosos en el recobriment, evidenciant-se una disminució de la permeabilitat a l'O₂ de gairebé el 50%. D'altra banda, la incorporació dels antimicrobians en la formulació no causà cap efecte significatiu en les propietats de barrera del recobriment, encara que les propietats mecàniques es veiessen lleugerament modificades.

Finalment, els agents antimicrobians incorporats en recobriments comestibles d'alginat-puré de poma, inhibiren de forma efectiva el creixement de *L. innocua* inoculada en trossos de poma, reduint en alguns casos el nombre de colònies fins per sota del límit de detecció (2,0 log CFU/g), així com també el creixement de microorganismes aerobis psicròfils, llevats i floridures durant l'emmagatzematge. Nogensmenys, la seva incorporació en la formulació tingué efectes, en alguns casos perjudicials, sobre la vida útil dels trossos de poma recoberts. La incorporació de vainilla, com a agent antimicrobià, causà els menors efectes adversos en la fruita, mantenint la textura, el color i la qualitat sensorial durant l'emmagatzematge, tot i que el seu efecte com a barrera a la difusió dels gasos fou menor. Contràriament, l'oli de lemongrass, tot i funcionar com a barrera als gasos, tingué un efecte perjudicial en el color i textura dels trossos de poma, amb una repercussió directa sobre la seva qualitat sensorial. Per la seva banda, la incorporació d'oli d'orenga en la formulació tingué conseqüències negatives des del punt de vista sensorial, tot i que el seu efecte en la resta de propietats fou positiu.

A partir de tota la informació obtinguda en aquest estudi es pot concloure que les pomes Fuji fresques tallades poden conservar-se de forma adequada mitjançant l'ús combinat de substàncies d'origen natural i recobriments comestibles de base polisacàrida, els quals permeten retardar de forma efectiva els processos de pèrdua de qualitat induïts per les operacions de processat.

Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación

RESUMEN

El estilo de vida de los consumidores modernos unido al deseo de adquirir productos naturales y beneficiosos para la salud ha hecho que la producción y consumo de frutas con proceso mínimo, como es el caso de las frutas cortadas, se haya visto incrementado en los últimos años. Sin embargo, la obtención de estos productos lleva consigo una serie de operaciones que pueden desencadenar cambios en la calidad del producto final. Encontrar métodos que ayuden a frenar este deterioro constituye uno de los principales objetivos de los sectores involucrados en la producción y conservación de frutas cortadas. En este sentido, los recubrimientos comestibles constituyen una estrategia potencial para reducir los efectos perjudiciales que inflige el procesado mínimo en los tejidos vegetales de frutas frescas cortadas, constituyendo un campo innovador en el área de la conservación de alimentos frescos.

Determinar las condiciones óptimas para el procesado de manzana fresca cortada, así como métodos que resulten eficientes en la conservación y extensión de su vida útil, constituyeron el objetivo principal de esta investigación. En primer lugar, se establecieron las características óptimas para el procesado de manzana Fuji, evaluando el efecto de distintos tratamientos antioxidantes en la conservación del color, así como el estado óptimo de madurez para su procesamiento. En segundo lugar, se evaluó el empleo de recubrimientos comestibles de base polisacárida como método alternativo de conservación, caracterizando sus propiedades de barrera a los gases y al vapor de agua, y su habilidad para servir como transporte de agentes antioxidantes y antimicrobianos. El estudio concluyó con una valoración del período de vida útil de los trozos de manzana recubiertos, basado en los cambios fisiológicos, físico-químicos, sensoriales y microbiológicos experimentados por la fruta.

El empleo de antioxidantes de origen natural, especialmente el uso de N-acetilcisteína en concentraciones superiores a 0,75% p/v, mostró tener una notable eficacia en la conservación del color de manzanas troceadas. Por su parte, el procesamiento de las manzanas en un estado de madurez intermedio, con una firmeza de aprox. 67 N, produjo los menores cambios degradativos en la fruta. De la misma forma, el uso de una atmósfera modificada con concentraciones reducidas de O₂ conllevó una notable mejoría en la conservación de la calidad general de los trozos de fruta.

De igual forma, los recubrimientos comestibles elaborados a partir de alginato y gelano incorporando aceite de girasol, mejoraron la permeabilidad al vapor de agua en los trozos de fruta de 15,70 y 14,60 s cm⁻¹ a valores de 19,2 y 27,6 s cm⁻¹ respectivamente, además de servir como soporte de antioxidantes. Dichos recubrimientos permitieron ralentizar los procesos respiratorios (concentraciones de etileno por debajo de 50 µl l⁻¹), mantener la textura alrededor de 10 N por la presencia de iones de calcio y el color por el uso de N-acetilcisteína, así como una disminución del crecimiento microbiano, alargando la vida útil de los trozos de manzana hasta dos semanas, período a partir del cual se detectó la presencia de acetaldehído y etanol.

Por otro lado, la incorporación de aceites esenciales como agentes antimicrobianos causó un efecto significativo en las características de películas elaboradas a partir de puré de manzana y de una mezcla de alginato-puré de manzana. En ambas películas, el aceite de orégano demostró ser el antimicrobiano más efectivo en el control de *E. coli* O157:H7, seguido del aceite de hierba de limón y de canela. El mismo orden de efectividad fue observado cuando se emplearon sus correspondientes compuestos activos (carvacrol, citral y cinamaldehído). La permeabilidad al vapor de agua de las películas de puré de manzana ($7,04 \pm 0,63$ g-mm/kPa-h-m²) incluso se vio ligeramente mejorada por la incorporación de los antimicrobianos en la formulación, alcanzando valores de hasta $6,17 \pm 0,56$ g-mm/kPa-h-m² por el uso de 0,1% de aceite de orégano, aunque la incorporación de estos compuestos también causaron un aumento en su permeabilidad al O₂ ($22,64 \pm 1,28$ cm³-μm/m²-d-kPa) observándose valores tan altos como $38,12 \pm 0,80$ cm³-μm/m²-d-kPa, sin que sus propiedades mecánicas se vieran afectadas. La presencia de alginato produjo efectos beneficiosos en la película, evidenciándose una disminución de la permeabilidad al O₂ de casi el 50%. Por otro lado, la incorporación de los antimicrobianos en la formulación de alginato-puré de manzana no causó ningún efecto significativo en las propiedades de barrera de la película, aunque las propiedades mecánicas se vieron ligeramente modificadas.

Finalmente, los agentes antimicrobianos incorporados en recubrimientos comestibles de alginato-puré de manzana inhibieron efectivamente el crecimiento de *L. innocua* inoculada en trozos de manzana, reduciendo en algunos casos el número de colonias hasta por debajo del límite de detección (2,0 log CFU/g), así como también el crecimiento de microorganismos aerobios psicrófilos, mohos y levaduras durante el almacenamiento. Sin embargo, su incorporación dentro de la formulación causó efectos, en algunos casos perjudiciales, sobre la vida útil de los trozos de manzana recubiertos. La incorporación de vainilla, como agente antimicrobiano, causó los menores efectos adversos en la fruta, manteniendo la textura, el color, y la calidad sensorial durante el almacenamiento, aunque su efecto como barrera a la difusión de los gases fue menor. Por el contrario, el aceite de hierba de limón, aunque funcionó como barrera a los gases, causó un efecto perjudicial en el color y la textura de los trozos de manzana repercutiendo directamente en la calidad sensorial de los trozos de fruta. Por su parte, la incorporación de aceite de orégano en la formulación tuvo consecuencias negativas desde el punto de vista sensorial, aunque su efecto en el resto de las propiedades fue bueno.

A partir de toda la información obtenida en este estudio se puede concluir que las manzanas Fuji frescas cortadas pueden conservarse de forma adecuada mediante el uso combinado de sustancias de origen natural y recubrimientos comestibles de base polisacárida, los cuales permiten retrasar de manera efectiva los procesos de pérdida de calidad inducidos por las operaciones de procesado.

ÍNDICE

Introducción

Parte I	23
Factores que afectan la calidad de productos vegetales cortados. <i>En: Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados. CIAD, Hermosillo, México (2005).</i>	
Parte II	49
Empleo de recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas: un nuevo enfoque de conservación. <i>Alimentaria (Enviado)</i>	
Objetivos	83
Capítulo I -	89
Browning inhibition in fresh-cut ‘Fuji’ apple slices by natural antibrowning agents. <i>Journal of Food Science (2006); 71(1):S59-S65</i>	
Capítulo II -	111
Effect of natural antibrowning agents on color related enzymes in fresh-cut Fuji apple slices. <i>Food Control (Enviado)</i>	
Capítulo III -	127
Quality changes in fresh-cut Fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents and storage atmosphere. <i>Journal of Food Science (Aceptado).</i>	
Capítulo IV -	147
Alginate and gellan based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. <i>Food Hydrocolloids (2007); 21:118-127</i>	
Capítulo V -	173
Effect of polysaccharide-based edible coatings on shelf-life of fresh- cut Fuji apples. <i>LWT- Food Science and Technology (Aceptado)</i>	

Capítulo VI.-	193
<p>Mechanical, barrier and antibacterial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i> (2006); 54(24): 9262-9267</p>	
Capítulo VII.-	212
<p>Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible film. <i>Journal of Food Engineering</i> (Aceptado)</p>	
Capítulo VIII.-	232
<p>Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf life of fresh-cut apple. <i>Postharvest Biology and Technology</i> (Enviado)</p>	
Discusión General	262
Conclusiones	302
Consideraciones futuras	306
Anexo	310
<p>Alginate and gellan based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. <i>Journal of Food Science</i> (Enviado)</p>	

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE PRODUCTOS VEGETALES CORTADOS

Olga Martín Belloso y M^a Alejandra Rojas Graii

Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados
(CIAD)- Hermosillo, México (2005)
ISBN: 968-58-6206-0

INTRODUCCIÓN

Características de Calidad de Productos Vegetales Frescos Cortados

El consumo de frutas y hortalizas en la dieta diaria tiene un efecto benéfico para la salud, ya que son una excelente fuente de vitaminas, minerales y fibra, además de poseer bajo contenido calórico. Sin embargo, este consumo es todavía muy bajo con respecto a las recomendaciones hechas por profesionales de la salud. La introducción en los mercados de los productos frescos cortados es una forma de incrementar el consumo de frutas y hortalizas dentro de la población, debido a su atractiva presentación, apariencia y sabor.

Para poder asegurar la estabilidad, calidad nutricional y organoléptica de este tipo de productos debe conocerse la fisiología del fruto, tanto entero como cortado, además de todos aquellos componentes propios del producto original que puedan verse afectados por la manipulación y el almacenamiento. Controlar todos los factores que pueden influir directa o indirectamente sobre la calidad de productos vegetales frescos cortados es de suma importancia para la aceptación y el éxito final de estos productos, también denominados productos de la IV Gama. Salunkhe y Desai (1991) definieron a los alimentos de IV Gama como: “aquellas frutas y hortalizas procesadas para aumentar su funcionalidad

sin cambiar de forma apreciable sus propiedades originales”. Más comúnmente se definen como hortalizas y frutas frescas limpias, troceadas y envasadas, que mantienen sus propiedades naturales y que están listas para ser consumidas. Este tipo de productos se envasa generalmente en atmósferas modificadas y requieren ser conservado a bajas temperaturas (2 y 4°C), mostrando una vida útil entre 7 y 10 días (Gorris y Peppelenbos, 1999).

La producción y venta de los alimentos denominados “de conveniencia” se encuentra en constante crecimiento, atrayendo el interés de diversas ramas del sector alimentario, incluyendo industria, distribución y restauración; de allí que las actuales investigaciones persigan conseguir un producto fresco muy similar al original, pero que a su vez sea microbiológicamente seguro y de buena calidad, tanto sensorial como nutricionalmente. Obtener un producto con estas características que exige el consumidor es todo un reto para el mundo científico e industrial, por lo que todos los esfuerzos actuales están dirigidos a controlar aquellos precursores que de una u otra manera puedan desencadenar características que vayan en detrimento de la calidad del producto final.

Condicionantes de la Calidad de Productos Vegetales Cortados

Son varias las características que definen a un producto fresco cortado de buena calidad. Apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y vida útil suficientemente larga que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución, son algunos de los requisitos para que un producto sea considerado de calidad. Si alguno de estos requisitos no se cumple o se encuentra por debajo de los valores mínimos aceptables para cada parámetro, el producto pierde automáticamente su valor comercial. Factores como el cultivar, el estado de madurez al momento de la recolección, la manipulación post-cosecha, el acondicionamiento de la materia prima, así como las condiciones de almacenamiento del producto terminado, son algunos de los que intervienen directamente en la calidad final de los productos frescos cortados.

Cultivar y Prácticas Pre-recolección

Un cultivar o variedad se distingue por una característica significativa de tipo morfológico, fisiológico, citológico, químico u otro, a efectos de la horticultura, además de retener sus caracteres distintivos cuando se reproduce (Wiley, 1997). Cada cultivar confiere distintos atributos de calidad al alimento, tales como color, sabor, olor, textura y valor nutritivo. De allí que resulte especialmente importante una adecuada selección del cultivar que se va a procesar con el fin de obtener productos aceptables por los consumidores. Gorny y col. (2000), observaron que la vida útil de peras variedad Barlett fue más larga que otras variedades como Bosc, Anjou y Red Anjou, desde el punto de vista del pardeamiento superficial y cambios en la textura. En otro trabajo se demostró que la selección del cultivar y la madurez de recolección a una temperatura de almacenamiento de 0°C y una humedad relativa de 90 – 95%, fueron los factores más importantes que determinaron el tiempo de vida útil de rodajas de melocotón y nectarinas mínimamente procesadas (Gorny y col., 1999).

Por su parte, Yano y Saijo (1987) examinaron 25 cultivares de repollo troceados, y encontraron que 8 cultivares exhibieron un intenso color marrón y únicamente 2 cultivares mostraron un mínimo grado de pardeamiento, después de 24 horas de almacenamiento a 20°C.

Además del cultivar, hay que tener en cuenta una serie de factores involucrados en el momento de la recolección. Los productos vegetales deben recolectarse sanos para evitar los daños mecánicos durante la manipulación y el procesado, además limitar el posterior crecimiento microbiano. Allende y col. (2003), señalaron que los productos vegetales enteros deben llegar a las fábricas con la carga microbiológica mínima, ya que ésta determina la contaminación final en el producto procesado, por lo que debe prestarse especial atención a los aspectos de contaminación microbiana durante el cultivo, recolección y transporte a la industria.

La estación del año en la que se recolectan los productos vegetales también juega un rol importante, ya que la modificación de las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, etc.) afecta directamente a los frutos. López y col. (1998), encontraron que la

proporción de compuestos volátiles dominantes en manzanas varía según la estación. En otro estudio realizado en piña se demostró que la cantidad de aceites volátiles presentes en esta fruta aumenta durante la estación de verano (Haagen-Smit y col., 1945).

Estado de Madurez y Fisiológico del Vegetal

La maduración se considera como un complejo fenómeno de diferenciación bioquímica controlado esencialmente por cuatro mecanismos reguladores: a) un aumento de la síntesis de enzimas y ácidos nucleicos; b) la regulación de sistemas enzimáticos; c) cambios de permeabilidad en membranas y en la ultra estructura celular, y d) una modificación de los mecanismos hormonales (Romojaro y col., 1996). Durante la maduración se produce una mayor producción de etileno y la tasa de respiración aumenta. El etileno parece ser responsable de la síntesis de enzimas involucradas en cambios físicos, químicos y metabólicos en los tejidos vegetales que tienen una importante influencia en las características sensoriales relacionadas con el sabor y la firmeza del fruto. Según Soliva-Fortuny y col. (2002b, 2004a), en rodajas de manzana y pera fresca cortada, la producción de etileno fue dos veces superior en la fruta procesada en un estado de madurez intermedio en comparación con la más madura (Figura 1).

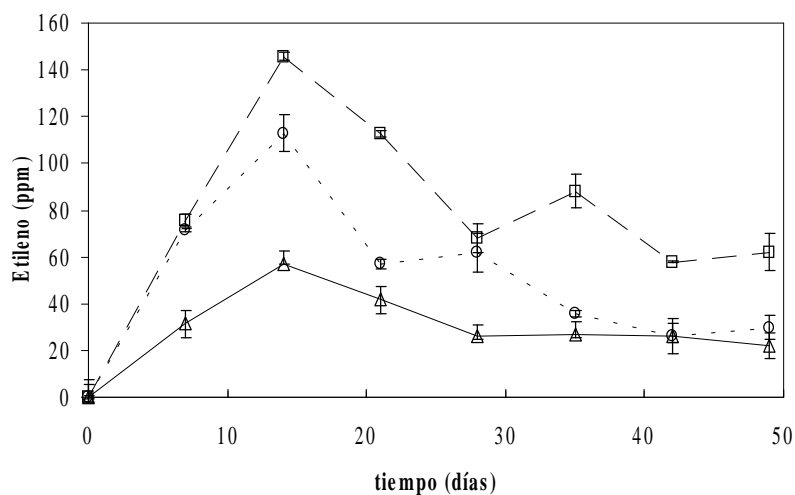


Figura 1. Concentraciones de etileno en el interior de los envases de pera fresca cortada procesada en diferentes estados de madurez: círculos, pera verde; cuadrados, pera parcialmente madura; triángulos, pera madura (Soliva-Fortuny y col., 2004a)

La obtención de productos vegetales mínimamente procesados comienza por una buena selección de la materia prima. La misma debe recolectarse cuidadosamente, en óptimas condiciones higiénicas y con el adecuado grado de madurez. Este último es uno de los factores más importantes a tener en cuenta tanto en el momento de la recolección como del procesado, ya que tiene una gran influencia sobre la calidad del producto final. Es aconsejable realizar la recolección antes de que se alcance la plena madurez organoléptica, ya que así la textura es más firme y se minimizan los daños mecánicos durante la manipulación. No debe olvidarse que una recolección demasiado anticipada al punto óptimo de cosecha, pone en juego características tan importantes en estos productos como sabor, olor y color. Según Beaulieu y col. (2004), los atributos sensoriales detectados en melón fresco cortado procesado en un estado de madurez precoz eran menos intensos que en melón de madurez más avanzada. Por el contrario, un retraso en la recolección implica una mayor actividad fisiológica, mayor sensibilidad a los daños mecánicos y a determinadas alteraciones fisiológicas, así como crecimiento fúngico (Alique y Alzamora, 2000).

Soliva-Fortuny y col. (2002b), estudiaron el efecto de diferentes estados de madurez sobre la firmeza de manzana (Golden Delicious) mínimamente procesada, observando que los frutos con una firmeza inicial entre 65.7 N y 70.3 N (parcialmente maduras), presentaron una aptitud óptima para esta forma de procesado. Además, estudiaron el efecto del estado de madurez en el color y la respiración de las manzanas cortadas, constatando que en las muestras parcialmente maduras se desarrollaron características sensoriales propias de la fruta fresca con una madurez adecuada para su consumo, además de minimizar y retardar el desarrollo de procesos fermentativos que limitan su vida útil.

Manipulación y Condiciones de Almacenamiento Post-cosecha

La determinación del momento óptimo de madurez, así como el mantenimiento de sus propiedades sensoriales durante las diferentes etapas de la post-recolección, es imprescindible para satisfacer las necesidades del consumidor.

El término post-recolección puede definirse como el período que incluye todas las fases de comercialización de los productos hortofrutícolas, desde la recolección, pasando por la manipulación, conservación y distribución, hasta el consumo (Romojaro y col., 1996). Independientemente del tipo de materia prima que se quiera transformar, ésta debe ser manipulada con especial cuidado con el propósito de causar el menor daño posible a los tejidos, evitando desórdenes fisiológicos del vegetal, así como la proliferación microbiana que repercuten directamente en la pérdida de calidad del producto.

Los productos a procesar suelen ser recibidos en la industria directamente del campo, donde se ha efectuado una selección previa, en camiones sin ningún tipo de refrigeración cuando la distancia es corta, o en camiones frigoríficos cuando existe una distancia mayor hasta llegar al lugar de recepción-almacenamiento.

Una vez que los productos hortofrutícolas han llegado a los centros de acopio de materia prima, se prerrefrigeran hasta 1-2°C (por aire, agua, hielo o vacío, según proceda) y se introducen en una cámara frigorífica, según las exigencias de temperatura (generalmente entre 0 y 5°C), humedad relativa y sensibilidad al etileno (Artés y Artés, 2003). En el caso de frutas almacenadas en atmósfera controlada, se alarga el período de almacenamiento y consecuentemente, se consigue un abastecimiento de las líneas de procesado durante un período más largo.

Acondicionamiento del Producto

Las distintas operaciones llevadas a cabo en el procesado condicionan de forma significativa la calidad de los vegetales frescos cortados (Huxsoll y Bolin, 1989). Cada etapa del proceso de elaboración juega un papel significativo en los mecanismos de alteración del producto. Inicialmente hay que tener en cuenta que existe una evidente

diferencia entre un producto vegetal entero y uno cortado, principalmente en términos fisiológicos y de requerimientos en el momento de su manipulación.

Los vegetales frescos cortados se deterioran mucho más rápidamente que los productos intactos como resultado directo de las heridas asociadas al procesamiento, el cual conduce a un número de cambios físicos y fisiológicos que afectan la calidad del alimento (Saltveit, 1997). Los síntomas de deterioro de productos frescos cortados incluyen cambios en la textura (flácido debido a pérdida de agua en los tejidos); en el color, especialmente atribuido a pardeamiento oxidativo en las superficies cortadas (Brecht, 1995; Varoquaux y col., 1994) y riesgos de contaminaciones microbiológicas. Todos estos cambios van en detrimento de la vida útil de estos productos.

Entre las operaciones unitarias, el pelado y troceado constituyen etapas críticas que tienen una influencia determinante en la calidad del producto final y que por lo tanto deben llevarse a cabo produciendo el mínimo daño posible al tejido, ya que la rotura de éste por el corte supone un incremento de la respiración y transpiración que conducen a un rápido deterioro del producto, con la consecuente pérdida de sus características sensoriales y nutricionales originales. Bolin y col. (1977), señalaron que, en lechugas, es más perjudicial para la vida útil de ésta el picado que el simple cortado y que las cuchillas para el troceado deberían estar lo más afiladas posibles. Además, el contenido de ácido ascórbico (AA) en lechuga troceada fresca cortada dependió del método de cortado utilizado en el procesamiento mínimo (Barry-Ryany y O'Beirne, 1999). Así, la retención de este compuesto fue mayor mediante cortado manual que automático. También el corte aumenta la superficie de tejido susceptible de alteraciones microbianas. En productos como la lechuga fresca cortada con un pH de 5.8-6, la alta humedad y la gran cantidad de superficies cortadas proporcionan las condiciones ideales para el crecimiento de microorganismos (Ahvenainen, 1996; Beshrsing y col., 2000).

Una de las principales reacciones bioquímicas que ocurren es la alteración del color debido al pardeamiento enzimático, en el que los compuestos fenólicos son oxidados hasta quinonas mediante reacciones catalizadas por enzimas denominadas genéricamente polifenoloxidasas (PPO). La rotura del tejido que ocurre como consecuencia del procesamiento

hace que las enzimas y sus sustratos, presentes ambos en el fruto, entren en contacto y reaccionen formando compuestos activos. Éstos a su vez experimentan procesos de polimerización que dan lugar a compuestos coloreados denominados melaninas, produciendo el pardeamiento superficial del producto y disminuyendo así su calidad visual. El grado de pardeamiento que sufren las frutas y vegetales frescos cortados puede depender de la concentración y tipo de compuestos fenólicos presentes en los frutos, actividad de la PPO, estado de madurez, presencia de oxígeno (O_2) y compartimentación de las enzimas y sustratos (Nicoli y col., 1994; Rocha, 1998). Por otra parte, en productos hortofrutícolas como la lechuga y las espinacas frescas cortadas, puede producirse una pérdida de su coloración verde característica debida a la pérdida de los pigmentos clorofílicos durante la senescencia de los tejidos vegetales verdes. Estos cambios pueden ser debidos a enzimas tales como las clorofilasas (Schoch y Ihl, 1998; Jacob-Wilk y col., 1999), y al bajo pH, dependiendo del tejido (Heaton y Marangoni, 1996).

El pardeamiento superficial es un problema observado en diferentes productos vegetales tales como repollo (Yano y Saijo, 1987), lechuga (Bolin y Huxsoll, 1991), patatas (Sapers y col., 1990), peras, manzanas y melocotón (Sapers y Simmons, 1998; Gorny, 1997). Como fue descrito por Artes y col. (1998), el etileno producido después de cortarse la lechuga conlleva un incremento del pardeamiento enzimático, que se atribuye a una elevada actividad de la PPO y de la actividad fenilalanina amonio liasa.

Son muchas las investigaciones hechas hasta el momento con el objetivo de inhibir las reacciones de pardeamiento en productos frescos cortados (Son y col., 2001; Agar y col., 1998; Abbott y Buta, 2002). El empleo de sustancias que retarden o inhiban la acción enzimática, así como el uso de envasado en atmósfera modificada, son los tratamientos aplicados con mayor frecuencia. Soliva-Fortuny y col. (2001), estudiaron el efecto de la aplicación de un tratamiento protector (10g/l de ácido ascórbico y 5 g/l de cloruro cálcico) en el color (luminosidad), de trozos de manzanas mínimamente procesadas envasadas en aire (21% O_2) o en una atmósfera libre de oxígeno (0% O_2) y almacenadas a 4°C. En lechuga fresca cortada, una solución de 2 g/l de ácido cítrico + 1g/l cloruro de calcio + 250 g/l de extracto de ajo mantuvo coloraciones verdes más intensas, después de 6 días de almacenamiento, respecto al tratamiento control (figura 2). Además, este estudio muestra

una actividad de la PPO y clorofilasa significativamente inferior en la lechuga que recibió el tratamiento protector (Ihl y col., 2003). Del mismo modo, tratamientos químicos que incluían los ácidos eritóbico y cítrico retrasaron el pardeamiento en patatas (Russett Burbank) aunque estos efectos dependieron de la temperatura de refrigeración (Cacace y col., 2002).

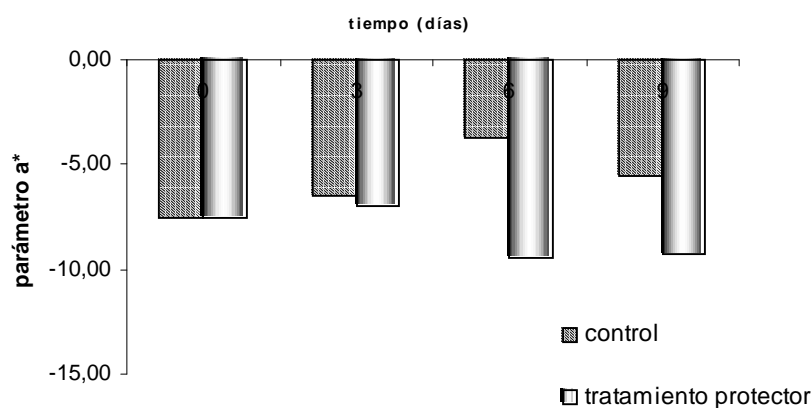


Figura 2.- Efecto de un tratamiento protector (2 g/l de ácido cítrico + 1g/l cloruro de calcio + 250 g/l de extracto de ajo) en los valores del parámetro a^* de lechuga fresca cortada (Ihl y col., 2003).

De igual forma, Gorny y col. (2002), estudiaron el efecto de conservantes químicos y de una atmósfera modificada en los cambios de calidad de pera “Bartlett” mínimamente procesada, observaron que ninguna de las condiciones de envasado probadas por sí solas (bajas o altas concentraciones de O_2 o elevadas de CO_2), fueron efectivas para prevenir el pardeamiento de las frutas. No obstante, la inmersión de las piezas de frutas en soluciones de ácido ascórbico (2%), lactato de calcio (1%) y cisteína (0.5%) a pH 7, extendieron la vida útil de las peras, previniendo el pardeamiento y manteniendo la firmeza de las mismas (figura 3). Además, las muestras fueron sometidas a la degustación por parte de un panel de consumidores, los cuales no pudieron distinguir entre las muestras tratadas y los controles.

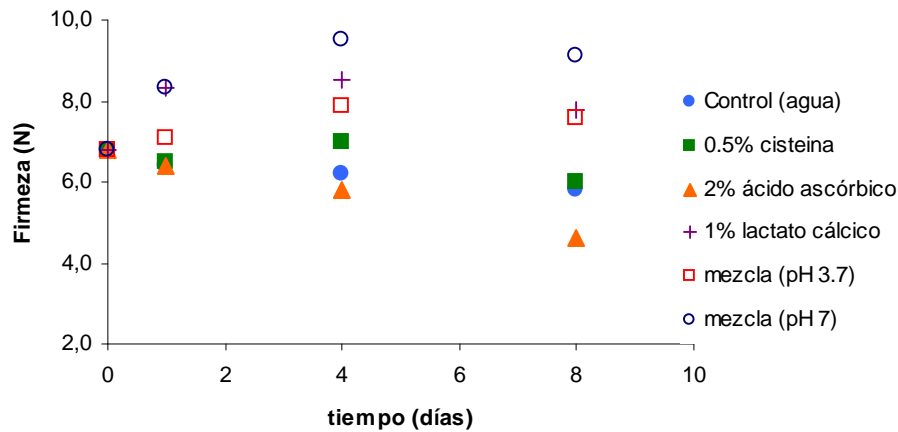


Figura 3.- Efecto de la aplicación de tratamientos protectores en la evolución de la firmeza (N) en rodajas de pera Barlett fresca cortada durante el período de conservación a 0° C. Las rodajas fueron tratadas durante 5 min a 20°C (Gorny y col., 2002).

La pérdida de firmeza, debida principalmente a la acción de enzimas proteolíticas y pectolíticas sobre los componentes de la pared celular, es otro cambio muy evidente del deterioro de la calidad. Las células dañadas por el corte liberan estas enzimas que se difunden hacia el interior de los tejidos. Para evitar este ablandamiento, se aplican tratamientos estabilizantes compuestos principalmente por sales de calcio como el cloruro de calcio (CaCl_2). Éste está extensamente probado en frutas mínimamente procesada, en concentraciones que oscilan entre 0.1% y 1% (Saper y Miller, 1998; Betts y col., 2001; Soliva-Fortuny, 2003). La aplicación de cloruro de calcio al 0.5% como tratamiento estabilizante de la textura y de ácido ascórbico al 1%, mostraron un notable efecto en la conservación de manzanas troceadas, incrementándose dicho efecto con una atmósfera libre de oxígeno (Figura 3) (Soliva-Fortuny y col., 2001). Del mismo modo, se ha comprobado la efectividad de la aplicación de CaCl_2 al 2.5% para preservar la textura de melón fresco cortado (Luna-Guzmán y col., 1999). No obstante, el uso de cloruro cálcico a concentraciones superiores al 0.5% se ha relacionado con la aparición de malos olores en rodajas de melón (Luna-Guzmán y Barret, 2000).

Condiciones Higiénicas durante el Procesado

Para poder mantener condiciones higiénicas adecuadas durante el procesamiento debe partirse de una materia prima con las mejores características sanitarias. El lavado y desinfección de los frutos enteros antes del procesado es imprescindible para la separación de restos provenientes del entorno de cultivo (hojas, tierra, suciedad, etc.), la eliminación de plagas o restos de pesticidas, o cualquier otro material extraño, incluyendo microorganismos propios del ambiente, disminuyendo así la carga microbiana inicial de muchos productos. Dicho proceso de higienización se lleva a cabo normalmente por inmersión del producto vegetal entero en soluciones acuosas cloradas. Diferentes autores han señalado que una concentración de 200 ppm de cloro, o inferior, es un tratamiento eficiente de limpieza y desinfección de frutas enteras (Dong y col., 2000; Gorny y col., 2000). Se ha visto que el cloro reduce el recuento de microorganismos aerobios en algunas verduras de hoja como las lechugas, pero no necesariamente en otros vegetales parecidos como el repollo (Garg y col., 1990).

Actualmente se estudia el efecto de otros agentes químicos en la desinfección de frutas y hortalizas enteras, tales como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Este compuesto es un agente oxidativo fuerte y poderoso en la esterilización de superficies. Se ha demostrado experimentalmente que reduce la población microbiana en la superficie de productos como el melón fresco cortado (Sapers y Simmons, 1998). Además, otros métodos alternativos como la aplicación de luz ultravioleta o la utilización de ozono, han tenido un fuerte auge debido a su capacidad para la destrucción de microorganismo y la seguridad de no dejar residuos en el producto. No obstante, desde un punto de vista microbiológico, el lavado de la zanahoria entera usando ozono no es un tratamiento tan efectivo como la utilización de agua clorada (Klaiber y col., 2004).

Por tanto, se podría mejorar la efectividad del tratamiento con niveles reducidos de cloro en combinación con ozono, como se ha demostrado en lechuga fresca (García y col., 2003). Yaun y col. (2004), estudiaron el efecto de la aplicación de luz ultravioleta a una longitud de onda de 253.7 nm, aplicada a manzanas previamente inoculadas con *E. coli* 0157:H7, obtuvieron 3.3 reducciones logarítmicas a 24 mW/cm². Por otro lado, en zanahoria troceada el recuento microbiológico después de 2 días de la aplicación de cloro y una dosis de irradiación a 0.5 kGy, fue significativamente inferior al detectado en las muestras control

(Hagenmaier y Baker, 1998). Williams y col. (1995) reportaron una reducción de 3 unidades logarítmicas en zanahorias lavadas con agua ozonizada. Kim y col. (1999) utilizaron agua ozonizada en el lavado de lechugas troceadas y obtuvieron una reducción de hasta 2 log UFC/g en recuento en placas.

Aunque las condiciones higiénicas de la materia prima original tienen un impacto importante en la calidad final del producto, también hay que tener en cuenta el grado de limpieza de las instalaciones de procesado, así como la temperatura a la cual se está trabajando. Durante las operaciones de transformación de los productos vegetales se liberan hacia el exterior sustancias ricas en nutrientes, propiciando condiciones idóneas para el crecimiento microbiano; por lo que la maquinaria empleada para el pelado y troceado del producto debe ser de acero inoxidable y dotada de un sistema que permita la limpieza en profundidad de aquellas zonas donde el acceso sea difícil, ya que la dificultad de acceso permite la acumulación de restos del alimento procesado.

Es necesaria una buena limpieza, lavado y desinfección de todas aquellas secciones que forman parte de las líneas de producción, maquinarias e instalaciones, así como del propio local de fabricación, debe asegurarse el mantenimiento a diario de estas condiciones higiénicas. Además, todas estas instalaciones de procesado deben estar dentro de un espacio físico aislado, estéril y con condiciones ambientales controladas, con temperaturas muy bajas dentro del recinto, como máximo 10°C (Artés y Artés, 2003).

Al personal que trabaja en esta área se le debe exigir el cumplimiento de normas estrictas de higiene, tales como el uso de una vestimenta de trabajo perfectamente limpia (gorros, guantes, tapa boca, batas de trabajo, etc.), no ingerir ningún tipo de alimentos en esa área, así como el acceso restringido exclusivamente al personal que allí trabaje. En este sentido, la aplicación y cumplimiento de buenas prácticas de procesado se hacen indispensables en la obtención de un producto de calidad (Wiley, 1997).

Tipo y Condiciones de Envasado

La principal manifestación fisiológica que experimentan las frutas y hortalizas debido a las lesiones tisulares y celulares producidas durante su procesado es un incremento en la

velocidad respiratoria. Este incremento en el metabolismo se traduce en un rápido consumo de oxígeno en el envase y en una acelerada producción de etileno; ésta es estimulada por el estrés al que se someten los tejidos vegetales, siendo su velocidad de producción proporcional al área superficial dañada y a la intensidad de ese estrés (Watada y col., 1996).

En la mayoría de los casos, el uso de plásticos de permeabilidad selectiva y el envasado en atmósfera modificada amplía significativamente la vida útil de los productos frescos cortados, disminuyendo, entre otras cosas, la actividad respiratoria y la biosíntesis y acción del etileno (Gorny, 1997). En este sentido, Soliva-Fortuny y col. (2003), estudiaron el efecto de distintas concentraciones de gases y el uso de diferentes plásticos en la respiración de los tejidos de manzanas mínimamente procesadas, observaron que la menor producción de etileno correspondió a una atmósfera 0 kPa O₂ y envasada con un plástico de permeabilidad media al oxígeno (30 cm³ O₂/m² · bar · día). En el Cuadro 1 se muestra la evolución del pardeamiento en melones frescos cortados almacenados a 3°C bajo atmósfera modificada.

Así, observamos que el envasado en un material de alta permeabilidad propicia valores significativamente mayores de luminosidad (L*), en relación al envasado en materiales menos permeables durante todo el período de almacenamiento y respecto al control a partir del día sexto y noveno día de conservación (Arruda y col., 2004). Por su parte, Lopez-Galvez y col. (1996), encontraron que una atmósfera de 3% de O₂ + 10% CO₂ tuvo un efecto beneficioso en la conservación de lechuga iceberg, pero no tanto en lechuga romana.

Cuadro 1.- Evolución de la luminosidad de melones frescos cortados almacenados a 3°C bajo EAM. PA: permeabilidad alta al oxígeno (1961 cm³/ m² · día⁻¹), PM: permeabilidad media al oxígeno (1005 cm³/ m² · día⁻¹), PB: permeabilidad baja al oxígeno (9 cm³/ m² · día⁻¹) (adaptado de Arruda y col. 2004).

Materiales de almacenamiento	Tiempo (días)				
	0	3	6	9	12
PB / EAM	64.8 ^a	52.5 ^b	54.0 ^b	56.0 ^b	50.4 ^b

PM / EAM	64.8 ^a	52.7 ^b	55.5 ^b	55.8 ^b	49.0 ^b
PA / EAM	64.8 ^a	61.7 ^a	63.9 ^a	63.5 ^a	61.5 ^a
Control	64.8 ^a	56.0 ^{ab}	56.2 ^b	57.1 ^b	58.5 ^{ab}

Valores en la misma columna con diferente letra son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Aunado a esto, se ha estudiado el uso de atmósfera modificada sobre la actividad enzimática de productos frescos cortados. Ballantyne y col. (1988), observaron que el pardeamiento en trozos de lechuga se hizo evidente durante los primeros 8 días de almacenamiento en aire a 5°C, mientras que el empleo de una atmósfera modificada compuesta por 1% O₂ + 12% CO₂ retardó significativamente el pardeamiento de los trozos de lechuga durante dos semanas.

Soliva-Fortuny y col. (2002a), observaron la evolución de la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO) en peras mínimamente procesadas, almacenadas a 4°C bajo diferentes atmósferas de envasado (0% O₂ y una mezcla de 2.5% O₂ + 7% CO₂) y empleando plásticos con diferentes permeabilidades (permeabilidad media al oxígeno: 30 cm³ O₂/m² · bar · día y baja permeabilidad al oxígeno: 15 cm³ O₂/m² · bar · día), se observó una mayor estabilidad de la actividad enzimática de la PPO en los tejidos de manzanas envasadas bajo concentraciones iniciales de 0% O₂ en envases comerciales de una permeabilidad al oxígeno de 15 cm³ O₂/m² · bar · día (Figura 4).

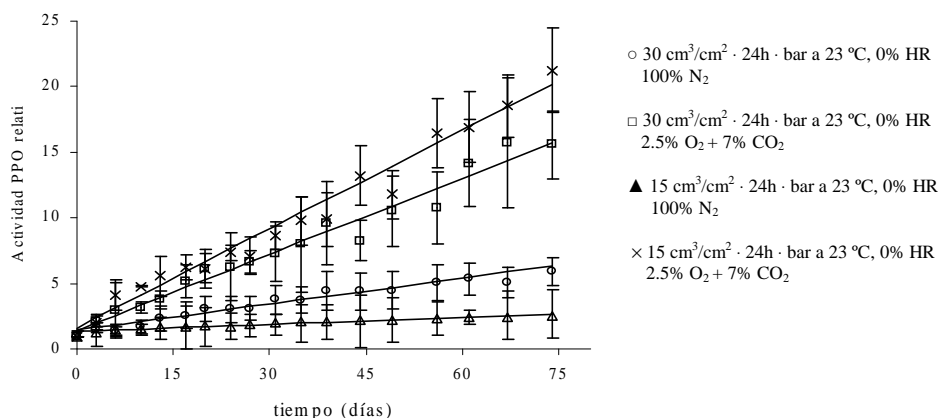


Figura 4.- Evolución de la actividad PPO en peras Conference frescas cortadas durante el período de conservación a 4°C (Soliva-Fortuny y col., 2002a).

Las propuestas más innovadoras para el envasado en atmósfera modificada van dirigidas al empleo de concentraciones altas de oxígeno (CAO), las cuales han demostrado tener un efecto beneficioso en la inhibición del pardeamiento enzimático y en el control de microorganismos aerobios y anaerobios en frutas y hortalizas frescas cortadas (Day, 2000). El grado de pardeamiento durante el almacenamiento de manzanas a 1°C durante 2 semanas se vio ralentizado mediante la conservación de éstas bajo una atmósfera con concentración alta de oxígeno (100 kPa) durante 12 días, antes de ser procesadas mínimamente (Lu y Toivonen, 2000).

Jacxsens y col. (2001) demostraron que mediante el empleo de concentraciones de oxígeno superiores al 70% puede controlarse el crecimiento microbiano en endibias, champiñones y apios mínimamente procesados (Cuadro 2). Prieto y col. (2000), estudiaron el efecto del uso de CAO en la conservación de una mezcla de hortalizas para ensaladas, encontraron que las concentraciones superiores al 90%, aunado al empleo de un film de alta barrera, mejoró la calidad organoléptica y microbiológica de dicho producto.

Cuadro 2.- Crecimiento de levaduras (log₁₀ ufc /g ± desviación estándar) en apio rallado, rodajas de champiñón y endibias, envasado en concentraciones altas y bajas de O₂ y almacenado a 4°C (Jacxsens y col., 2001).

Tiempo (días)	Apio rallado		Rodajas de champiñón		Endibias	
	> 70% O ₂	3% O ₂ + 5% CO ₂	> 70% O ₂	3% O ₂ + 5% CO ₂	> 70% O ₂	3% O ₂ + 5% CO ₂
0	2.44 ± 0.42	2.44 ± 0.42	5.65 ± 0.06	5.65 ± 0.06	3.21 ± 0.19	3.21 ± 0.19
3	3.39 ± 0.40	5.56 ± 0.16	5.25 ± 0.10	5.25 ± 0.10	4.33 ± 0.21	4.84 ± 0.19

4	4.72 ± 0.25	5.00 ± 0.06	6.16 ± 0.97	6.16 ± 0.97	4.3 ^a	5.40 ± 0.36
5	4.71 ± 0.47	5.99 ± 0.30	4.37 ± 0.41	4.37 ± 0.41	4.49 ± 0.09	5.90 ± 0.42
6	5.13 ± 0.07	6.52 ± 0.34	4.92 ± 0.32	4.92 ± 0.32	4.85 ± 0	6.28 ^a
7	5.85 ± 0.61	6.82 ± 0.02	5.46 ± 0.02	5.46 ± 0.02	5.47 ± 0.34	6.08 ^a

^a resultado de un solo envase

De igual forma, la firmeza de los productos cortados puede mantenerse mediante el empleo de una atmósfera modificada. Qi y col. (1999), estudiaron el efecto del uso de dos atmósferas de envasado (2% O₂ + 10% CO₂ a 5°C y 4% O₂ + 10% CO₂ a 10°C) en la conservación de la calidad de cubos de melón, observaron que las frutas almacenadas con dichas atmósferas mantuvieron mejor sus características texturales que aquéllas conservadas en aire a 5°C. Un estudio similar realizado en pera Conference y manzanas Golden Delicious mostró que el empleo de atmósferas modificadas con concentraciones reducidas de O₂ y/o elevadas de CO₂ (2.5% O₂ + 7% CO₂), produce una apreciable mejoría en la conservación de la calidad general de las frutas mínimamente procesadas con respecto a las conservadas sin modificación de la atmósfera de envasado (Soliva-Fortuny, 2003).

El efecto del uso de atmósferas modificadas en la textura de productos frescos cortados también puede observarse microestructuralmente. En un estudio realizado por Soliva-Fortuny y col. (2002c), se revisó la textura y microestructura de manzana Golden Delicious mínimamente procesada, almacenada en atmósfera modificada durante 45 días a 4°C. La modificación microestructural más relevante observada se produjo en aquéllas muestras envasadas en una atmósfera compuesta por 2.5% O₂ + 7% CO₂, donde se apreció la formación de exudados en forma de pequeñas gotas sobre la superficie de la pared celular, a diferencia de aquellas muestras envasadas bajo una atmósfera libre de oxígeno (0% O₂), las cuales conservaron mejor la textura con menor formación de exudados y mayor integridad de las paredes celulares (figura 5).

Por otro lado, la modificación de la composición atmosférica puede reducir el crecimiento de algunos grupos microbianos, especialmente de los microorganismos aerobios, pero puede favorecer el desarrollo de bacterias ácido-lácticas, que en ausencia de microflora competitiva puedan dar lugar a olores y sabores desagradables. La pérdida de firmeza y la aparición de un sabor desagradable en zanahorias ralladas se ha relacionado con elevados

recuentos de bacterias lácticas y levaduras; y producción de etanol y ácidos acético y láctico (Andersson, 1984). En cambio, en productos como las endibias troceadas se han aislado cepas pectinolíticas que muestran una alta capacidad de alteración de los productos. No obstante, la alteración de las endibias troceadas, tanto por las bacterias pectinolíticas como las ácido lácticas, podría evitarse almacenando los productos en una atmósfera modificada que contuviera un 20-30% CO₂ y un 1-3% de O₂ según el estado de maduración y condiciones de cultivo de la endibia (Varoquaux, 1994).

En frutas, Soliva-Fortuny y col. (2004b) observaron que la flora inicial de manzana Golden Delicious mínimamente procesada fue sustituida por poblaciones de bacterias aerobias durante los días posteriores al envasado, logrando inhibir su crecimiento con contenidos bajos de O₂ y niveles altos de CO₂, asegurando de esta manera la estabilidad microbiológica del producto durante al menos 30 días.

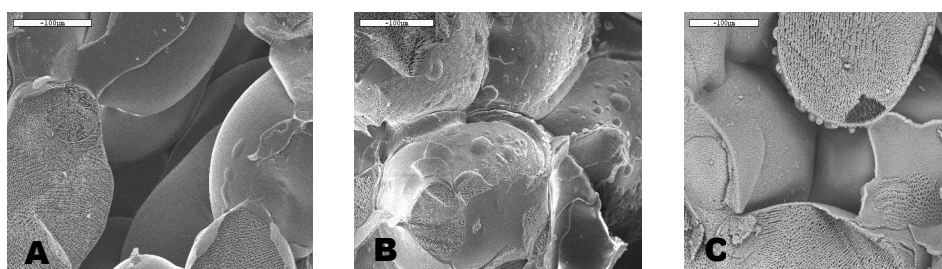


Figura 5.- Micrografías realizadas por Cryo-SEM en manzana cortadas (A) Espacio intercelular en un conjunto de varias células proveniente de manzana fresca (B) Gotas de exudado encontradas en la pared celular de muestras almacenadas bajo una atmósfera de 2.5 kPa O₂ + 7 kPa CO₂ (C) Pequeñas gotas de exudado observadas en las paredes celulares de muestras almacenadas bajo una atmósfera exenta de oxígeno (Soliva-Fortuny y col., 2002c).

Temperatura durante el Proceso de Elaboración y Comercialización

Uno de los factores más importantes a ser controlado durante el proceso de elaboración de los productos frescos cortados es la temperatura. La cadena de frío debe empezar tan pronto como sea posible tras la recolección y mantenerse hasta que el producto sea consumido por el comprador.

La temperatura recomendada para la distribución y comercialización de los productos frescos cortados oscila entre 0 y 1°C, siendo posteriormente almacenados entre 1 y 4°C hasta el momento de ser consumidos, en vitrinas acondicionadas para la venta de productos frescos (IFPA, 1996).

Es importante señalar que un control adecuado de la temperatura resulta indispensable para la optimización del material plástico empleado en el envasado, ya que de ello depende la difusión de los gases a través de las distintas películas plásticas utilizadas. Las temperaturas por encima de las recomendadas causan un aumento de la senescencia del producto envasado, además de producir cambios en la atmósfera inicialmente modificada, trayendo como consecuencia la formación de olores y sabores extraños (Kato-Noguchi y Watada, 1997). Las temperaturas bajas minimizan las diferencias de respiración entre un producto cortado y uno entero, retardando además el crecimiento microbiano (Cantwell y Suslow, 2002).

Aunque está comprobado que el uso de bajas temperaturas es necesario en productos frescos cortados, debe tomarse especial precaución con aquellos vegetales que puedan ser sensibles a los daños por frío. Brecht (2003) señaló que los daños por frío causados en patatas se manifiestan por la aparición de zonas de color pardo-rojizo, la temperatura recomendada para la conservación y comercialización de patatas frescas cortadas es de 0°C (Gorny, 2001). No obstante, se ha observado que el daño por frío presentado en productos frescos cortados como calabacín (Isumi y Watada, 1995) y pepino (Watada y col., 1996), es mucho menor que el deterioro natural que se produce al exponer éstos a temperaturas superiores.

Hay que tener en cuenta que en estos productos no se utilizan formas definitivas de destrucción de microorganismos, como el tratamiento térmico, sino que el control de la microflora se consigue mediante una higiene muy estricta en la manipulación del producto fresco, el almacenamiento bajo una atmósfera modificada y el mantenimiento de bajas temperaturas durante todo el proceso de transformación, venta y distribución del producto terminado (no romper la cadena de frío).

COMENTARIOS FINALES

La clave principal para el éxito de los productos frescos cortados radica en la utilización de materia prima de excelente calidad obtenida mediante el cumplimiento de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura, en el empleo de técnicas de procesamiento que ayuden a conservar el producto lo más similar al original y, sobre todo, en no romper la cadena de frío durante todo el proceso de elaboración, distribución y comercialización del producto. Tener un control exhaustivo en todas las etapas del proceso resulta imprescindible para lograr un gran objetivo final: “Obtener un producto con excelentes características sensoriales, nutricionales y microbiológicas, y con un mayor tiempo de vida útil”. Cumplir este objetivo no es tan sencillo, por lo que resulta vital la implantación de un sistema de trazabilidad que sirva como un instrumento al servicio de la seguridad alimentaria.

Es importante señalar que el esfuerzo que la industria hace para elaborar un producto seguro para el consumo humano, controlando toda la cadena de producción y cuidando que no se rompa la cadena de frío en ningún lugar de su procesamiento y comercialización, se ve sensiblemente reducido si el consumidor final no toma las medidas necesarias para mantener el producto con las mismas características de frescura y seguridad con las que lo compró. En este sentido, se debe concienciar al consumidor de que se trata de un producto perecedero, con características y recomendaciones especiales que deben cumplirse y que, en definitiva, de él depende la seguridad e inocuidad alimentaria en su hogar.

AGRADECIMIENTOS

Este capítulo se encuadra en las actividades del proyecto XI.22 de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). El Ministerio de Ciencia y Tecnología (España) financia la actividad del grupo en este ámbito y el *Departament d' Universitats, Recerca i Societat de la Informació* de la *Generalitat de Catalunya* (España), proporcionó una beca predoctoral a M^a Alejandra Rojas Graü.

BIBLIOGRAFÍA

Abbott J, G Buta. 2002. Effect of antibrowning treatment on color and firmness of fresh-cut pears. *J of Food Quality*. 25: 333-341.

- Ahvenainen R. 1996. New approaches in improving the shelf-life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Scie and Technol.* 7:179-187
- Agar K, M Tanase, K Chachin. 1998. Studies on physiological and chemical changes of fresh-cut bananas. I. Deterioration in fresh-cut green tip bananas. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 67:123-129.
- Allique F, J Alzamora. 2000. Aplicación del frío a los alimentos. Editorial Mundi Prensa: Madrid, España.
- Allende A, F Artés. 2003. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed "Lollo rosso" lettuce. *Food Res Int.* 36:739-746.
- Arruda MC, AP Jacobino. 2004. Conservação de melão rendilhado minimamente processado sob atmosfera modificada activa. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas. 24(1): 53-58
- Artés F, F Artés. 2003. Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos frescos. *In: Productos hortofrutícolas mínimamente procesados.* Lobo G, González M. (Eds). Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, España.
- Ballantyne A, R Stark, L Selman. 1988. Modified atmosphere packaging of shredded lettuce. *Int. J Food Sci. Technol.* 23: 267-274.
- Barry-Ryan C, D O'Beirne. 1999. Ascorbic acid retention in shredded iceberg lettuce as affected by minimal processing. *J. Food. Scie.* 64(3):498-500.
- Beaulieu JC, DA Ingram, JM Lea, KL Bett-Garber. 2004. Effect of harvest maturity on the sensory characteristics of fresh-cut cantaloupe. *J Food Sci.* 69:250-258.
- Behrsing J, S Winkler, P Franz, R Premier. 2000. Efficacy of chlorine for inactivation of *Escherichia coli* on vegetables. *Postharvest Biology and Technol.* 19:187-192
- Bett K, D Ingram, C Grimm, S Lloyd, A Sapienier, J Miller, K Gross, E Baldwin, B Vinyard. 2001. Flavor of fresh-cut gala apples in barrier film packaging affected by storage time. *J. Food Quality.* 24:141-156.
- Bolin HR, Stafford AE, King AD, Huxsoll CC. 1977. Factors affecting storage stability of Shredded lettuce. *Journal of Food Science*, 42 (5): 1319-1321.
- Bolin H, C Huxsoll. 1991. Control of minimally processed carrot (*Daucus carota*) surface discoloration caused by abrasion peeling. *J Food Scie.* 56:416-418.
- Brecht J. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30:18-22.

- Brecht J. 2003. Underground storage organs. *In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Bartz J, J Brecht (Eds.). Editorial: Marcel Dekker Inc.: New York, 625-647.
- Cacace, J.E., Delaquis, P.J., Mazza, G. 2002. Effect of chemical inhibitors and storage temperature on the quality of fresh-cut potatoes. *Journal of Food Quality*, 25 (3):181-195.
- Cantwell M, T Suslow. 2002. Postharvest handling systems: fresh-cut fruits and vegetables. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader, A. (Eds.). University of California, Oakland. p.p 445-463.
- Day B. 2000. Modified atmosphere packaging (MAP) of fresh fruit and vegetables- an overview. *In: 4th International Conference on Postharvest Science*. Jerusalem, Israel.
- Dong X, R Wrolstad, D Sugar. 2000. Extending shelf life of fresh-cut pears. *J of Food Scie.* 65:181-186.
- García A, JR Mount, PM Davidson. 2003. Ozone and chlorine treatment of minimally processed lettuce. *J of Food Scie.* 68(9):2003-2751
- Garg N, JJ Churey, DF Splittstoesser. 1990. Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables. *J. Food Protect.* 53: 701-3
- Gorny J. 1997. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. *In: Proceeding of Fresh-cut Fruits and Vegetables and MAP*. 5:30-66.
- Gorny J, B Hess-Pierce, A Kader. 1999. Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments. *J of Food Scie.* 64:429-432.
- Gorny J, R Cifuentes, B Hess-Pierce, A Kader. 2000. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime. *Int J of Food Sci and Technol.* 65:541-544.
- Gorny J. 2001. A summary of CA and MA recommendations for selected fresh cut fruits and vegetables. *In: Proc 8th Int Controlled Atmosphere Research Conference*. Oosterhaven J, H Peppelenbos. (Eds). The Netherlands.
- Gorny J, B Hess-Pierce, R Cifuentes, A Kader. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharv. Biol. Technol.* 24(3):271-278.

- Gorris L, H Peppelenbos. 1999. Modified-atmosphere packaging of produce. *In: Handbook of Food Preservation*. Rahman, M.S. (Eds.). Editorial Marcel Dekker, Inc: New York-Basel. 437p.
- Haagen-Smit A, J Kirchner, A Prater, C Deasy. 1945. Chemical studies of pineapple (*Ananas sativa* Lindl). I. The volatile flavor and odor constituents of pineapple. *J Amer. Chem. Soc.* 67:1646-1652.
- Hagenmaier RD, RA Baker. 1998. Microbial population of shredded carrot in modified atmosphere packaging as related to irradiation treatment. *J of Food Scie.* 63:162-164
- Heaton JW, AG Marangoni. 1996. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Scie and Technol.* 7:8-15
- Huxsoll C, H Bolin. 1989. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 43(2):124-128.
- IFPA. 1996. Food safety guidelines for the fresh-cut produce industry. 3^a Edn. Alexandria, V.A. international Fresh-Cut Produce Association (IFPA).
- Ihl M, Aravena L, Scheuermann E, Uquiche E, Bifani V. Effect of immersion solutions on shelf-life of minimally processed lettuce. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie- Food Science and Technology*, 36 (6): 591-599 2003.
- Izumi H, A Watada. 1995. Calcium treatments to maintain quality of zucchini squash slices. *J. food Sci.* 60: 789-793.
- Jacob-Wilk D, D Holland, EE Goldschmidt, J Riov, Y Eyal. 1999. Chlorophyll breakdown by chlorophyllase: Isolation and functional expression of the chlase 1 gene from ethylene-treated citrus fruit and its regulation during development. *The Plant J.* 20: 653-661
- Jacxsens L, F Devlieghere, J Debevere. 2000. High oxygen atmosphere packaging of ready-to-eat vegetables: a novel type of modified atmosphere packaging. *In: International Institute of Refrigeration Conference: Improving Postharvest Technologies of Fruits, Vegetables and Ornamentals*. Murcia, España.
- Kato-Noguchi H, A Watada. 1997. Effects of low-oxygen atmosphere on ethanolic fermentation in fresh-cut carrots. *J. Amer. Soc. Hort. Scie.* 122:107-111.
- Kim J, A Yousef, G Chism. 1999. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. *J. Food Safety.* 19: 17-33

- Klaiber RG, S Baur, L Magel, WP Hammes, R Carle. 2004. Quality of shredded, packaged carrots as affected by different washing treatments. *J Food Sci.* 69(4):161-166
- López M, M Lavilla, M Riba, M Vendrell. 1998. Comparison of volatile compounds in two seasons in apples: Golden Delicious and Granny Smith. *J Food Qual.* 21:155-166.
- Lopez-Galvez G, M Saltveit, M Cantwell. 1996. The visual quality of minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on romaine and iceberg types. *Postharvest Biol. Technol.* 8: 179-190.
- Lu C, PMAToivonen. 2000. Effect of 1 and 100 kPa O₂ atmospheric pretreatment of whole “Spartan” apples on subsequent quality and shelf-life of slices stored in modified atmosphere packages. *Postharv. Biol. Technol.* 18: 99-107
- Luna-Guzmán I, M Cantwell, DM Barrett. 1999. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *J of Food Sci.* 64:433-440
- Luna-Guzmán I, DM Barrett. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technol.* 19(1): 61-72
- Nicoli MC, M Anise, C Severinc. 1994. Combined effects in preventing enzymatic browning reactions in minimally processed fruit. *J of Food Quality.* 17:221-229
- Prieto A, L Jacxsens, F Devlieghere, J Debevere, F Artés. 2000. Improving modified atmosphere packaging system for keeping quality of ready-to-eat lettuce salad. *In: International Institute of Refrigeration Conference: Improving Postharvest Technologies of Fruits, Vegetables and Ornamentals.* Murcia, España.
- Qi L, T Wu, A Watada. 1999. Quality changes of fresh-cut honeydew melons during controlled atmosphere storage. *J Food Quality.* 22:513-521.
- Rocha AMCN, CM Brochado, AMMB Morais. 1998. Influence of chemical treatment on quality of cut apple (cv. Jonagored). *J of Food Quality.* 21(1):13-18
- Romero F, F Riquelme, T Pretel, G Martinez, M Serrano, C Martinez, P Lozano, P Segura, P Luna. 1996. Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas: atmósferas modificadas. Editorial Mundi Prensa: Madrid, España.
- Saltveit M. 1997. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. *In: Phytochemistry of fruits and vegetables.* Tomás-Barberán FA, R Robins (Eds.). Editorial Oxford University Press: London. Pp. 205-220.

- Salunkhe D, B Desai (Eds.). 1991. Postharvest Biotechnology of Vegetables. Editorial CRC Press: Boca Ratón.
- Sapers, G. M., Garzarella, L., Pilizota, V. 1990. Application of browning inhibitors to cut apple and potato by vacuum and pressure infiltration. *Journal of Food Science*, 55 (4):1049-1053.
- Saper G, R Miller. 1998. Browning inhibition in fresh-cut pears. *J of Food Scie.* 63:342-346.
- Saper G, G Simmons. 1998. Hydrogen peroxide disinfection of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 52(2):48-52
- Schoch S, M Ihl. 1998. Substrate specificity of chlorophyllase from different plants. *Zeitschrift für Naturforschung CA. J of Bioscie.* 53: 21-26
- Soliva-Fortuny R, N Grigelmo-Miguel, I Odriozola-Serrano, O Gorinstein, O Martín-Belloso. 2001. Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging. *J of Agric and Food Chem.* 49(8):3685-3690.
- Soliva-Fortuny R, M Biosca-Biosca, N Grigelmo-Miguel, O Martín-Belloso. 2002a. Browning, polyphenol oxidase activity and headspace gas composition during storage of minimally processed pears using modified atmosphere packaging. *J of the Scie of Food and Agric.* 82: 1490-1496
- Soliva-Fortuny R, G Oms, O Martín-Belloso. 2002b. Effects of ripeness on the storage atmosphere and color and textural properties of minimally processed apple slices. *J of Food Sci.* 67(5):1958-1963.
- Soliva-Fortuny R, M Lluch, A Quiles, N Grigelmo-Miguel, O Martín-Belloso. 2002c. Evaluation of textural properties and microstructure during storage of minimally processed apples. *J of Food Sci.* 68: 312-317.
- Soliva-Fortuny R. 2003. Influencia de las condiciones de envasado y conservación sobre la calidad y vida útil de manzana y pera mínimamente procesadas. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Lleida, España.
- Soliva-Fortuny RC, N Alòs-Saiz, A Espachs-Barroso, O Martín-Belloso. 2004a. Influence of maturity at processing on quality attributes of fresh-cut Conference pears. *J of Food Scie.* 69(7):244-248

- Soliva-Fortuny R, P Elez-Martinez, O Martín-Belloso. 2004b. Microbial and biochemical stability of fresh-cut apples preserved by modified atmosphere packaging. *Innovative Food Scie and Preserving Technol.* 5:215-224.
- Son S, K Moon, C Lee. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chem.* 73: 23-30.
- Varoquaux P, R Wiley. 1994. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetable. *In: Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables.* Wiley RC (ed.), Editorial: Chapman and Hall: New York, pp. 226-268.
- Watada A, N Ko, D Minott. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biol. Technol.* 9: 115-125.
- Wiley R. 1997. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Editorial Acribia. España. 2:15-60.
- Williams D, J Montecalvo, E Mueller, D Earls, K Swanson, L Petersen. 1995. Ozonation as an alternative disinfectant for carrot wash water. *In: Book of Abstracts, Ann. Mtg. Inst. of Food Technologists*, p. 8.
- Yano M, R Saijo. 1987. New preservation method for shredded cabbage with special reference to nonbrowning cultivar. *J. Jpn. Soc. Cold Preserv. Food.* 13: 11-15.
- Yaun B, S Sumner, J Eifert, J Marcy. 2004. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *Int J of Food Microbiol.* 90: 1-8

EMPLEO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRUTAS FRESCAS CORTADAS: NUEVO ENFOQUE DE CONSERVACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

M^a Alejandra Rojas Graü, María Soledad Tapia, Olga Martín

Belloso

Alimentaria (enviado)

RESUMEN

El estilo de vida de los consumidores modernos unido al deseo de adquirir productos naturales y beneficiosos para la salud ha hecho que la producción y consumo de frutas con proceso mínimo se hayan visto incrementadas en los últimos años. Sin embargo, las operaciones de procesado alteran la integridad de la fruta acarreado una serie de cambios que pueden ir en detrimento de la calidad del producto final. Las coberturas comestibles están siendo consideradas como una estrategia para reducir los efectos perjudiciales que inflige el procesado mínimo en los tejidos vegetales de frutas frescas cortadas. Así, la barrera artificial semipermeable que constituye una cobertura polimérica, contribuye a la extensión de la vida útil del producto al reducir la migración de humedad y de solutos, el intercambio de gases, la respiración, y otras reacciones oxidativas, disminuyendo así los desórdenes fisiológicos. Además, las coberturas pueden servir como soporte de algunos aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, colorantes, saborizantes y nutrientes. En este trabajo se hace una revisión actualizada del estado del arte de este interesante tópico considerado como un enfoque emergente de conservación.

Palabras clave: recubrimientos comestibles, frutas frescas cortadas, vida útil, proceso mínimo

INTRODUCCIÓN

Los cambios en los hábitos alimentarios están ejerciendo un efecto determinante sobre las áreas de innovación tecnológica y especialmente en la producción de alimentos que conserven al máximo las características de un producto fresco (Carbonell, 1995; Schlimme, 1995). Una respuesta a la demanda de este tipo de productos son las frutas y hortalizas frescas cortadas, (“fresh-cut”), las cuales abren un nuevo mercado a aquellas personas que, por falta de tiempo o por simple comodidad no tienden a consumir frutas y hortalizas (Romojaro *et al*, 1996; Carbonell, 1995, Alzamora *et al*, 2000). Aunado a esto, actualmente los consumidores son más conscientes de que el consumo de frutas y hortalizas (F&H) en la dieta diaria tiene un efecto benéfico para la salud, aunque su consumo sigue siendo bajo con respecto a las actuales recomendaciones (OMS, 2003, OMS/FAO, 2005). La industria de F&H está confrontando excelentes perspectivas y oportunidades, en cuanto a un movimiento mundial, con respaldo científico, de alimentación saludable, actividad física y salud (OMS, 2004) que estimula y promueve su consumo.

Las F&H mínimamente procesadas se obtienen a través de diversas operaciones unitarias de preparación, las cuales producen cambios directos en las frutas frescas, tales como la pérdida de agua, el pardeamiento enzimático, ablandamiento por rompimiento de tejidos, aumento en la tasa respiratoria y, como consecuencia, producción de etileno. Estos fenómenos fisiológicos son responsables de los cambios bioquímicos que conllevan a la degradación de propiedades sensoriales de las F&H recién cortadas. La aplicación de técnicas que permitan controlar los factores alterantes en frutas frescas cortadas es actualmente objeto de muchas investigaciones en el campo de ciencia y tecnología de los alimentos (Wiley, 1997, Alzamora *et al.*, 2000).

En este sentido, deben aplicarse técnicas de conservación, que combinadas o no, puedan mantener o mejorar las características originales del producto, alargando su vida útil sin que se pierdan las características sensoriales y nutricionales, asegurando además su estabilidad microbiológica. Es aquí donde el uso de recubrimientos comestibles (RC) y películas comestibles (PC) sobre el tejido cortado de la fruta constituye una interesante alternativa, ya que su aplicación favorece el control de los procesos respiratorios típicos de los tejidos vivos, controla los procesos de deshidratación, permite el transporte de agentes antioxidantes, la incorporación de compuestos antimicrobianos y más recientemente, la incorporación de otras sustancias que podrían mejorar las características del producto final, tales como nutrientes, saborizantes y hasta microorganismos benéficos. Aunado a esto, los

sectores científicos, gubernamentales e industriales han incrementado su interés en la aplicación de recubrimientos en productos frescos, basándose principalmente en la ventaja que supone para el medio ambiente el evitar la utilización de materiales de envasado no renovables.

Recubrimientos comestibles. Aspectos generales

Aunque el empleo de RC en la preservación de alimentos no es una técnica novedosa, sí lo es su uso en la conservación de la calidad de frutas y hortalizas frescas cortadas. Las cubiertas de cera sobre frutas han sido usadas en China desde el siglo XII para mejorar la calidad y conservación de frutas (Gontard *et al.*, 1996), mientras que la aplicación de cubiertas sobre carnes para prevenir su contracción, ha sido una práctica usual al menos desde el siglo XVI, donde las carnes cortadas eran cubiertas con grasas para su conservación (Kester y Fennema, 1986). En el siglo XIX, la sacarosa era aplicada como una cubierta comestible protectora sobre nueces, almendras y avellanas para prevenir la oxidación y rancidez durante su almacenamiento (Debeaufort *et al.*, 1998). La aplicación más importante de los RC hasta ahora, y particularmente desde 1930, concierne al uso de una emulsión hecha con cera y aceites en agua que se esparce sobre las frutas para mejorar su apariencia (brillo, color, suavidad), servir de vehículo de funguicidas, proporcionar un mejor control de su maduración y retardar la pérdida de agua (Debeaufort *et al.*, 1998). Pero no es sino hasta la década de los 70 cuando se desarrolló una de las primeras aplicaciones de RC en productos frescos cortados. Bryan (1972), fue el primero en patentar un método para recubrir trozos de pomelo con una cobertura constituida por pectina de bajo grado de metoxilación dispersada en zumo de pomelo. Aunque esta patente constituye uno de los primeros ejemplos del uso de recubrimientos en frutas cortadas, su verdadero desarrollo y aplicación en este tipo de producto es mucho más reciente. McHugh *et al.* (1996) desarrollaron coberturas comestibles novedosas a partir de purés de frutas como manzana, pera, melocotón y albaricoques. Una de las aplicaciones comerciales más exitosas la constituye la familia de productos a base de sales de calcio, vitaminas, minerales y carboximetilcelulosa (NatureSeal[®]) patentado conjuntamente por la empresa Mantrose-Haeuser Co., Inc. (Westpat, Conneticut) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que ofrece una serie de presentaciones comerciales para la extensión de

vida útil de un gran número de F&H, retardando significativamente las reacciones de oscurecimiento y facilitando el servicio en restaurantes, menús institucionales y programas escolares (NatureSeal, 2006).

Recientemente, Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) señalaron que los RC deben cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas frescas cortadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptable, ser estable tanto desde el punto de vista físico-químico como microbiológico, además de poseer un costo razonable.

Un RC es definido como una capa delgada de material comestible formado como un revestimiento sobre el alimento, mientras una PC es una capa preformada y delgada elaborada con material comestible y la cual una vez elaborada puede ser colocada sobre el alimento ó entre los componentes del mismo (McHugh, 2000). La principal diferencia entre ambos sistemas comestibles es que los RC son aplicados en forma líquida sobre el alimento, generalmente por inmersión del producto en una solución, y las PC son en primer lugar preformadas como láminas sólidas las cuales son posteriormente aplicadas en forma de recubrimiento sobre el alimento. Las ventajas y desventajas de aplicar RC versus PC en manzanas frescas cortadas fueron establecidas por McHugh and Senesi, (2000).

Por otro lado Martín-Polo *et al.* (1992) definieron a los RC como capas delgadas de materiales los cuales pueden ser ingeridos por el consumidor, que proveen una barrera al transporte de masa en o a través del alimento fresco o manufacturado. Carrasco *et al.* (2002) manejaron un concepto que fusiona las dos definiciones anteriores: los RC son capas delgadas de un material biopolímero (proteína o polisacárido como una solución hidrocoloide, o como una emulsión con lípidos), que son aplicadas sobre la superficie de un alimento en adición o reemplazo de la corteza natural, y que se comportan principalmente como barreras que reducen la difusión de gases (O₂, CO₂, vapor de agua), permitiendo extender la vida útil del alimento.

Según Kester y Fennema (1986) los RC tienen la función de retardar la migración de humedad, controlar el transporte de gases (O_2 , CO_2 y etileno), retener componentes volátiles, servir de vehículo de aditivos, mejorar las propiedades mecánicas y de manejo del alimento, además de impartir una mayor integridad a la estructura del mismo. En la Figura 1 se puede observar las funciones más importantes de los RC cuando son aplicados sobre tejidos vivos. Al ser usados sobre frutas cortadas pueden reducir los efectos perjudiciales de operaciones de proceso mínimo como el pelado y cortado sobre tejidos vegetales.

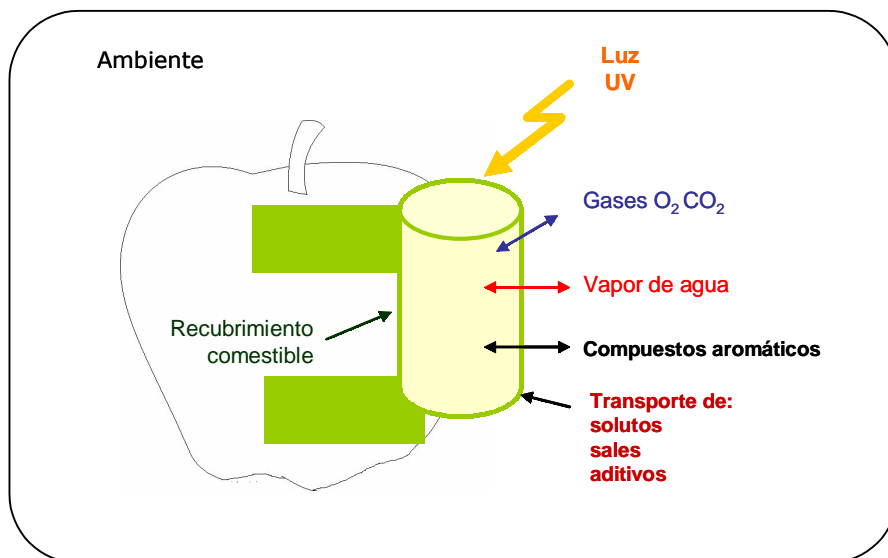


Figura 1. Principales funciones de los recubrimientos comestibles aplicados a frutas mínimamente procesadas.

Principales propiedades de los recubrimientos comestibles

De acuerdo a Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) los RC aplicados en frutas cortadas producen una atmósfera modificada en la fruta, reducen el deterioro, retrasan la maduración de frutas climatéricas, reducen la pérdida de agua, retardan los cambios de color, mejoran la apariencia, disminuyen la pérdida de aromas, reducen el intercambio de humedad entre trozos de frutas, transportan compuestos antioxidantes y estabilizantes de la textura,

imparten color y sabor, y pudieran servir como transporte de otras sustancias. Entre las principales propiedades de los RC pueden destacar las siguientes:

Propiedades de barrera

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de los RC es la resistencia a la migración de humedad (Kester y Fennema, 1986). La deshidratación superficial constituye uno de los principales problemas en el mantenimiento de la calidad de los productos cortados. La pérdida de agua de frutas y vegetales frescos cortados se traduce en una pérdida de peso y de turgor del producto con la consecuente disminución de la calidad durante su comercialización (Avena-Bustillos *et al.*, 1994). La naturaleza del RC empleado desempeña aquí un papel muy importante: a mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua (Martín-Belloso *et al.*, 2005). Los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales, tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelano, carragenano, etc.), así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica (Yang and Paulson, 2000). Para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de este tipo de recubrimientos se pueden incorporar lípidos, que emulsificados en la solución formadora de coberturas o formando una doble capa sobre el producto, pueden ayudar a prevenir reacciones degradativas del tejido como consecuencia de la pérdida de humedad, así como las reacciones respiratorias en los tejidos vegetales (García *et al.*, 2000; Yang y Paulson, 2000; Rojas-Graü *et al.*, 2006). De esta manera se pueden formular coberturas comestibles combinando las ventajas de los componentes hidrocoloides y de los componentes lipídicos, éstos últimos como barrera al vapor de agua y los primeros como barrera selectiva al oxígeno y al dióxido de carbono, además de proveer una matriz de soporte estructural (Kester y Fennema, 1986; Baldwin *et al.*, 1996).

Por otro lado, la habilidad de los RC para modificar el transporte de gases es importante para productos como frutas y vegetales frescos, los cuales son caracterizados por tener un metabolismo activo. Los RC aplicados a productos que respiran deben permitir una correcta modificación del entorno gaseoso dentro del envase (Gorris y Peppelenbos, 1992). Su uso sobre frutas permite la producción de una atmósfera modificada mediante un aislamiento

del producto del ambiente que lo rodea (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005). No obstante, aunque lo que se espera es una reducción de la transferencia de gases entre la fruta y el ambiente, recubrimientos extremadamente impermeables pueden inducir a la creación de condiciones de anaerobiosis que tienen como consecuencia una pérdida de los compuestos aromáticos típicos de la fruta y la presencia de aromas indeseables (Mattheis y Fellman, 2000). De allí radica la importancia de conocer con anterioridad tanto las características del producto que se quiera recubrir como el material a emplear en la elaboración del recubrimiento.

El comportamiento de los RC como barrera a la difusión de los gases ha sido estudiado por algunos autores en frutas cortadas. Wong *et al.* (1994) estudiaron el efecto de varios RC en la actividad respiratoria de trozos de manzana cortada, mediante mediciones del CO₂ y etileno producido, los cuales fueron analizados en el espacio de cabeza de los envases que contenían las muestras. Todos los recubrimientos estudiados por estos autores produjeron una sustancial reducción de ambos gases, siendo especialmente significativo en el caso del etileno, cuya concentración se redujo en casi el 90% comparado con la producción de este gas en trozos de manzana sin recubrir. Resultados similares han sido reportados por Lee *et al.* (2003), quienes observaron una reducción de la tasa respiratoria inicial, de 44.80 a 34.95 mg CO₂.kg⁻¹. h⁻¹, en piezas de manzana Fuji recubiertas con un concentrado de proteína de suero. Estos autores atribuyeron dicha reducción a los iones de calcio incorporados en las soluciones formadoras de coberturas y a las propiedades de barrera al oxígeno propias de ellas.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los RC dependen en gran medida del tipo de material empleado en su elaboración y especialmente de su grado de cohesión, es decir, la habilidad del polímero para formar puentes moleculares numerosos y estables entre cadenas poliméricas, los cuales impiden su separación (Guilbert y Biquet, 1996). Las propiedades de las coberturas dependen en gran medida de la composición y estructura de los ingredientes. Por lo tanto, la elección de las sustancias a emplear y/o aditivos activos a añadir están totalmente relacionadas con la función para la cual se desea utilizar la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el método de aplicación (Debeaufort *et*

al., 1998). El recubrimiento de frutas cortadas suele hacerse por inmersión en una solución formadora de cobertura o por rociado de la misma sobre los trozos de fruta, generalmente precedidos por un rápido escurrido-secado de la solución sobrante y posterior almacenamiento refrigerado. Según Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión de los RC gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta.

Transporte de aditivos

Un uso potencial de los RC en frutas cortadas lo constituye la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento per se. Por ejemplo, el enriquecimiento de los RC con aditivos funcionales permite mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento (Guilbert y Biquet, 1996).

El pardeamiento enzimático constituye una de las principales causas de deterioro en frutas cortadas pudiendo ser evitado mediante la incorporación de antioxidantes en la formulación de las coberturas. Entre los antioxidantes normalmente usados en productos frescos para evitar el oscurecimiento superficial se encuentran, el ácido ascórbico y sus sales, 4-hexylresorcinol y algunos aminoácidos que contienen azufre como la cisteína y el glutatión, entre otros. Dichos compuestos pueden usarse solos o en combinación con otros aditivos, tales como antimicrobianos y agentes reafirmantes de la textura, con el fin de aumentar la vida útil de frutas cortadas (Pizzocaro *et al.*, 1993; Son *et al.*, 2001). La incorporación de antioxidantes a RC aplicados en fruta cortadas ha sido investigada por varios autores (Baldwin *et al.*, 1996; Lee *et al.*, 2003; Pérez-Gago *et al.*, 2004; Rojas-Graü *et al.*, 2006). Baldwin *et al.* (1996) reportó que el pardeamiento enzimático de manzanas troceadas se evitó con más efectividad cuando el ácido ascórbico fue incorporado como parte del RC que por inmersión directa de los trozos en una solución acuosa conteniendo dicho compuesto antioxidante. Rojas-Graü *et al.* (2006) demostraron que la incorporación de

antioxidantes naturales, tales como N-acetilcisteína o glutatión en un recubrimiento elaborado a partir de polisacáridos, permitió mantener el color original de trozos de manzana Fuji por más de 21 días de almacenamiento.

La incorporación de agentes antimicrobianos dentro de RC constituye una técnica innovadora en el mantenimiento de la seguridad inocuidad y vida útil de alimentos mínimamente procesados. El crecimiento de microorganismos en la superficie de productos cortados es una de las principales causas de su deterioro, pudiendo ser evitado mediante el uso de agentes antimicrobianos. Entre los principales agentes antimicrobianos incorporados en recubrimientos comestibles se encuentran sorbatos, ácidos, bacteriocinas, lisozima y más recientemente aceites esenciales.

Además de compuestos antimicrobianos y antioxidantes, los RC también pueden incorporar agentes estabilizantes de la textura, imprescindibles para el mantenimiento de la calidad de productos frescos cortados. Soliva-Fortuny *et al.* (2003) señalaron que las sales cálcicas se emplean frecuentemente en frutas frescas cortadas con la finalidad de frenar fenómenos de pérdida de firmeza. En efecto, uno de los compuestos más usados es el cloruro cálcico, el cual puede añadirse al recubrimiento para mantener la textura inicial de las frutas, mejorando su calidad durante el almacenamiento. Lee *et al.* (2003) demostraron que la incorporación de cloruro de calcio (1%) dentro de la formulación de una cobertura de proteína de suero, ayudó a mantener la firmeza de trozos de manzana cortada. La adición de calcio o de algún ión multivalente en un recubrimiento comestible facilita la formación de enlaces cruzados, contribuyendo a la obtención de recubrimientos estructuralmente más fuertes y estables (Wong *et al.*, 1994; Mei *et al.*, 2002).

Los RC además, pueden emplearse para transportar ingredientes activos, pudiendo ser excelentes vehículos para mejorar el valor nutricional de los alimentos (Rojas-Graü *et al.*, 2006). En este sentido, Tapia *et al.* (2005) emplearon una formulación de alginato y/o gelano conteniendo aceite de girasol con ácidos grasos Omega 3 y Omega 6 para recubrir trozos de manzana y de papaya. También se ha estudiado el uso de otros compuestos beneficiosos para la salud, tales como microorganismos probióticos. Krasaekoopt *et al.* (2004) describieron la microencapsulación de bacterias prebióticas en cuentas de alginato

sódico con distintos recubrimientos. Mei *et al.* (2002) emplearon un recubrimiento a base de goma xantano para transportar 5% de Gluconal Cal -una mezcla de lactato de calcio y de gluconato-, y 0,2% de acetato de alfa tocoferol (vitamina E). Estos recubrimientos fueron aplicados en zanahorias para mejorar sus propiedades sensoriales y nutricionales. Rodríguez *et al.*, (2005) incorporaron exitosamente *Bifidobacterium lactis* Bb-12 en coberturas comestibles de alginato para recubrir trozos de papaya fresca, logrando poblaciones viables del organismo mayores de 10^7 , las cuales se mantuvieron a lo largo de todo el almacenamiento refrigerado, permitiendo obtener una “fruta funcional prebiótica”.

PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Para la formación de un RC se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión (Debeaufort *et al.*, 1998). Cuando se combinan lípidos, proteínas y polisacáridos que pueden interactuar física y/o químicamente, se pueden obtener recubrimientos con mejores propiedades. Sin embargo, la compatibilidad de los componentes es un punto importante a considerar cuando se trata de una mezcla de biopolímeros, ya que se puede alterar drásticamente el funcionamiento de los compuestos del recubrimiento (Diab *et al.*, 2001).

Con el fin de mejorar el intercambio de gases, la adherencia, y las propiedades de permeabilidad a la humedad, generalmente se combinan dos o más materiales (Baldwin *et al.*, 1995). Dichas mezclas suelen realizarse mediante emulsión de uno de los componentes, generalmente un lípido, en el resto de los componentes, o mediante un recubrimiento multicapa, donde el recubrimiento se aplica mediante una técnica de laminación, en la cual se hace la inmersión de la fruta en una primera solución, generalmente la matriz, seguida por una inmersión en otro tipo de solución, ya sea de naturaleza lipídica o cálcica, entre otras.

Además del componente de naturaleza polimérica y de alto peso molecular (matriz), otro componente importante de los RC son los plastificantes. Estos son moléculas pequeñas de bajo peso molecular, de baja volatilidad y con una naturaleza química similar a la del polímero formador de recubrimiento. Se usan para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos. Dentro de los agentes plastificantes utilizados más frecuentemente se

encuentran: glicerol, polietilenglicol, sorbitol, aceites, ácidos grasos, ceras, etc., siendo el glicerol uno de los más utilizados (Ver tabla 1). Stuchell y Krotcha (1994), demostraron que los recubrimientos a base de proteína de soja sólo podían manipularse si se agregaba como mínimo 17g de glicerol por 100 g de materia seca. Generalmente se requieren plastificantes como el glicerol en las formulaciones a base de polisacáridos y de proteínas, para aumentar la flexibilidad de los recubrimientos, al aumentar el volumen libre o la movilidad molecular de los polímeros, reduciendo los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros y aumentando el espacio intermolecular. Los plastificantes afectan la capacidad de atracción de agua del sistema y generalmente suelen aumentar la permeabilidad al oxígeno de los RC (McHugh y Krochta, 1994; Sothornvit y Krochta, 2000).

Agentes plastificantes como alcoholes polihídricos, ceras y aceites se utilizan para mejorar la flexibilidad y elongación del material de las sustancias poliméricas. La adición de surfactantes y emulsificantes reduce la actividad de agua superficial y la velocidad de pérdida de humedad de los alimentos recubiertos. Se pueden agregar también agentes de liberación controlada y lubricantes para prevenir que los alimentos recubiertos se hagan pegajosos; entre éstos últimos se incluyen grasas, aceites, emulsificantes, petrolatum, polietilenglicol, y silicona. (Baldwin *et al.*, 1995). Ayranci y Tunc (1997) investigaron ácidos grasos como esteárico, palmítico y laúrico, adicionados a coberturas a base de celulosa para medir sus efectos sobre la disminución de la pérdida de humedad de fresas recubiertas. Los autores encontraron que en la medida que se aumentaba el contenido de éstos compuestos en la cobertura, la pérdida de humedad del producto fresco disminuía, resultando el ácido esteárico el más efectivo para estos fines. Rojas-Graü *et al.* (2006) y Tapia *et al.*, (2005) estudiaron el efecto de la incorporación de aceite de girasol en recubrimientos a base de polisacáridos (alginato y gelano) aplicados en trozos de manzana (Figura 2) y de papaya cortada, observando un aumento de las propiedades de barrera al vapor de agua de los RC estudiados. Wong *et al.* (1994) determinaron los valores de resistencia al vapor de agua de coberturas a base de los siguientes carbohidratos: AVICEL, carragenano, pectina y alginato en concentraciones de 0,5 % aplicados en trozos de manzana cortadas. A todas las coberturas se les agregó, en bicapa, monoglicérido acetilado

(MGA) como componente lipídico para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de los polisacáridos.

Además de los plastificantes, se emplean antioxidantes, antimicrobianos, y reafirmantes de la textura con el fin de mejorar las propiedades de las coberturas. Se ha demostrado que algunos aditivos actúan más efectivamente en alimentos cuando son aplicados formando parte del RC que cuando son aplicados en soluciones acuosas mediante dispersión o inmersión, ya que las coberturas pueden mantener los aditivos en la superficie del alimento durante más tiempo (Baldwin et al., 1996). En la tabla 1 se puede observar en los recubrimiento de frutas frescas cortadas, además de plastificantes, se utilizan agentes antioxidantes tales como el ácido ascórbico, el ácido cítrico, y la N-acetilcisteína y agentes reafirmantes como el cloruro de calcio, el cuál, lo mismo que otras fuentes de cationes divalentes, son requeridos para lograr el entrecruzamiento y formar geles firmes al reaccionar con compuestos coloidales poliméricos como el alginato y el gelano (Rhim, 2004).

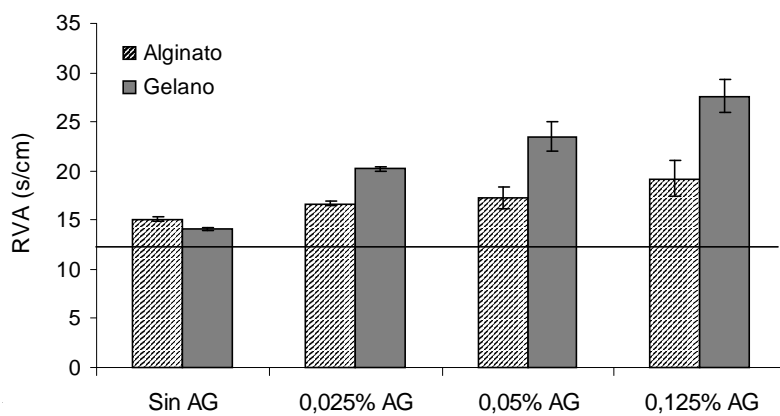


Figura 2.- RVA de trozos de manzana recubiertos con coberturas de alginato y gelano. (---) RVA de trozos de manzana sin cobertura 12.15 ± 1.5 s/cm. (Adaptado de Rojas-Graü *et al.*, 2006)

El uso de coberturas comestibles como transporte de agentes antimicrobianos para el recubrimiento de productos frescos cortados es mucho mas reciente. Entre los compuestos más utilizados se encuentran los ácidos orgánicos y sus sales (ácido sórbico, propiónico y benzoico), sulfitos, nitritos, bacteriocinas (nisina y pediocinas), enzimas (lisozimas), entre

otros (Suppakul *et al.*, 2003). Una de las tendencias más recientes consiste en la incorporación de compuestos de origen natural, tales como el própolis (Kim *et al.*, 2001) o extractos de plantas tales como canela, vainillina, clavo, orégano, cebolla, ajos, mostaza, semillas de pomelo, entre otras, los cuales poseen propiedades antimicrobianas (Brody *et al.*, 2001; Suppakul *et al.*, 2003). Skandamis y Nychas (2000) señalaron que la efectividad de los aceites esenciales aumenta cuando el pH del alimento es bajo. Rupasinghe *et al.* (2006) incorporaron 12 mM de vainillina dentro de una solución conteniendo NatureSeal™ con el fin de extender la vida útil de rodajas de manzana conservadas en refrigeración, observando una reducción de la carga microbiana del producto de hasta 66% durante las tres semanas de almacenamiento. Por su parte, Lanciotti *et al.* (1999) indicaron que la adición de aceites esenciales proveniente de cítricos a una mezcla de frutas troceadas (manzanas, peras, uvas, melocotón y kiwi) era capaz de inhibir la proliferación de microorganismos naturalmente presentes en dichas frutas.

Recubrimientos comestibles empleados en frutas frescas cortadas

Existen dos grandes grupos de materiales usualmente empleados en la elaboración de RC para frutas frescas cortadas: polisacáridos y proteínas. La elección del tipo de material a utilizar depende del tipo de producto que se quiera recubrir. En el caso de frutas cortadas, por ser un producto que continúa respirando, se debe prestar especial atención a las propiedades de barrera a los gases impuesta por cada recubrimiento. En la tabla 1 se pueden observar algunos RC empleados en frutas mínimamente procesadas, cuyas características y uso se expone en más detalle a continuación.

Recubrimientos comestibles basados en polisacáridos

Las coberturas de base polisacárida suelen usarse en frutas ya que reducen la tasa respiratoria y el intercambio de gases gracias a su permeabilidad selectiva al O₂ y al CO₂ (Nisperos-Carriedo, 1994; Nussinovitch, 1997) aunque son una barrera deficiente al vapor de agua (Kester y Fennema, 1986; García *et al.*, 1998).

Tabla 1.- Algunos recubrimientos comestibles utilizados en frutas frescas cortadas

Tipo de Fruta	Matriz del RC	Plasticantes y aditivos	Función del RC	Referencia
Manzana	CPS y APS	Glicerol	Reducción del pardeamiento enzimático y pérdida de textura.	Sonti <i>et al.</i> , 2003
	Carragenato	Glicerol, PEG, AA, AO, AC	Extensión de la vida útil	Lee <i>et al.</i> , 2003; Park, 1999
	CPS + CMC	Glicerol, AA, AO, CaCl ₂	Mantenimiento de la textura, reducción de la tasa respiratoria.	Lee <i>et al.</i> , 2003; Park, 1999
	Alginato, gelano	Glicerol, aceite de girasol, N-cys	Reducción de pérdida de humedad, mantenimiento del color original	Rojas-Graü <i>et al.</i> , 2006
	APS + cera de abejas	Glicerol, AE	Reducción del pardeamiento enzimático	Perez-Gago <i>et al.</i> , 2003
	Puré de manzana + pectina + CAB o aceite vegetal	Glicerol, AA, AC,	Reducción de pérdida de humedad y pardeamiento	McHugh y Senesi, 2000
	Maltodextrina + MC	Glicerol, AA, SP, CaCl ₂	Disminución de la producción de etileno y pardeamiento	Brancoli y Barbosa-Cánovas, 2000
	Carragenato, pectina, alginato, CM + MGA	AA, AC, CaCl ₂ , NaCl	Disminución de la producción de CO ₂ y etileno en un 50 y 90%.	Wong <i>et al.</i> , 1994
	NatureSeal™, CMC y CPS	AA, SP, aceite de soja, CaCl ₂	Extensión de la vida útil	Baldwin <i>et al.</i> , 1996
	Quitosano + CPS	CAB	Barrera a los gases, reducción de pérdida de humedad y efecto antifúngico	Assis y Pessoa, 2004
Pera	MC + AE	PEG, SP, AA, CaCl ₂	Reducción del pardeamiento.	Olivas <i>et al.</i> , 2003
Fresa	CPS+ Caseína+ Pectina+ agar	Glicerol, CaCl ₂	Reducción del crecimiento fúngico	Vachon <i>et al.</i> , 2003
	Cactus-mucílagos	Glicerol	Mantenimiento de la textura, color y atributos sensoriales	Del-Valle <i>et al.</i> , 2005
Papaya	Caseína	Cera de carnauba	Barrera a los gases, reducción de pérdida de humedad	Guilbert, 1988

			de humedad	
	Alginato, gelano	Glicerol, aceite de girasol, AA	Reducción de perdida de humedad, Reducción de pérdidas de AA y color.	Tapia <i>et al.</i> , 2005
Mango	CMC	Lecitina, PEG, AC	Mantenimiento del color	Nispero-Carriedo, 1994
	Quitosano	-	Reducción de pérdida de agua, mantenimiento del color y sabor original	Chien <i>et al.</i> , 2005

CPS: concentrado de proteínas de suero lácteo; APS: aislado de proteínas de suero lácteo; PEG: polietilenglicol; AA: ácido ascórbico; AO: ácido oxálico; AC: ácido cítrico; CMC: carboximetilcelulosa; CaCl₂: cloruro de calcio; N-cyst: N-acetilcisteína; AE: ácido esteárico; CAB: cera de abeja; MC: metilcelulosa; SP: sorbato de potasio, MGA: monoglicérido acetilado, CM: Celulosa microcristalina.

La incorporación de otros componentes tales como lípidos, bien en una emulsión o como una capa dentro de las formulaciones de las coberturas, generalmente mejoran las propiedades de barrera al vapor de agua de este tipo de recubrimientos (García *et al.*, 2000; Yang y Paulson, 2000). Entre los polisacáridos empleados más frecuentemente como base para formar RC en frutas cortadas se encuentran: maltodextrina, metilcelulosa, carboximetilcelulosa, pectina, alginato y gelano (Díaz-Sobac *et al.*, 2001; Turhan *et al.*, 2001; Wong *et al.*, 1994; Yang y Paulson, 2000; Pavlath *et al.*, 1993; Le Tien *et al.*, 2001; Rojas-Graü *et al.*, 2006).

Celulosa y sus derivados. **La celulosa es un polisacárido compuesto por unidades de D-glucosa que son altamente permeables al vapor de agua (Kester y Fennema, 1986). Constituye uno de los RC más empleados en productos frescos ya que posee formas solubles no iónicas, tales como la metilcelulosa (MC), y formas aniónicas, como la carboximetilcelulosa (CMC) que le confieren excelentes propiedades mecánicas y funcionales (Baldwin, 1999). Por sus efectivas cualidades y su bajo coste económico, estos compuestos han sido ampliamente estudiados en F&H con mínimo proceso. Níspero-Carriedo (1994) aplicaron un recubrimiento a base de CMC, lecitina y polietilenglicol en rodajas de mango, logrando mantener el color original de la fruta durante todo el almacenamiento. Por su parte, Brancoli y Barbosa-Cánovas (2000) lograron disminuir la producción de etileno y reducir el pardeamiento enzimático de manzana fresca cortada mediante la aplicación de un recubrimiento de maltodextrina y metilcelulosa. NatureSeal es una cobertura comestible a base de polisacáridos cuyo componente principal es la celulosa, la cual sirve de base para una mezcla precisa de vitaminas y minerales. El producto se comercializa en forma de polvo para ser disuelto en agua y formar una solución de rociado o de inmersión, para las frutas cortadas (Feng *et al.*, 2004; Nature Seal, 2006).**

Quitosano. Este polisacárido de alto peso molecular, normalmente obtenido por deacetilación alcalina de la quitina proveniente de crustáceos, es ampliamente utilizado como RC (Jiang y Li, 2001; Zhang y Quantick, 1998). Este tipo de recubrimiento es efectivo en prolongar la vida útil y mejorar la calidad de frutas

cortadas ya que presenta una alta permeabilidad selectiva frente a los gases, una ligera resistencia al vapor de agua, además de poseer propiedades antifúngicas (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997). La aplicación de coberturas de quitosano retardó los cambios en el contenido de antocianinas, flavonoides y fenoles totales, además de disminuir la pérdida de peso y el pardeamiento en frutas como “Litchi” (Zhang y Quantick, 1997). La efectividad del quitosano también ha sido probada en rodajas de mango por Chien *et al.* (2007) quienes observaron una menor deshidratación de los trozos de fruta recubiertos además del mantenimiento del color y sabor original del mango. Del mismo modo, Assis y Pessoa (2004) evaluaron las propiedades de recubrimientos de quitosano aplicados en rodajas de manzana, observando que dicho recubrimiento era efectivo previniendo la pérdida de peso, además de ser un excelente recubrimiento antifúngico.

Pectinas. Las pectinas son un importante constituyente de la pared celular de muchas plantas. Comercialmente las pectinas son extraídas del bagazo de manzanas o de la piel de frutos cítricos (Thakur *et al.*, 1999). Las pectinas de bajo grado de metoxilación se emplean normalmente en la elaboración de RC ya que son capaces de formar geles firmes en presencia de iones de calcio, los cuales establecen puentes estables con los grupos carboxilos de la pectina (Mancini y McHugh, 2000). Wong *et al.* (1994) evaluaron el efecto de RC en forma de bicapas de polisacáridos/lípidos en trozos de manzana, probando entre ellos una mezcla de pectina con monoglicérido acetilado, y observaron una reducción en la tasas de producción de CO₂ y etileno de hasta un 90% (Figura 3).

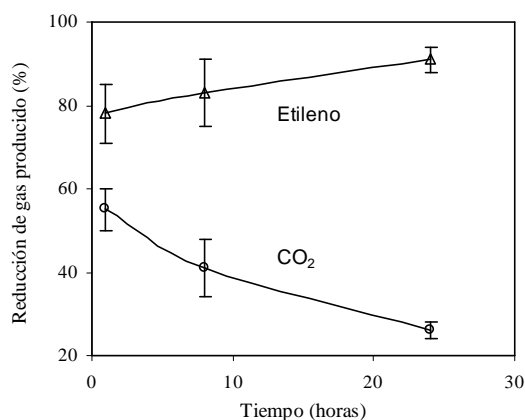


Figura 3.- Porcentaje de reducción de CO₂ y etileno en trozos de manzana recubiertas con una mezcla de pectina y monoglicérido acetilado (Adaptado de Wong *et al.* 1994).

Alginato. El alginato, un polisacárido derivado de algas marrones de origen marino (*Phaeophyceae*), se encuentra formando parte de la pared celular de las algas, de forma análoga a la celulosa y pectina en la pared celular de las plantas terrestres (Mancini y McHugh, 2000) El ácido alginico es un co-polímero insoluble y de bajo peso molecular de los ácidos gulurónico (G) y manurónico (M), pero sus sales de metales alcalinos son solubles en agua y forman geles rápidamente en presencia de calcio, los cuales presentan buenas características para ser empleados como películas comestibles. Las propiedades gelificantes del alginato se deben a su capacidad de formar enlaces con iones divalentes como el calcio. En presencia de iones de calcio, el alginato experimenta cambios conformacionales dando lugar al modelo de gelación conocido como “caja de huevo” (Figura 4).

Entre los polisacáridos, el alginato constituye uno de los biopolímeros más usados debido a unas propiedades coloidales únicas y a su habilidad para formar geles fuertes o polímeros insolubles al reaccionar con cationes metálicos polivalentes como el calcio (King, 1983; Rhim, 2004). Wong *et al.* (1994) estudiaron el efecto de la combinación de alginato con un monoglicérido acetilado sobre trozos de manzana cortada, observando un ligero aumento de la resistencia al vapor de agua comparado con recubrimientos de naturaleza similar. Tapia *et al.* (2005) emplearon un RC a base de alginato y cloruro cálcico para recubrir trozos de papaya, y evaluaron la resistencia al vapor de agua a medida que se incrementaba la concentración de glicerol y de ácido ascórbico en la formulación (Figura 5).

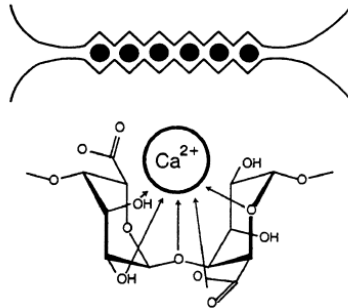


Figura 4. Modelo de “caja de huevo” formado por puentes entre de cationes divalentes como los del cloruro de calcio y los grupos con carga negativa del ácido gulurónico del alginato (Adaptado de Kvam, 1987)

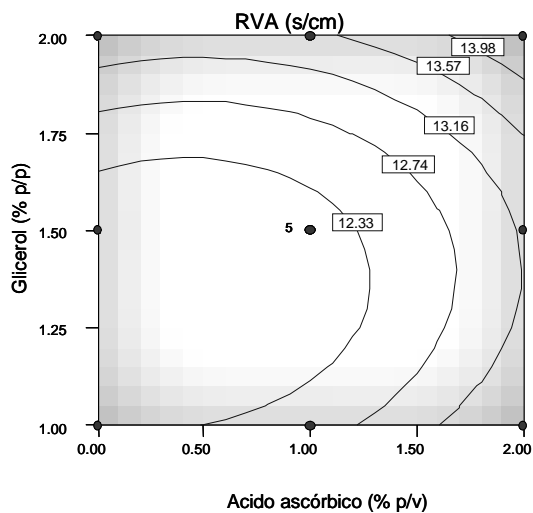


Figura 5. Efecto de la incorporación de glicerol y ácido ascórbico en la resistencia al vapor de agua (RVA) de trozos de papaya recubierta con alginato (Adaptado de Tapia et al., 2005).

Gelano. El gelano es un polisacárido secretado por la bacteria *Pseudomonas elodea* (Yang y Paulson, 2000). Es un hidrocoloide multifuncional el cual puede ser usado en una amplia variedad de productos alimenticios que demandan procesos de gelificación, texturización, estabilización, suspensión y formación de películas. El

gelano, al igual que el alginato es muy apropiado para formar RC debido a sus propiedades coloidales y a su habilidad para formar geles en presencia de cationes tales como K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} (Yang y Paulson., 2000). Este polisacárido es capaz de formar recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y de barrera, además de ser un gel de apariencia transparente. Rojas-Graü et al. (2006) emplearon un recubrimiento a base de gelano (0,5%) sobre trozos de manzana Fuji, observando una moderada resistencia al vapor de agua, además de una buena formación y adhesión del recubrimiento sobre los trozos de fruta (Figura 6).



Figura 6.- Micrografía de un corte transversal de manzana cortada, recubierta con gelano (0.5%) y teñida con azul de algodón. La barra representa una escala de 100 μm . (Adaptado de Rojas-Graü, *et al.*, 2006).

Almidón. El almidón es uno de los materiales crudos mas comúnmente empleados en la agricultura ya que es económico, fácilmente disponible y relativamente fácil de manipular (Gontard y Guilbert, 1992). La amilosa es el compuesto responsable de la formación de recubrimientos en el almidón y su uso para tal fin se ha extendido en los últimos años. Los recubrimientos elaborados con este material presentan baja

permeabilidad al oxígeno (Donhowe y Fennema, 1994). García *et al.* (1998) trabajaron con recubrimientos de almidón con alto contenido en amilosa para el recubrimiento de fresas (*Fragaria ananassa*) logrando extender la vida útil de las frutas con disminución del proceso de senescencia, mantenimiento de la firmeza y reducción de la pérdida de peso durante el almacenamiento.

Mucílagos. Los mucílagos son polisacáridos heterogéneos, formados por diferentes azúcares y en general ácidos urónicos. Se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas: geles en agua. Los mucílagos son constituyentes normales de las plantas y su uso en el recubrimiento de frutas cortadas no ha sido muy estudiado. Investigaciones recientes han demostrado que el gel proveniente de la planta de sábila (*Aloe vera*) puede prolongar la conservación de productos frescos. De la planta de sábila se puede extraer un gel cristalino (mucílago) el cual está libre de aromas y sabores (Ni *et al.*, 2004). Serrano *et al.* (2006) emplearon un gel elaborado a partir de *Aloe vera* para el recubrimiento de uvas de mesa, observando una extensión de la vida útil de las frutas de hasta 35 días comparado con uvas sin recubrir. Además, dicho recubrimiento permitió retener la concentración de ácido ascórbico de las uvas. Por su parte, Martínez-Romero *et al.* (2006) estudiaron el efecto del *Aloe vera* en el recubrimiento de cerezas observando una disminución de los diferentes parámetros responsables de la pérdida de calidad de la fruta, además de excelentes propiedades sensoriales de los recubrimientos (Figura 7).

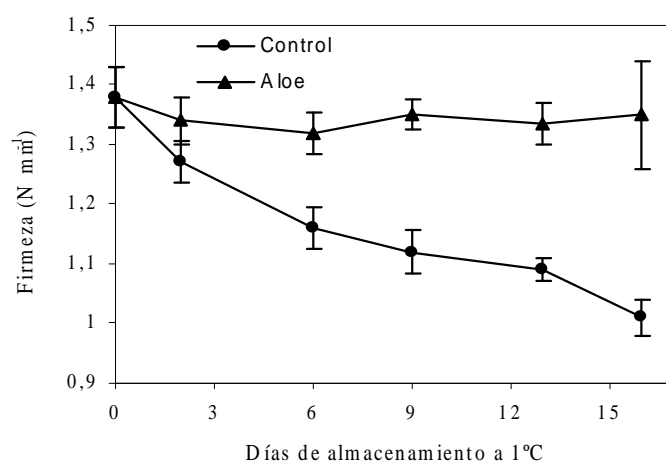


Figura 7.- Cambios de firmeza en cerezas recubiertas con una solución de Aloe vera y almacenadas a 1°C. (Adaptado de Martínez-Romero *et al.* 2006)

Otro mucílago recientemente empleado en la elaboración de RC es el extraído de cactus. Este tipo de mucílago tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, disolverse y dispersarse por sí mismo y formar soluciones viscosas (Dominguez-López, 1995). Del-Valle *et al.* (2005) desarrollaron un recubrimiento comestible a partir de mucílagos de cactus (*O. ficus indica*) con el fin de extender la vida útil de fresas. Este recubrimiento no afectó la calidad sensorial de las frutas recubiertas, manteniendo además su color y firmeza original durante el almacenamiento.

Puré de frutas. Las sustancias pécticas y celulósicas constituyen los polisacáridos primarios en los purés de frutas, siendo la matriz estructural de este tipo de RC. Además, la variedad de azúcares presentes en los purés de frutas funcionan como agentes plastificantes, lo que le confiere un beneficio añadido. El uso de estos recubrimientos es también bastante reciente. McHugh *et al.* (1996) fueron los primeros en desarrollar estas coberturas a partir de frutas como manzana, pera, melocotón y albaricoque, siguiendo las nuevas tendencias de consumo dirigidas a la adquisición de productos más naturales. Los autores señalaron que los recubrimientos de puré de frutas pueden ser usados en sistemas alimenticios, no sólo por sus favorables características sensoriales, sino también por sus propiedades de barrera, las cuales permiten mejorar la calidad del producto y extender su vida útil. Mas adelante, McHugh y Senesi (2000) incorporaron lípidos a coberturas de puré de manzana con el fin de mejorar las propiedades de barrera de los recubrimientos, además de ácido cítrico y ácido ascórbico como inhibidores del oscurecimiento. Observaron que la adición de lípidos a las coberturas de manzana redujo significativamente la permeabilidad de agua, además de mantener el sabor y aroma de las piezas de fruta (Figura 8).

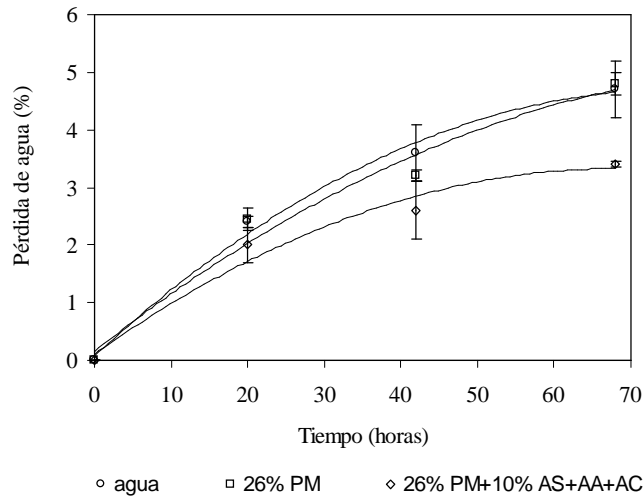


Figura 8.- Pérdida de humedad en trozos de manzana recubiertos con soluciones de agua, 26% de puré de manzana (PM) y 26% de PM + 10% aceite de soja (AS) + 0,5% ácido ascórbico (AA) + 0,5% ácido cítrico (AC) (%p/p), almacenados a 5°C en bandejas recubiertas con plástico. (Adaptado de McHugh y Senesi, 2000).

Recubrimientos comestibles basados en proteínas

Alguno de los estudios que se han realizado con proteínas como base para fabricar RC incluyen: caseína, proteína aislada o concentrada de suero lácteo, gluten de trigo, zeína y proteína de soja, entre otras (Avena-Bustillos y Krochta, 1993; Gagri *et al.*, 2001; Gontard *et al.*, 1993; Sabato *et al.*, 2001; Pérez-Gago *et al.*, 2003).

Caseína. La caseína, una proteína de la leche bastante soluble en agua, puede dar lugar a recubrimientos con buenas propiedades mecánicas, además de no conferir ningún tipo de color u olor diferente del alimento donde se aplica. Debido a su alta permeabilidad al vapor

de agua, necesita de otras sustancias que mejoren sus propiedades de barrera. Por ejemplo, la incorporación de lípidos en recubrimientos de caseína proveen una buena protección para frutas y vegetales contra la pérdida de agua y el pardeamiento oxidativo (Baldwin *et al.*, 1995). LeTien *et al.* (2001) recubrieron trozos de manzanas con coberturas basadas en proteínas de la leche (caseínas) y proteínas provenientes del suero de la leche, estudiando su efectividad en la prevención del oscurecimiento enzimático. Los resultados confirmaron que dichas formulaciones fueron efectivas en retardar las reacciones de oscurecimiento gracias a su actuación como barrera al oxígeno; siendo la película basada en proteína de suero más efectiva que la producida a partir de caseína.

Proteínas de suero. Las proteínas del suero representan el 20% del total de las proteínas presentes en la leche y son consideradas de muy alta calidad. Contienen cinco grupos importantes: Beta-Lacto globulinas, Alpha-lactalbuminas, Inmunoglobulinas, albúmina de serum bovino y proteasa-peptonas (McHugh y Krochta, 1994). Las coberturas hechas a partir de proteínas de suero aisladas poseen alta permeabilidad a los gases y han sido probadas en frutas. Un estudio realizado en manzanas Fuji cubiertas con este tipo de RC indico que dichas coberturas son buenas barreras al intercambio gaseoso (Cisnero-Zevallos y Krochta, 2003). Por su parte, Sonti *et al.* (2003) recubrieron trozos de manzana con concentrado y aislado de proteínas de suero, observando una reducción del pardeamiento enzimático y reducción de las pérdidas de textura durante el almacenamiento. Adicionalmente, Perez-Gago *et al.*, (2006) estudiaron el efecto de diferentes antioxidantes (ácido ascórbico, cisteína y 4-hexylresorcinol) incorporados en un recubrimiento a base de concentrado de proteínas de suero y cera de abejas en el cambio de color de manzana frescas cortadas, observando que la incorporación de ácido ascórbico o cisteína dentro del RC redujo el pardeamiento enzimático de los trozos de manzana comparado con la aplicación de los mismos en soluciones acuosas (Figura 9).

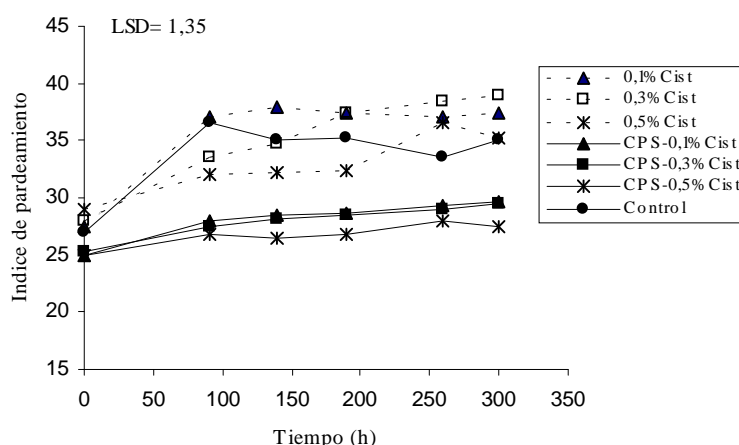


Figura 9.- Efecto del uso de cisteína (Cist) incorporada o no dentro de un RC elaborado a partir de concentrado de proteína de suero (CPS) en el pardeamiento de manzanas frescas cortadas almacenadas a 5°C (Adaptado de Perez-Gago, *et al.*, 2006).

***Zeína.* La zeína es una proteína natural del maíz, insoluble en agua, pero soluble en soluciones acuosas de alcohol, glicerol y esteres de glicerol (Martín-Polo *et al.*, 1992). Posee buenas propiedades para formar coberturas, además de excelentes propiedades de adhesividad y buena barrera al oxígeno, aunque por su elevada hidrofiliidad y fragilidad requieren la adición de agentes plastificantes como el glicerol (Gennadios y Weller, 1991). Park *et al.* (1994) utilizaron zeína de maíz para elaborar coberturas comestibles y las utilizaron para recubrir tomates, obteniendo una reducción de cambios de color, pérdida de peso y firmeza de los frutos.**

Ventajas y desventajas del uso de recubrimientos comestibles

Dentro de las principales ventajas del uso de RC en frutas frescas cortadas se encuentran una mejor retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor, una reducción de la pérdida de agua, una disminución de los desordenes metabólicos durante el período de conservación, una forma de soporte de otros compuestos, una indiscutible reducción en el uso de envases sintéticos y un mantenimiento de la calidad durante el almacenamiento (Nisperos-Carriedo *et al.*, 1992; Park *et al.*, 1994; Sothornvit y Krochta, 2000).

Sin embargo, su utilización también presenta inconvenientes. Una de las principales desventajas del uso de los RC es su grosor, ya que este puede restringir el

intercambio gaseoso durante la respiración de los tejidos, pudiendo causar acumulación de altos niveles de etanol y por ende el desarrollo de malos sabores (El Ghaouth *et al.*, 1992; Howard y Dewi, 1995). Por otro lado, recubrimientos con escasas propiedades de barrera al vapor de agua pueden causar pérdida de peso y de humedad del alimento sobre el que están aplicados, aunque puede prevenirse la condensación de vapor de agua, que puede dar origen al crecimiento microbiano en F&H envasadas (Ben-Yehoshua, 1985). Los RC con buenas propiedades de barrera a los gases pueden dar origen a la respiración anaeróbica e interferir con el proceso normal de maduración (Meheriuk y Lau, 1998). Las coberturas deben permitir el paso de cierta cantidad de oxígeno a través del recubrimiento con el fin de evitar condiciones anaeróbicas y sus negativas consecuencias.

Conclusiones y consideraciones futuras

El uso de RC constituye un nuevo enfoque de conservación para frutas frescas cortadas ya que pueden modificar el intercambio gaseoso del fruto, controlar la pérdida de agua y por ende la deshidratación superficial de los tejidos vivos, ser buenos portadores de agentes conservantes, además de ser una alternativa de envasado natural y biodegradable, lo que lo convierte en una técnica innovadora para la conservación de la calidad y extensión de la vida útil de este tipo de alimento.

Aunque el estudio de RC en frutas mínimamente procesadas ha tenido un creciente auge en los últimos años, el interés se centra actualmente en la búsqueda de compuestos que interaccionen efectivamente con la superficie de la fruta, que permitan una modificación adecuada de los gases internos, y sobre todo, que no interaccionen con las características sensoriales de la fruta en cuestión. En este sentido, deberían llevarse a cabo más estudios relacionados con el efecto de los RC sobre las características sensoriales y nutricionales de las frutas recubiertas, con el fin de minimizar una posible consecuencia negativa sobre las preferencias del consumidor. Si bien, las RC aún no se aplican a escala industrial en frutas cortadas, excepto NatureSeal (NatureSeal, 2006), su empleo constituye un campo prometedor en el área de la conservación y desarrollo de nuevos productos frescos cortados, con propiedades mejoradas a través de los recubrimientos comestibles.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (AGL2003-09208-C03-01), el Fondo Social Europeo y por el Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya (España), quien también otorgó una beca predoctoral al autor Rojas-Graü. Por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) de Venezuela (Proyecto G-2000001538, y el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela.

Referencias

Alzamora SM, Tapia MS, López-Malo A (2000) General overview. In: Minimal Processing of Fruit and Vegetables. Fundamental Aspects and Applications. Alzamora SM, Tapia MS, López-Malo A (eds). pp 1-6. Maryland, USA: Aspen Publishers, Inc.

Assis OB, Pessoa JD (2004) Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruits. Scientific Note, *Braz. J. Food Technol.* 7: 17-22.

Avena-Bustillos RJ, Krochta JM (1993) Water vapor permeability of caseinate-based edible films as affected by pH, calcium crosslinking and lipid content. *J. Food Sci.* 58: 904-907.

Avena-Bustillos RJ, Krotcha J, Salveit ME, Rojas-Villegas R, Saucedo-Pérez JA (1994) Optimization of edible coating formulations on zucchini to reduce water loss. *J. Food Eng.* 21: 197-214.

Ayranci E, Tunc S (1997) Cellulose-based edible films and their effects on fresh beans and strawberries. *Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung A- Food Res. Technol.* 205: 470-473.

Baldwin EA, Nispero-Carriedo MO, Baker RA (1995) Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortSci.* 30: 35-40.

Baldwin EA, Nispero-Carriedo MO, Chen X, Hagenmaier RD (1996) Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. *Post. Biol. Technol.* 9: 151-163.

- Baldwin EA, Nisperos MO, Hagenmaier RD, Baker RA (1997) Use of lipids in coatings for food products. *Food Technol.* 51: 56-63.
- Baldwin EA (1999) Surface treatments and edible coatings in food preservation. In: Handbook of food preservation. Shafiur Rahman (ed.). pp. 615-648. New York: Marcel Dekker.
- Ben-Yehoshua S (1985) Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film- A new postharvest technique. *Horticultural Sci.* 20: 32-36.
- Brancoli N, Barbosa-Cánovas GV (2000) Quality changes during refrigerated storage of packaged apple slices treated with polysaccharide films. In: Innovations in Food Processing. GV Barbosa-Cánovas, GW Gould (eds.). pp. 243-254. Pennsylvania: Technomic, Publishing Co.
- Brody AL, Strupinsky ER, Kline LR (2001) Active Packaging for food applications. pp. 218. Lancaster: Technomic Publishing.
- Bryan DS (1972) Repaired citrus fruit halves. U.S. patent 19,700,102.
- Carrasco EU, Villarroel M, Cevallos LC (2002) Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad sensorial de pimentones verdes (*Capsicum annuum* L.) durante el almacenamiento. *Archivos latinoamericanos de Nutrición* 52: 84-90.
- Carbonell X (1995) La alimentación del Próximo Siglo. Fronteras de la Ciencia y la Tecnología. CSIC, 7. Madrid, España.
- Chien P, Sep F, Yang F (2007) Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *J. Food Eng.* 78: 225-229.
- Cisneros-Zevallos L, Krochta JM (2003) Whey protein coating for fresh fruits and relative humidity effects. *Food Eng. Phy. Proper.* 68: 176-181.
- Debeaufort F, Quezada-Gallo JA, Voilley G (1998) Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Crit. Rev. Food Sci.* 38: 299-313.
- Del-Valle V, Hernández-Muñoz P, Guarda A, Galotto MJ (2005) Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem.* 91: 751-756.

- Diab T, Biliaderis CG, Gerasopoulos D, Stakiotakis E (2001) Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *J. Sci. Food Agr.* 81: 988-1000.
- Díaz-Sobac R, Beristain C, Vernon-Carter E (2001) Water vapor permeability of an emulsion coating of maltodextrin and surfactants. *J. Food Process. Pres.* 25: 25-34.
- Dominguez-López A (1995) Review: use of the fruit and stems of the prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) into human food. *Food Sci. Technol. Int.* 1: 65-74.
- Donhowe IG, Fennema O (1994) Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions and testing methods. In: Edible coatings and films to improve food quality. JM Krochta, EA Baldwin, M Nisperos-Carriedo (eds.). pp 1-24. Lancaster: Technomic Publishing Co.
- El Ghaouth A, Arul J, Grenier J, Asselin A (1992) Antifungal activity of chitosan on two postharvest pathogens of strawberry fruits. *Phytopathology*, 82: 398-402.
- Feng, X., Biasi, B., Mitcham, E.J. 2004. Effects of various coatings and antioxidants on peel browning of “Bartlett” pears. *J. Sci. Food Agriculture*. 84(6): 595-600.
- Gagri A, Ustunol Z, Ryser ET (2001) Antimicrobial, mechanical, and moisture barrier properties of low pH whey protein-based edible films containing p-aminobenzoic or sorbic acid. *J. Food Sci.* 66: 865-911.
- García MA, Martino MN, Zaritzky N (1998) Starch-based coatings: effect on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *J. Food. Agric.* 76: 411-420.
- García MA, Martino MN, Zaritzky NE (2000) Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *J. Food Sci.* 65: 941-947.
- Gennadios A, Weller CL (1991) Edible films and coatings from soymilk and soy protein. *Cereal Foods World* 36: 1004.
- Gennadios A, McHugh TH, Weller CL, Krochta JM (1997) Edible coating and films based on proteins. In: Edible coatings and films to improve food quality. JM

- Krochta, EA Baldwin, M Nisperos-Carriedo (eds.). pp 201-277. Lancaster: Technomic Publishing Co.
- Gontard N, Guilbert S, Cuq JL (1993) Water and glycerol as plasticizer affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *J. Food Sci.* 58: 206-211.
- Guilbert S (1988) Use of superficial edible layer to protect intermediate moisture foods: application to the protection of tropical fruit dehydrated by osmosis. In: Food preservation by moisture control. CC Seow (ed.). pp. 119-219. London: Elsevier.
- Guilbert S, Biquet B (1996) Edible films and coatings. In: Food Packaging Technology. G Bureau, JL Multon (eds.). New York: VCH Publishers, Inc.
- Gontard N, Guilbert S (1992) Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. In: Food Packaging and Preservation. M Mathlouthi (ed.). pp 159-180. London: Chapman & Hall.
- Gontard N, Thibault R, Cuq B, Guilbert S (1996) Influence of relative humidity and film composition of oxygen and carbon dioxide permeabilities of edible films. *J. Agric. Food Chem.* 44: 1064-1069.
- Gorris LGM, Peppelenbos HW (1992) Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. *HortTechnology*, 2: 303-309.
- Howard LR, Dewi T (1995) Sensory, microbiological and chemical quality of mini-peeled carrots as affected by edible coating treatment. *J. Food Sci.* 60: 142-144.
- Jiang Y, Li Y (2001) Effects of chitosan on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chem* 73: 139-143.
- Kester JJ, Fennema O (1986) Edible films and coatings: a review. *Food Technol.* 40: 47-59.
- Kim CT, Lee SJ, Cho YJ, Kim CJ, Shin WS, Choi AJ (2001) Characteristics of antimicrobial edible films from cellulose-based materials incorporated with propolis extracts. IFT Annual Meeting Technical Program Abstracts 73D.

- King AH (1983) Brown seed extracts (Alginates). *Food Hydrocolloids*. 2: 115-188.
- Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth H (2004) The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *Int. Dairy J.* 14: 737-743.
- Krochta JM, Mulder-Johnston C (1997) Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technol.* 51: 60-74.
- Kvam B (1987) Conformational conditions and ionic interactions of charged polysaccharides. Application of NMR techniques and the Poisson-Boltzmann equation, Thesis, Norwegian Institute of technology, Trondheim.
- Lanciotti R, Corbo MR, Gardini F, Sinigaglia M, Guerzoni ME (1999) Effect of hexanal on the shelf-life of fresh apple slices. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4769-4775.
- Lee JY, Park HJ, Lee CY, Choi WY (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 36: 323-329.
- LeTien C, Vachon C, Mateescu MA, Lacroix M (2001) Milk protein coating prevent oxidative browning of apples and potatoes. *J. Food Sci.* 66: 512-516.
- Mancini F, McHugh TH (2000) Fruit-alginate interactions in novel restructured products. *Nahrung* 44: 152-157.
- Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny RC, Baldwin E (2005) Conservación mediante recubrimientos comestibles. En: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. G González-Aguilar, A Gardea, F Cuamea-Navarro (eds.). pp. 341-356. México: CIAD.
- Martin-Polo M, Manguin C, Volley A (1992) Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *J. Agric. Food Chem.* 40: 407-412.
- Martínez-Romero D, Albuquerque N, Valverde JM, Guillén F, Castillo S, Valero D, Serrano M (2006) Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by

Aloe Vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biol. Technol.* 39: 93-100.

Mattheis J, Fellman JK (2000) Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities. *HortTechnology*, 10: 507-510.

McHugh TH. (2000) Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung* 44 : 148-151.

McHugh TH, Krochta JM (1994) Milk-protein-based edible films and coatings. *Food Technol.* 48: 97-103.

McHugh TH, Huxsoll CC, Krochta JM (1996) Permeabilities properties of fruit puree edible films. *Food Sci.* 61: 88-91

McHugh TH, Senesi E (2000) Apple wraps: a novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *J. Food Sci.* 65: 480-485.

Meheriuk M, Lau OL (1998) Effect of two polymeric coating on fruits quality of 'Barlett' and 'd'Anjou pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 222-226.

Mei Y, Zhao Y, Yang J, Furr HC (2002) Using edible coating to enhance nutritional an sensory qualities of baby carrots. *J. Food Sci.* 67: 1964-1968.

NatureSeal, 2006. <http://www.natureseal.com>

Ni Y, Turner D, Yates KM, Tizard I (2004) Isolation and characterization of structural components of Aloe Vera L. leaf pulp. *Int. Immunopharmacol.* 4: 1745-1755.

Nisperos-Carriedo MO, Baldwin EA, Shaw PE (1992) Development of an edible coating for extending postharvest life of selected fruits and vegetables. Proceeding at the annual meeting of Florida State Horticultural Society 104: 122-125.

Nisperos-Carriedo MO (1994) Edible coatings and films based on polysaccharides. In: Edible coatings and films to improve food quality. JM Krochta, EA Baldwin, M Nisperos-Carriedo (eds.). pp. 305-355. Lancaster: Technomic Publishing Co.

- Nussinovitch A (1997) Agricultural uses of hydrocolloids. In: Hydrocolloid applications: Gum technology in the food and other industries. pp. 169-189. London: Blackie Academic and Professional.**
- Olivas GI, Rodríguez JJ, Barbosa-Cánovas GV (2003) Edible coatings composed of methylcellulose, stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges. *J. Food Process.Preserv.* 27: 299-320.**
- Olivas GI, Barbosa-Cánovas GV (2005) Edible coating for fresh-cut fruits. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 45: 657-670.**
- OMS. Organización Mundial de la Salud (2003) Dieta, Nutrición y Prevención de Enfermedades Crónicas. Informe de una Consulta Mixta de Expertos de OMS/FAO sobre Régimen Alimentario, Nutrición y Prevención de Enfermedades Crónicas. OMS, Serie de Informes Técnicos 916. ISBN 92 4 320916 7.
- OMS/FAO (2005) Un marco para la promoción de frutas y verduras a nivel nacional. Versión española. Traducción por la Organización Panamericana de la Salud del Primer taller sobre "Frutas y Verduras para la Salud". Centro del la OMS. Kobe, Japón, 1-3 septiembre 2004. Ediciones de la OMS, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.
- OMS (2004) Estrategia Global de Alimentación Saludable, Actividad Física y Salud. World Health Assembly resolution WHA57.17_Eighth plenary meeting, 22 May 2004.
- Park HJ, Chinnan MS, Shewfelt RL (1994) Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *J. Food Sci.* 59: 568-570.**
- Park HJ (1999) Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends Food Sci. Technol.* 10: 254-260.**
- Pavlath AE, Wong DSW, Kumosinski TF (1993) New coatings for cut fruits and vegetables. *Chemtech* 23: 36-40.**
- Pérez-Gago MB, Serra M, Alonso M, Mateos M, DelRío MA (2003) Effect of solid content and lipid content of whey protein isolate-beeswax edible coatings on color change of fresh-cut apples. *J. Food Sci.* 68: 2186-2191.**
- Pérez-Gago MB, Serra M, DelRío MA (2004) Efecto de recubrimientos comestibles a base de proteína de suero lácteo y antioxidantes en la vida útil de manzanas**

cortadas en fresco. Livro de Actas. IV Simposio Ibérico, I Nacional, VII Español de Maturação e Pós-Colheita. Frutos e hortícolas. Oeiras, 6-9 Outubro, Portugal, pp:237-241.

Perez-Gago MB, Serra M, DelRío MA (2006) Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coating. *Postharvest Biol. Technol.* 39: 84-92.

Pizzocaro F, Toregiani D, Gilardi G (1993) Inhibition of apple polyphenol oxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *J. Food Process Preserv.* 17: 21-30.

Rhim JW (2004) Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 37: 323-330.

Rodríguez F, Tapia MS, Ramírez J, Rodríguez C (2005) Incorporación de *Bifidobacterium lactis* Bb-12 en una cobertura comestible para papaya a base de alginato. LV Convención Anual de AsoVAC. Facultad de Ciencias, UCV. Caracas. Noviembre 2005.

Rojas-Graü MA, Tapia MS, Rodríguez FJ, Carmona AJ, Martín-Belloso O (2006) Alginate and gellan based edible coatings as support of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apple. *Food Hydrocolloids*, in press.

Romojaro F, Riquelme F, Pretil T, Martínez G, Serrano M, Martínez C, Lozano P, Segura P, Luna P (1996) Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas: atmósferas modificadas. Madrid, España: Editorial Mundi Prensa.

Rupasinghe HP, Boulter-Bitzer J, Ahn T, Odumeru J (2006) Vanillin inhibits pathogenic and spoilage microorganisms in vitro and aerobic microbial growth in fresh-cut apples. *Food Res. Intern.* 39, 575-580.

Sabato SF, Ouattara B, Yu H, D'Aprano G, Le Tien C, Mateescu MA, Lacroix M (2001) Mechanical and barrier properties of crosslinked soy and whey protein based films. *J. Agric. Food Chem.* 49: 1397-1403.

Schlimme DV (1995) Marketing lightly processed fruits and vegetables. *Hortscience* 30: 15-17.

- Serrano M, Valverde JM, Guillén F, Castillo S, Martínez-Romero D, Valero D (2006) Use of aloe vera gel coating preserves the functional properties of table grapes. *J. Agric. Food Chem.* 54: 3882-3886.
- Skandamis PN, Nychas GJE (2000) Development and evaluation of a model predicting the survival of *Escherichia coli* O157:H7 NCTC 12900 in homemade eggplant salad at various temperatures, pHs and oregano essential oil concentrations. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 1646-1653.
- Soliva-Fortuny RC, Lluch MA, Quiles A, Grigelmo-Miguel N, Martín-Belloso O (2003) Evaluation of textural properties and microstructure during storage of minimally processed apples. *J. Food Sci.* 68: 312-317.
- Son SM, Moon KD, Lee CY (2001) Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chem.* 73: 23-30.
- Sonti S, Prinyawiwatkul W, McWatters KH (2003) A survey on consumer attitude and perception of fresh-cut fruits and vegetables with or without edible coating. IFT Annual Meeting Technical Program Abstracts, 76C-16.
- Sothornvit R, Krochta JM (2000) Plasticizer effect on oxygen permeability of B-lactoglobulin films. *J. Agric. Food Chem.* 48: 6298-6302.
- Stuchell YM, Krotcha JM (1994) Enzymatic treatments and thermal effects on edible soy protein films. *J. Food Sci.* 59: 1332-1337.
- Suppakul P, Miltz J, Sonneveld K, Bigger S (2003) Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *J. Food Sci.* 68: 408-420.
- Tapia MS, Rodríguez FJ, Rojas-Graü MA, Martín-Belloso O (2005) Formulation of alginate and gellan based edible coatings with antioxidants for fresh-cut apple and papaya. IFT Technical Program Abstracts, Paper 36E-43 - Annual Meeting, New Orleans, USA.
- Thakur BR, Singh RK, Handa AK (1999) Chemistry and uses of pectin - A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 37: 47-73.
- Turhan KN, Sahbaz A, Güner A (2001) A spectrophotometric study of hydrogen bonding in methylcellulose-based edible films plasticized by polyethylene glycol. *J. Food Sci.* 66: 59-62.

- Vachon C, Aprano GD, Locroix M, Letendre M (2003) Effect of edible coating process and irradiation treatment of strawberry *fragaria spp.* on storage-keeping quality. *J. Food Sci.* 68: 608-612.
- Wiley RC (1997) Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. pp. 15-60. España: Acribia.
- Wong DWS, Tillin SJ, Hudson JS, Pavlah AE (1994) Gas exchange in cut apples with bilayer coatings. *J. Agric. Food. Chem.* 42: 2278-2285.
- Yang L, Paulson AT (2000) Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films. *Food Res. Int.* 33: 563-570.
- Zhang D, Quantick PC (1997) Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis Sonn.*) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 12: 195-202.
- Zhang D, Quantick PC (1998) Antifungal effects of chitosan coating on fresh strawberries and raspberries during storage. *J. Horticul. Sci. Biotechnol.* 73: 763-767.

OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesis fue evaluar el efecto de distintas sustancias de origen natural en la conservación de manzana Fuji fresca cortada. Para tal fin fue necesario determinar el tipo y concentración de los antioxidantes empleados así como el estado óptimo de madurez requerido para el procesamiento de la fruta. Una vez establecidos estos parámetros, la investigación se centró en evaluar el uso de recubrimientos comestibles como método de conservación alternativo y soporte de sustancias estabilizantes. Para la consecución de este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto individual y combinado de distintos antioxidantes en la prevención del pardeamiento de manzana Fuji fresca cortada.
- Determinar el estado óptimo de madurez de la manzana Fuji para ser sometida a operaciones de procesado mínimo.
- Formular y evaluar la capacidad de distintas películas comestibles para formar una matriz que actúe como barrera a los gases y al vapor de agua, además de servir como transporte de aditivos.
- Estudiar el efecto del empleo de recubrimientos comestibles conteniendo agentes antioxidantes y antimicrobianos de origen natural sobre aspectos fisiológicos, físico-químicos, microbiológicos y sensoriales de manzana Fuji fresca cortada.
- Evaluar el efecto sinérgico del empleo de recubrimientos comestibles y sustancias antioxidantes y antimicrobianas de origen natural sobre la vida útil de manzana fresca cortada.