

# APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A PRODUCTOS SOMETIDOS A DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Tesis doctoral presentada por

Edgar Mario Soteras

ante el Departamento de Ingeniería Química,  
Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Nacional de La Plata  
para acceder al grado académico de  
DOCTOR EN INGENIERIA



Dirección de tesis:

Directora: Dra. Laura Campañone

Sub-directora: Dra. Anabel Rodríguez

La Plata, Abril 2019



El presente trabajo de tesis para la obtención del título de Doctor en Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata fue realizado en la Facultad de Ingeniería (UNLP) y en el Centro de Investigación y Desarrollo en Crioteología de Alimentos-CIDCA (CONICET-UNLP).

Para la realización del doctorado se dispuso de BECA DOCTORAR EN INGENIERÍA, otorgada por el MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA, CIENCIA Y TECNOLOGÍA (MECCYT), SECRETARÍA DE POLÍTICAS UNIVERSITARIAS (SPU, Res. SPU N° 2372/12 y 2154/14) en el marco del Proyecto Doctorar Ingeniería.

## AGRADECIMIENTOS

*Quisiera expresar mis agradecimientos...*

*A la Dra. Laura Campañone por el estímulo, paciencia y ayuda que me brindó durante este tiempo, permitiéndome desarrollar el trabajo de tesis de manera simple y agradable.*

*A la Dra. Anabel Rodríguez, por brindarme su confianza y asesoramiento en todas las etapas de mi carrera doctoral.*

*A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata por dejarme ser parte de su comunidad y realizar el Doctorado en Ingeniería.*

*A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis por permitir desempeñarme libremente en mis actividades de formación.*

*A la Dra. Myriam Grzona por su apoyo y aliento incondicional en mi formación académica.*

*A la Secretaria de Políticas Universitarias por el apoyo económico necesario para la realización de este posgrado.*

*Al Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA-CONICET) por permitirme utilizar los equipos para el avance de las experiencias de laboratorio.*

*A todo el personal del CIDCA por su compañerismo y cariño, además de compartir sus conocimientos que me ayudaron a seguir adelante con el desarrollo de mi trabajo.*

*A mi familia, quienes me inculcaron a seguir siempre adelante y darme su amor incondicionalmente.*

*A mi padre Miguel, que siempre está en mi corazón.*

*A mis amigos de la vida y familiares, por apoyarme y estar siempre en cada momento.*

*¡Muchas Gracias!  
Marito*

Dedicado a mi familia, a Teresa y Miguel los mejores padres

¡Gracias por ser la luz en mi camino, los amo!

# APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A PRODUCTOS SOMETIDOS A DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

## Resumen

La deshidratación osmótica (DO) se produce mediante el contacto del alimento con una solución acuosa concentrada de azúcares, sales o alcoholes. Como consecuencia, se produce una salida de agua y de sustancias propias del alimento hacia la solución, mientras que los solutos de la misma son incorporados al alimento. Un problema que se observa en la DO de ciertas frutas y vegetales, es la incorporación de grandes cantidades de soluto, impartiendo características sensoriales que no siempre son deseables para el consumidor. Con este fin, uno de los más novedosos desarrollos, es la aplicación de recubrimientos comestibles actuando como barrera al ingreso de solutos. En la actualidad, existen pocos trabajos sobre esta temática, por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo de tesis generarían un importante aporte para la industria de los alimentos. El objetivo del presente trabajo comprende el estudio de la aplicación de recubrimientos comestibles de alginato de sodio y de pectina de bajo metoxilo en productos frutihortícolas tales como peras y frutillas, en particular peras variedad *Packham's Triumph* y frutillas variedad *Fragaria Ananassa*, con el fin de evaluar la capacidad de barrera para impedir o reducir la incorporación de solutos durante el proceso de inmersión.

En una primera instancia, se buscó caracterizar los hidrogeles comestibles (HC) por resistencia mecánica y ensayos de DO como sistema único (40 y 60 °Brix a 40°C). En segunda instancia, cubos de peras fueron sometidos a DO en soluciones hipertónicas de diferentes agentes osmóticos (sacarosa, glucosa y maltodextrina) bajo diferentes concentraciones (40 y 60 °Brix) y temperaturas (20 y 40°C). En una tercera instancia, se buscó extrapolar los mejores resultados obtenidos en pera a frutillas.

El análisis de los resultados se realizó en términos de la pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), sólidos solubles (SS) y ganancia de sólidos (SG). Por último, se realizaron ensayos de determinación de textura, cambios de color ( $\Delta E$ ), microestructura, nutricionales y sensoriales.

Los resultados sobre la caracterización de los hidrogeles comestibles (HC) mostraron una fácil y rápida formación de los mismos. Se pudo establecer que las combinaciones de Pectina de bajo metoxilo (PBM) al 3%-Lactato de calcio (LC) al 5% (Combinación denominada Pec) y Alginato de sodio (AS) al 2%-LC al 5% (Combinación denominada Alg), presentaron la mayor resistencia mecánica basada en la firmeza. El empleo de estas concentraciones generó hidrogeles que permitieron sustentabilidad durante la deshidratación osmótica (DO). Los resultados obtenidos en las cinéticas de pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) para los HC deshidratados osmóticamente, mostraron que la Pec proporciona mayores tasas de WL en comparación a Alg. Además, para las condiciones ensayadas, se observó que ambos hidrogeles generaron un rápido estancamiento en la captación de soluto, lo cual se atribuye al efecto barrera proporcionado por los mismos.

La aplicación de los recubrimientos en cubos de pera mostró, un apreciable grado de deshidratación, que con el incremento de la concentración de las soluciones, no sólo mejoró la WL, sino que también aumentó el factor de eficiencia de la deshidratación (ED) y el efecto barrera de los recubrimientos sobre el ingreso de los sólidos solubles. De todas las condiciones de procesamiento estudiadas, el efecto barrera de los recubrimientos fue significativo con la mayor concentración de los agentes osmodeshidratantes (60 °Bx), independientemente de la temperatura utilizada. Cuando se utilizó jarabe de glucosa como agente osmodeshidratante se obtuvieron altos valores de WL y bajos valores de SG en comparación a sacarosa. Para el caso de maltodextrina cuando se aumentó la temperatura se generó un aumento importante en la WL, siendo las muestras de Alg quienes presentaron mayores valores.

En los análisis de textura, en general, la conservación de la firmeza se atribuyó principalmente a la distribución de los azúcares dentro del producto y a la presencia de iones calcio. Estos últimos, forma complejos con la pared celular y la pectina de la laminilla media, mejorando la integridad estructural y promoviendo una mayor firmeza en el tejido de las frutas osmodeshidratadas. Estos resultados demuestran que la aplicación de recubrimientos comestibles permitiría disminuir el daño de los tejidos vegetales por DO y aumentar la firmeza de las muestras por la presencia de iones calcio contrarrestando el efecto de ablandamiento generado por la DO con las soluciones utilizadas.

En cuanto al cambio de color ( $\Delta E$ ), las muestras de peras sin y con recubrimiento, mostraron que la implementación de los recubrimientos permitió una buena conservación del color cuando se aplicó el tratamiento osmótico.

En el análisis microestructural, se pudo constatar la presencia del revestimiento de Alg y de Pec sobre los cubos deshidratados y se observó la presencia de grietas de mayor tamaño y mayor colapso estructural para Pec luego de la DO.

Los cambios a nivel nutricional generados por los tratamientos aplicados, presentaron una reducción significativa del contenido de polifenoles, pudiendo estar asociado a la lixiviación de sustancias propias del alimento producida en la DO. Las muestras revestidas con Alg presentaron la mayor conservación de polifenoles respecto a Pec. Las proporciones en el contenido de polifenoles se asociaron a su capacidad antioxidante, demostrando que los polifenoles no son alterados por el tratamiento, solo disminuyen en su cantidad.

Del análisis sensorial, se encontró que la aceptabilidad general para las muestras recubiertas fue superior a un 70%, demostrando que los recubrimientos podrían ser aplicados sin generar problemas de rechazo en los consumidores.

Las mejores condiciones que se encontraron en frutilla fueron DO 60 °Bx y 40°C utilizando el recubrimiento Alg. En cuanto al procesamiento de esta fruta, la aplicación del recubrimiento de Alg no tuvo efecto positivo en cuanto a la reducción de la SG. Estos resultados permiten suponer que la aplicación de recubrimiento es dependiente de la matriz a deshidratar.

Finalmente, se observa que la aplicación de Pec y Alg como recubrimientos tiene ventajas considerables en la DO y en la conservación de parámetros texturales, de calidad, nutricionales y sensoriales de peras procesadas osmóticamente.

## ÍNDICE

1. Introducción a la Deshidratación Osmótica .....	- 8 -
1.1. Importancia del tema.....	- 8 -
1.1.1. Aplicación del proceso de Deshidratación Osmótica.....	- 8 -
1.1.2. Técnicas de secado y deshidratación.....	- 10 -
1.1.3. Tendencias actuales en Deshidratación Osmótica.....	- 11 -
1.1.4. Aplicación de recubrimientos comestibles en Deshidratación Osmótica.....	- 12 -
1.2. Enfoque teórico de la Deshidratación Osmótica .....	- 14 -
1.2.1. Transferencia de materia durante la Deshidratación Osmótica .....	- 15 -
1.2.2. Factores que afectan el proceso osmótico .....	- 17 -
1.3. Introducción a los recubrimientos comestibles en la Deshidratación Osmótica .....	- 20 -
1.3.1. Recubrimientos comestibles.....	- 20 -
1.3.2. Factores relevantes en la aplicación de los recubrimientos comestibles .....	- 21 -
1.3.3. Materiales para recubrimientos comestibles .....	- 23 -
1.3.3.1. Alginato de sodio .....	- 24 -
1.3.3.2. Pectina .....	- 25 -
1.3.4. Mecanismos de formación de recubrimientos comestibles.....	- 27 -
1.3.4.1. Formación de hidrogeles para RC y PC .....	- 28 -
1.3.4.2. Propiedades de los recubrimientos comestibles .....	- 30 -
1.4. Frutas.....	- 32 -
1.4.1. Frutas: tendencias saludables .....	- 32 -
1.4.1.1. Peras ( <i>Pyrus communis</i> ) .....	- 33 -
1.4.1.2. Producción de peras .....	- 36 -
1.4.1.3. Frutillas ( <i>Fragariae</i> ) .....	- 37 -
1.4.1.4. Producción de frutillas .....	- 38 -
1.5. Objetivos .....	- 40 -
1.5.1. Objetivo general.....	- 40 -
1.5.2. Objetivos específicos.....	- 41 -
1.5.3. Hipótesis.....	- 41 -
2. Materiales y Métodos.....	- 43 -
2.1. Materiales.....	- 43 -
2.1.1. Frutos seleccionados .....	- 43 -
2.1.2. Selección y características de los materiales de recubrimiento.....	- 44 -



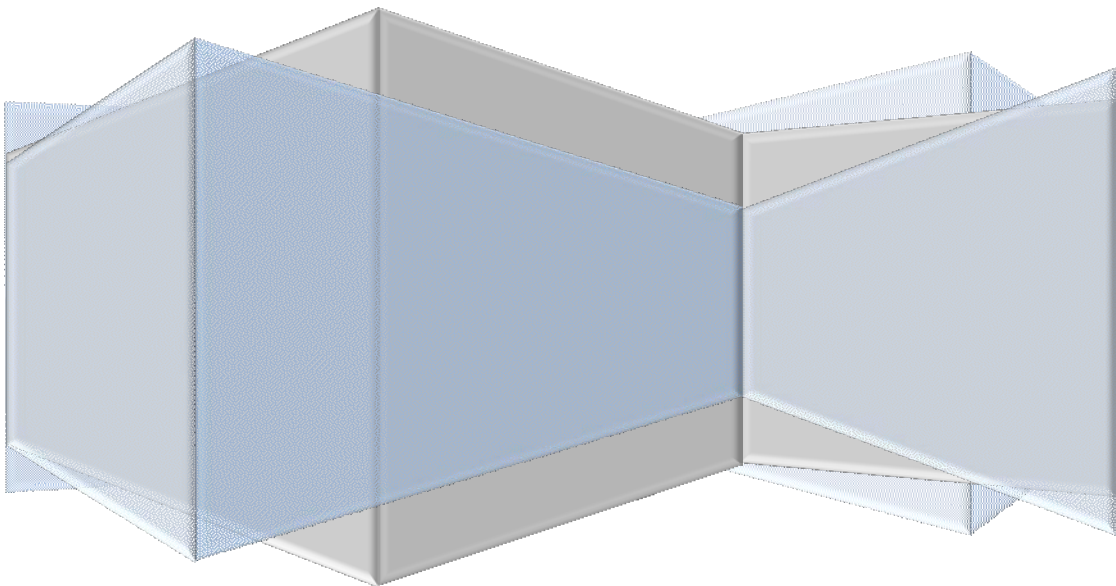
2.1.3. Selección y características de los agentes osmóticos para la Deshidratación Osmótica (DO)	- 45 -
2.2. Metodología	- 45 -
2.2.1. Caracterización de los hidrogeles	- 45 -
2.2.2. Comportamiento de los hidrogeles durante la DO	- 48 -
2.2.3. Preparación y aplicación de los recubrimientos en las muestras	- 48 -
2.2.4. Deshidratación Osmótica (DO)	- 49 -
2.2.5. Determinaciones de los parámetros fisicoquímicos y de calidad de las muestras osmodeshidratadas	- 50 -
2.2.5.1. Determinación de la humedad	- 50 -
2.2.5.2. Determinación de sólidos solubles	- 50 -
2.2.5.3. Cálculo y expresión de resultados	- 51 -
2.2.5.4. Determinación de color antes de la DO	- 52 -
2.2.5.5. Determinación de color después de la DO	- 52 -
2.2.5.6. Determinación de textura	- 53 -
2.2.5.7. Determinación de la microestructura	- 54 -
2.2.5.8. Análisis de los compuestos funcionales	- 54 -
2.2.5.9. Análisis sensorial	- 55 -
2.2.5.10. Análisis estadístico	- 56 -
3.1. Caracterización de la deshidratación osmótica de hidrogeles: Generalidades	- 58 -
3.2. Caracterización mecánica de los hidrogeles	- 58 -
3.3. Deshidratación Osmótica (DO) de los hidrogeles seleccionados	- 62 -
4.1. Cinética de deshidratación osmótica de frutas recubiertas	- 79 -
4.1.1. Generalidades	- 79 -
4.1.2. Deshidratación osmótica de peras	- 79 -
4.1.2.1. Cinéticas de deshidratación osmótica de peras con sacarosa	- 79 -
4.1.2.2. Comparación de resultados en Sacarosa	- 87 -
4.1.2.3. Cinéticas de deshidratación osmótica de peras con jarabe de glucosa	- 89 -
4.1.2.4. Comparación de resultados en jarabe de glucosa	- 97 -
4.1.2.5. Cinéticas de deshidratación osmótica de peras con maltodextrina	- 99 -
4.1.2.6. Comparación de resultados en maltodextrina	- 105 -
5.1. Resultados en los atributos de calidad	- 109 -
5.1.1. Generalidades	- 109 -
5.2. Cambios de textura con la deshidratación osmótica	- 109 -

5.2.1. Cambios texturales producidos durante la DO con soluciones de sacarosa .....	- 109 -
5.2.2. Comparación de la textura en sacarosa .....	- 118 -
5.2.3. Cambios texturales producidos durante la DO con soluciones de jarabe de glucosa....	- 120 -
5.2.4. Comparación de la textura en jarabe de glucosa .....	- 126 -
5.2.5. Cambios texturales producidos durante la DO con soluciones de maltodextrina .....	- 128 -
5.2.6. Comparación de la textura en maltodextrina.....	- 133 -
5.3. Cambio de color .....	- 134 -
5.3.1. Cambio de color antes de la DO en muestras frescas y recubiertas .....	- 134 -
5.3.2. Cambio de color después de la DO en soluciones de sacarosa .....	- 136 -
5.3.3. Comparación del $\Delta E$ en sacarosa .....	- 139 -
5.3.4. Cambios de color después de la DO en soluciones de jarabe de glucosa.....	- 140 -
5.3.5. Comparación del $\Delta E$ en jarabe de glucosa .....	- 142 -
5.3.6. Cambios de color después de la DO en soluciones de maltodextrina .....	- 143 -
5.3.7. Comparación del $\Delta E$ en maltodextrina.....	- 145 -
6.1. Microestructura .....	- 149 -
6.2. Compuestos funcionales.....	- 154 -
6.3. Análisis sensorial .....	- 157 -
6.4. Estudios en otra matriz: Frutilla.....	- 160 -
6.4.1. Deshidratación osmótica de frutillas: efecto de forma .....	- 160 -
6.4.2. Cinéticas de deshidratación osmótica de frutillas con sacarosa .....	- 165 -
7.1. Conclusiones .....	- 170 -
7.2. Proyecciones futuras .....	- 174 -
Nomenclatura .....	- 175 -
Referencias bibliográficas.....	- 177 -
Transferencias científicas.....	- 201 -
Anexos.....	- 204 -
A. Cinéticas de deshidratación de hidrogeles comestibles.....	- 204 -
B. Cinéticas de deshidratación de cubos de peras con recubrimientos comestibles.....	- 207 -
C. Valores-p en variación de textura.....	- 217 -
D. Valores-p en variación de color.....	- 218 -
E. Planilla evaluación sensorial.....	- 220 -

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN A LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

**Edgar Mario Soteras**



## **1. Introducción a la deshidratación osmótica**

### **1.1. Importancia del tema**

El proceso de deshidratación e impregnación por inmersión consiste en poner en contacto el alimento a tratar con una solución acuosa concentrada, en algunos casos de azúcares, sales o alcoholes. Como consecuencia, se produce una salida de agua y de sustancias propias del alimento hacia la solución, mientras que los solutos de la misma son incorporados al alimento (Rastogi y col. 2002; Marani y col. 2002; Agnelli y col. 2005; Arballo y col. 2010a; Arballo y col. 2010b; Silva y col. 2012; Ketata y col. 2013; Souraki y col. 2014; Knoche y col. 2015; Ciurzynska y col. 2016; Ahmed y col. 2016). De esta forma, se reduce la actividad acuosa del alimento y se reducen las reacciones químicas de deterioro y el crecimiento microbiano tanto de patógenos como alteradores organolépticos. Con respecto a la fabricación de productos a base de frutas, la deshidratación osmótica posee la ventaja de posibilitar la eliminación de agua, sin cambio de fase, permitiendo economizar significativamente el uso de energía (Luchese y col. 2015; Ahmed y col. 2016).

#### **1.1.1. Aplicación del proceso de Deshidratación Osmótica**

La deshidratación osmótica (DO) ha generado, en los últimos años, una gran expectativa en su aplicación dado que crea enormes oportunidades de elaboración de productos y alternativas de procesamiento para productos mínimamente procesados (frutas confitadas) y para la obtención de aquellos más elaborados (mermeladas, helados). Además, está ganando popularidad como un proceso complementario en la cadena de procesamiento de alimentos en la industria alimentaria debido a su calidad y ventajas relacionadas con los costos operativos (Azarpazhooh & Ramaswamy 2010).

Las frutas y verduras son componentes importantes de la dieta diaria, sin embargo, son altamente perecederos especialmente cuando se pelan, se cortan y se preparan para el consumo. Por lo tanto, es necesario aplicar tecnologías de conservación para prolongar su vida útil, tal como la deshidratación osmótica. Este proceso no solo permite lograr mayor eficiencia en procesos combinados, sino que también el producto a procesar puede enriquecerse con componentes valiosos que no siempre están presentes de forma natural en

la materia prima, lo que lo hace más atractivo para el consumidor y puede lograr beneficios a la salud.

Gran parte de las frutas y hortalizas permiten el empleo de la deshidratación osmótica para su conservación, ya que poseen una estructura celular que puede actuar como membrana semipermeable, principalmente aquellas que poseen un porcentaje entre 5% y 18% de sólidos disueltos en su interior como ácidos, minerales, vitaminas, azúcares, etc. Existen varios estudios que demuestran la eficacia de la deshidratación osmótica en manzana, banana, piña, arándanos, pomelo, mango, guayaba, pera, kiwi, frutillas, higos y de vegetales como papa, tomate, cebolla y otros (Montoya & Quintero 1999; Parzanese 2010; Nieto y col. 2013; Derossi y col. 2015; Da Costa Ribeiro y col. 2016). Existen numerosos estudios sobre ésta técnica que buscan optimizar el proceso mediante la aplicación de soluciones osmóticas de mezclas de solutos, tiempos de inmersión variables, distintas temperaturas de operación, entre otros (Parzanese 2010).

La DO posee numerosas ventajas en su aplicación (Parzanese 2010; Rastogi y col. 2014; Chandra & Kumari 2015), las cuales son:

- ◆ Costos energéticos reducidos debido a la aplicación de temperaturas relativamente bajas.
- ◆ No se producen cambios de fase del agua contenida en el alimento durante el proceso.
- ◆ El color, aroma, sabor y textura del alimento se modifican mínimamente, dependiendo de las variables operativas (bajas temperaturas, tiempos cortos de procesamiento, entre otras).
- ◆ En la mayoría de los casos no se requiere de tratamientos químicos previos.
- ◆ Aumenta la vida útil del alimento, ya que disminuye su actividad de agua e inhibe el crecimiento de microorganismos.
- ◆ Al reducir el contenido de agua disminuye el peso del producto, lo cual reduce los costos de empaque y transporte.

La DO permite obtener productos de humedad intermedia, los cuales pueden ser tratados posteriormente por otros métodos. Esta combinación permite aumentar la vida útil y mejorar las características sensoriales de los productos tratados. Requiere equipos de bajo costo y las sustancias utilizadas como solutos son de origen natural y de fácil adquisición

en el mercado (sacarosa, glucosa, fructosa, entre otras), permitiendo que pequeños productores puedan acceder a ella debido a los bajos costos de inversión (Montoya & Quintero 1999).

Todavía existen algunas limitaciones para ampliar la tecnología de deshidratación osmótica. Los principales inconvenientes son la alta viscosidad de la solución osmótica (aumenta la resistencia a la transferencia de masa) y la diferencia de densidad entre el sólido y la solución, por esto, el producto flota y se requieren medios mecánicos adicionales para mantenerlo inmerso. La principal limitación es el costo de la solución osmótica, que requiere un medio adecuado para su reutilización. La eliminación de la solución osmótica tiene graves implicaciones económicas, medioambientales y tecnológicas (Rastogi y col. 2014).

### **1.1.2. Técnicas de secado y deshidratación**

El secado para la preservación de alimentos, a través de la reducción del contenido de humedad y la disminución de la actividad de agua hasta niveles seguros, prolongando la vida útil y aumentando su valor agregado, se ha practicado desde la antigüedad. Los efectos adversos de los métodos convencionales de secado sobre la calidad final del producto han llevado a desarrollar nuevas tecnologías, que no sólo alcance productos de alta calidad, sino que opere a una tasa de producción económica. Comparados con otros productos procesados, los alimentos deshidratados tienen una larga vida útil y sustancialmente bajos costos de transporte, manejo y almacenamiento. Secar materiales sensibles al calor como frutas, vegetales y otros ingredientes, usados generalmente como base de preparaciones de alimentos, se convierte en un desafío. Aprovechando esta oportunidad y la gran demanda de los consumidores por alimentos deshidratados de alta calidad, continuamente se hacen esfuerzos por desarrollar métodos de secado innovadores y mejorados (Ortiz Jerez 2014).

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en procesos de lotes (discontinuos), cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se realiza por un periodo, y continuos, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen permanente (Azarpazhooh & Ramaswamy 2010).

Convencionalmente, las frutas y verduras se secan al sol (en campo) o por convección en aire caliente. El secado solar suele ser un proceso lento, impedido por las incertidumbres climáticas, la infestación de insectos, roedores y aves, donde la calidad es muy variante (en términos de color, composición e higiene) (Ramana Murthy 2009). El secado al aire caliente ofrece productos deshidratados que pueden tener una vida útil prolongada de un año, pero desafortunadamente con una calidad drásticamente reducida respecto al alimento original. El liofilizado es una técnica de deshidratación suave, que representa el proceso ideal para la producción de alimentos de alto valor económico. Secar al vacío es otra posibilidad, este método es importante para producir frutas y verduras de alto valor y sensibles al calor. El secado en el campo de microondas (MW) es otra técnica de deshidratación que ofrece la oportunidad de reducir el tiempo de secado y mejorar la calidad de un producto deshidratado. El secado en combinación (también conocido como secado híbrido) es una técnica de secado en auge, ya que la combinación de procesos puede favorecer los beneficios de cada uno de los procesos que intervienen (Karam y col. 2016). La tecnología DO combinada con otros métodos ha dado buenos resultados, tal es el caso de la combinación con el secado al aire que ha representado una alternativa tecnológica para reducir las pérdidas de frutas postcosecha (Raoult-Wack 1994). Se ha informado que el uso combinado de microondas y secado por convección posterior a la DO mejora la velocidad de secado y también mejora la calidad del producto final (Wais y col. 2005; Azarpazhooh & Ramaswamy 2010; Arballo 2013; Patel & Sutar 2016). Por otro lado, se ha demostrado que el uso de la DO, como un tratamiento previo al congelado, disminuye el pardeamiento enzimático y reduce el colapso estructural y goteo durante la descongelación (Zhao y col. 2014; Dermesonlouoglou y col. 2016).

### **1.1.3. Tendencias actuales en Deshidratación Osmótica**

En la actualidad, las investigaciones en Deshidratación Osmótica (DO), tienen por objetivos principales optimizar la transferencia de masa en el proceso y conservar los parámetros de calidad y nutricionales de los materiales deshidratados. La DO es un proceso inherentemente lento, varios investigadores han estudiado la manera de incrementar la intensidad de pérdida de agua empleando diferentes alternativas. Estos incluyen: someter el alimento a ultra-alta presión hidrostática, pulsos de campo eléctrico de alta intensidad o

irradiación gamma, aplicación de ultrasonidos, vacío parcial o fuerza centrífuga previo o durante el tratamiento osmótico (Rastogi y col. 2002; Azarpazhooh & Ramaswamy 2010; Rastogi y col. 2014; Ciurzynska y col. 2016). Estas operaciones combinadas reducen el tiempo de secado, minimizando los costos de energía adicionales y mejorando la calidad de las frutas y verduras durante el almacenamiento (Ahmed y col. 2016).

Una problemática que se observa en la Deshidratación Osmótica (DO) de ciertas frutas y vegetales, es la incorporación de grandes cantidades de soluto, impartiendo características sensoriales que no siempre son deseables para el consumidor. Con este fin, uno de los más novedosos desarrollos que se estudia en la actualidad, es la aplicación de recubrimientos comestibles actuando como barrera o controlante al ingreso de solutos (Khin y col. 2005).

#### **1.1.4. Aplicación de recubrimientos comestibles en Deshidratación Osmótica**

La aplicación de recubrimientos antes de la deshidratación osmótica se informó por primera vez en 1968, donde se estudió la DO de frutas, carne, pescado y mariscos recubiertos. Los autores observaron que las membranas semipermeables comestibles mantuvieron la fuerza impulsora para la deshidratación y redujeron la incorporación de solutos. Además, concluyeron que las membranas de pectato de calcio dieron mejores resultados (Camirand y col. 1968; Camirand y col. 1969) respecto al tratamiento sin la aplicación de los mismos. Algunos estudios posteriores han informado sobre la aplicación de recubrimiento antes de los procesos osmóticos a presión atmosférica para materiales alimenticios (Lenart & Dabrowska 1999; Dabrowska & Lenart 2001). Se informó que los recubrimientos de pectina de bajo metoxilo (LMP) y los recubrimientos de quitosano podrían retardar la absorción de solutos y proporcionar una mayor pérdida de humedad que las muestras sin recubrimiento. Además, la incorporación de revestimientos como películas no sólo puede mejorar las propiedades de barrera para los solutos sino también reducir la contaminación microbiana y conservar el aroma y el sabor (Camirand y col. 1968; Camirand y col. 1992; Dabrowska & Lenart 2001).

Para la selección adecuada del recubrimiento se deben tener en cuenta las siguientes propiedades: (1) buena resistencia mecánica, (2) buenas propiedades sensoriales, (3) fácil y rápida formación de película, (4) alta difusividad del agua y baja difusividad del soluto, (5)



el revestimiento formado no debe disolverse en la solución del agente osmótico (Camirand y col. 1992; Khin y col. 2005; Parzanese 2006). Camirand y col. (1992) llevaron a cabo investigaciones sobre los materiales de recubrimiento para cumplir los requisitos de uso en la deshidratación osmótica. Los hidrocoloides permiten formar películas biodegradables con distintas propiedades dependiendo de la estructura química del polímero y del método de obtención (inmersión, casting y spray). Las soluciones de alginato de sodio y LMP pueden formar geles insolubles mediante reticulación con solución de cloruro de calcio que conduce a geles fuertes (Khin y col. 2005). Diferentes hidrocoloides han sido ensayados y resultaron prometedores para el recubrimiento de frutas previo a la deshidratación osmótica, entre ellos etilcelulosa, mezcla de LMP con otros materiales de recubrimiento, almidón de papa (PS), puré alimenticio de almidón de maíz (PFCS) y metil celulosa (MC). Camirand y col. (1992) observaron el efecto de la concentración del material, conduciendo a un mayor espesor del recubrimiento a mayor concentración, con un consecuente descenso en la ganancia de sólidos.

Recientemente se han realizado nuevos estudios en las aplicaciones de recubrimientos (Khin, Zhou & Perera 2007a; Ferrari y col. 2013; Rastogi y col. 2014), los cuales despiertan el interés en la temática. Matuska y col. (2006) emplearon recubrimientos comestibles de alginato, carragenano y goma guar en frutillas observando una reducción significativa en la absorción de sacarosa durante la DO. Brandelero y col. (2005) demostraron que la aplicación de recubrimientos de alginato y gelatina reduce la incorporación de sólidos solubles en piñas durante la DO. Khin y col. (2007a) evaluaron la relación de rendimiento (WL/SG) de recubrimientos de alginato y pectina de bajo metoxilo en la deshidratación de manzanas con dos medios osmóticos, soluciones de sacarosa y glucosa, obteniendo buenos resultados de barrera en el caso de sacarosa. Mitrakas y col. (2008) demostraron que el uso de recubrimiento comestible fue una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia de la deshidratación osmótica de papa (*Solanum tuberosum var. Spunta*). Por otro lado, Singh y col. (2010) demostraron que la deshidratación osmótica de muestras de piña con un revestimiento formulado con alginato de sodio a diferentes concentraciones (0.5 - 5.0% p/v) dió lugar a una mayor pérdida de agua y una reducción de ganancia de sólidos, concluyendo que la aplicación de revestimientos constituye un método práctico para la preservación de alimentos con mejores características de calidad. García y

col. (2010) evaluaron la influencia de los recubrimientos de quitosano en la deshidratación osmótica de la papaya cortada y escaldada. Los resultados indicaron que estos recubrimientos mejoran la eficiencia del proceso de deshidratación osmótica, independientemente de la fase de maduración, aumentando la pérdida de agua, y disminuyendo la ganancia de los sólidos. Jalae y col. (2011) demostraron que manzanas recubiertas de carboxi-metilcelulosa (2%) mostraron una mayor relación de pérdida de agua a ganancia de sólidos, así como una mejor textura. Por otro lado, Ferrari y col. (2013) concluyeron que la asociación de recubrimiento y la deshidratación osmótica es capaz de mantener las características de firmeza y el color de melón cortado, en largos tiempos de almacenamiento. Un reciente trabajo concluyó que el revestimiento de alginato de sodio - cloruro de calcio actuó como barrera para la entrada de sólidos en cubos de zapallo (sacarosa al 60% y glucosa al 60%) sin detener la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica (Rodríguez y col. 2016).

Teniendo en cuenta los desarrollos en esta área, el estudio exhaustivo de la aplicación de recubrimientos durante la DO tendría un alto impacto en la industria de los alimentos, ya que permitiría obtener resultados que pueden ser escalados y extrapolados rápidamente para su implementación en la fabricación de productos deshidratados.

## **1.2. Enfoque teórico de la Deshidratación Osmótica**

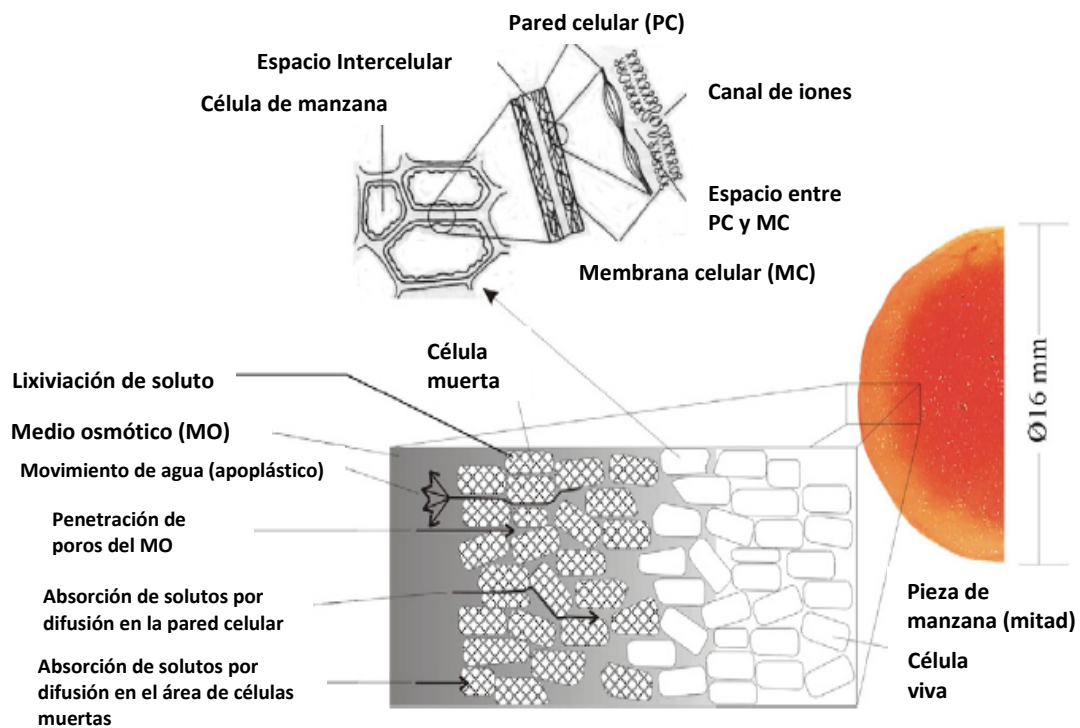
La investigación sobre la deshidratación osmótica de los alimentos fue iniciada por Ponting y col. (1966), aunque otros autores hacen referencia que el estudio más antiguo publicado fue del autor Guadagni (1949), quien estudió el efecto de la impregnación al vacío de los jarabes de azúcar sobre la conservación congelada de rodajas de manzana. En Argentina unos de los vanguardistas en la temática fueron Edgardo Spiazzi y Rodolfo Mascheroni, quienes trabajaron en el desarrollo de un modelo matemático basado en la transferencia de masa en tejidos vegetales (Spiazzi & Mascheroni 1997). Muchos artículos de revisión se han publicado en las últimas décadas (Torreggiani 1993; Raoult-Wack 1994; Rastogi y col. 2002; Khin y col. 2005; Rastogi y col. 2014; Chandra & Kumari 2015; Ramya & Jain 2017) que describen diversos aspectos del proceso, tales como el mecanismo de la DO, el efecto de las variables de operación sobre la DO, el modelado de la pérdida de agua y ganancia de sólidos, y la mejora de la transferencia de masa.

La deshidratación osmótica puede definirse como un “proceso de impregnación y deshidratación (DISP, por sus siglas en inglés)” (Torreggiani 1993; Raoult-Wack 1994), que pueden modificar las propiedades funcionales de los materiales alimenticios (Genina Soto, 2002). A nivel de mecanismos, la DO se puede definir como un proceso simultáneo de transferencia de masa a contracorriente en el que los materiales biológicos (como frutas y verduras) se sumergen en una solución acuosa hipertónica durante un período determinado. La fuerza impulsora corresponde al gradiente de presión osmótica generada por la solución hipertónica debido a su menor actividad de agua, dando como resultado la transferencia de agua desde el producto a través de la pared celular. Durante el proceso de DO, se han identificado 3 tipos de transferencias de masa: la difusión de agua, de solutos de la solución osmótica y de solutos de las células (Raoult-Wack 1994). La difusión del agua es desde el tejido hacia la solución y la contra difusión simultánea de solutos es desde la solución osmótica hacia el tejido. Esto contribuye a un flujo neto de agua y solutos que permiten que el tejido se concentre con una proporción determinada en relación a ganancia de soluto / pérdida de agua dependiendo de las condiciones del proceso (Chiralt & Fito 2003). Dado que la membrana responsable del transporte osmótico no es perfectamente selectiva, se da la tercera transferencia de otros solutos (azúcar, ácidos orgánicos, minerales, vitaminas) presentes en las células que se filtran a la solución osmótica (Torreggiani 1993) en cantidades que son cuantitativamente insignificantes; sin embargo, son importantes en términos de calidad del producto final (Dixon & Jen 1977). Durante la DO, existen diferentes variables que afectan la velocidad de difusión del agua de cualquier material; por lo tanto, es difícil establecer reglas generales sobre ellos. Sin embargo, la presión osmótica, la estructura del tejido vegetal y la relación de transporte de masa son las más importantes (Azarpazhooh & Ramaswamy 2010; Parzanese 2010; Chandra & Kumari 2015; Ciurzynska y col. 2016).

### **1.2.1. Transferencia de materia durante la Deshidratación Osmótica**

En los últimos años, ha habido nuevos avances en la investigación sobre el procesamiento osmótico desde una escala macroscópica a microscópica y una tendencia a combinar la Ingeniería Química con conceptos de fisiología vegetal, por ejemplo, cambios de volumen y forma de productos asociados a modificaciones en la estructura celular (Barat y col. 1999;

Salvatori & Alzamora 2000; Ferrando & Spiess 2001; Chiralt & Fito 2003; Mavroudis y col. 2012; Seguí y col. 2012). En la figura 1.1, se muestran, de manera representativa, algunos de los resultados obtenidos al realizar investigaciones con énfasis a nivel celular y se establece que al sumergirse en el medio osmótico, las primeras capas de células (1-2 mm por debajo de la superficie del producto) mueren (Mavroudis y col. 2012). En ausencia de calor, la muerte celular se atribuye a la intensidad del gradiente de presión osmótica, directamente relacionado con el aumento de la diferencia entre la concentración en el protoplasma y el agente osmótico. En consecuencia, esto crea una zona cerca de la superficie del producto donde la resistencia al transporte de masa (principalmente solutos) disminuye sustancialmente (áreas sombreadas en el dibujo esquemático).



**Figura 1.1.** Esquema de los flujos de agua y soluto durante el proceso osmótico (Mavroudis y col. 2012).

La existencia de muerte celular también podría explicar la lixiviación de los solutos desde el producto como consecuencia de la pérdida de la permeabilidad selectiva de la membrana celular. Además, el movimiento de soluto osmótico puede tener lugar por difusión a lo

largo del área de la pared celular hacia el tejido vegetal. Otro mecanismo para que el soluto ingrese al área del tejido, es mediante la penetración del medio osmótico en los poros del tejido o espacios intersticiales. Esto se atribuye predominantemente a la capilaridad (fuerzas adhesivas sólido-líquido), aunque en casos de alta agitación del medio osmótico, un aumento significativo del grado de penetración en los poros puede surgir debido al movimiento del fluido. En términos de importancia para la penetración de solutos, la muerte celular tiene una mayor contribución durante los tratamientos osmóticos atmosféricos que el mecanismo de penetración de poros, ya que se amplían los espacios intersticiales (Mavroudis y col. 2012; Oliver y col. 2012).

Por lo tanto, durante la extracción de agua de los alimentos, el frente de deshidratación se mueve desde la superficie del alimento que está en contacto con la solución osmótica hacia el centro y los resultados de estrés osmótico se asocian a la desintegración de la célula. La causa más probable de daño celular puede ser atribuido a la reducción en el tamaño de las células causada por la pérdida de agua durante el tratamiento osmótico (Rastogi y col. 2014).

### **1.2.2. Factores que afectan el proceso osmótico**

La velocidad de difusión del agua durante la deshidratación osmótica depende de factores, tales como el tipo de agente osmótico, la concentración de la solución osmótica, la temperatura, el tamaño y la geometría del material, la proporción de masa de solución a material y el nivel de agitación de la solución. Existen varias publicaciones que describen la influencia de estas variables en la tasa de transferencia de masa (Torreggiani 1993; Raoult-Wack 1994; Rastogi y col. 2002; Rastogi & Raghavarao 2004). Sin embargo, las variables mencionadas anteriormente se pueden manipular en un rango limitado; fuera de estos rangos, la calidad se puede ver afectada negativamente a pesar de que las tasas de transferencia de masa mejoren (Rastogi y col. 2002). La elección de las condiciones del proceso osmótico depende de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos solubles deseadas, así como también de las propiedades sensoriales de los productos alimenticios obtenidos por el tratamiento.

Se han realizado investigaciones sobre la influencia del tamaño y la forma geométrica de la muestra en la cinética de transferencia de masa. Se ha demostrado que la relación área

superficial/volumen, es un factor de influencia cuyos niveles más altos provocan mayores tasas de deshidratación osmótica (Azarpazhoooh & Ramaswamy 2010; Parzanese 2010; Chandra & Kumari 2015).

El tipo, peso molecular y comportamiento iónico de los agentes osmóticos afectan la cinética de difusión del agua. Los agentes osmóticos más comúnmente utilizados son los carbohidratos (sacarosa, sorbitol, jarabe de maíz, glucosa, lactosa, maltosa, maltodextrina y fructosa) y las sales (NaCl, CaCl<sub>2</sub>), o sus mezclas. En la mayoría de la literatura publicada, azúcares, como la sacarosa, se usan para frutas y sales, como el cloruro de sodio, para vegetales, pescado y carne (Chandra & Kumari 2015). En general, cuanto mayor sea la concentración de soluto de la solución osmótica mayor será la diferencia de presión osmótica entre ésta y el producto, lo cual aumentará la velocidad de salida de agua del producto (Parzanese 2010). El tamaño y la concentración molar de las sales ionizadas son diferentes con respecto a los azúcares; por lo tanto, los iones salinos más pequeños pueden difundir más fácilmente a través de la membrana celular, lo que da como resultado una ganancia en sólidos más alta, y una reducción en la pérdida de agua a medida que se reduce el gradiente de potencial osmótico. Sin embargo, moléculas más grandes como el azúcar no pueden difundir tan fácilmente a través de la membrana celular (Ponting y col., 1966). Las propiedades fisicoquímicas del soluto elegido son una variable determinante en la transferencia de masa durante la DO. Si se utilizan solutos de peso molecular alto se favorece la pérdida de agua, mientras que si se eligen solutos de peso molecular bajo la impregnación de soluto al alimento será mayor, ya que las moléculas pueden difundir fácilmente hacia el interior del tejido celular (Parzanese 2010; Chandra & Kumari 2015). En un análisis de intercambio de azúcares en cereza, albaricoque y durazno durante la deshidratación osmótica, se encontró que la dinámica de intercambio de azúcares entre el jarabe y los frutos estaba relacionada no sólo con el flujo de azúcares del jarabe, sino que también se vió afectada por los azúcares individuales originalmente presentes en el fruto. El intercambio también depende de la especie de fruta, de la difusividad relativa de los azúcares y de la actividad enzimática dentro del fruto (Giangiacoimo y col. 1987). Aunque la sacarosa es muy efectiva, conveniente y produce un sabor deseable, en ciertas condiciones de operación, promueve una mayor absorción de sólidos. La maltosa puede preservar la estructura celular y la estabilidad del color, y también causa una menor

ganancia de sólidos, generando un impacto positivo en los perfiles nutricionales y sensoriales (Forni y col. 1997; Ferrando & Spiess 2001). Los azúcares de bajo peso molecular, como la glucosa, son más efectivos en la transferencia de agua que aquellos de mayor peso molecular, pero se obtiene mayor ganancia de sólidos en el material alimenticio (Montoya & Quintero 1999). El azúcar invertido tiene el doble de moléculas por unidad de volumen y es más efectivo que la sacarosa (Bernardi y col. 2009). Lazarides y col. (1995) demostraron que, bajo las mismas condiciones de proceso osmótico, el uso de jarabes de maíz como agentes osmóticos da como resultado la disminución de la absorción de azúcar en comparación al uso de sacarosa.

El tiempo de contacto de los alimentos con la solución osmótica es un factor importante durante la deshidratación osmótica. Con el aumento del tiempo del tratamiento osmótico se reduce la tasa de transferencia de masa, por disminución de la fuerza impulsora. En términos del tiempo de contacto, las tasas de pérdida de agua y ganancia de sólidos son más altas dentro de las primeras horas, seguida de tasas progresivamente más bajas para el resto del tiempo. En promedio, la tasa de pérdida de agua cae aproximadamente un 20% de la tasa inicial durante la primera hora de deshidratación y se detiene a un 10% aproximadamente de la tasa inicial en tres horas.

La temperatura del tratamiento osmótico es el factor más importante que influye en el proceso de deshidratación osmótica. Varios investigadores han demostrado el efecto positivo de la temperatura en la eliminación de agua de los alimentos durante el tratamiento osmótico (Raoult-Wack 1994; Lazarides y col. 1997; Falade y col. 2007; Ciuzyńska y col. 2016). Temperaturas altas de proceso generalmente promueven una pérdida de agua más rápida debido a la menor viscosidad del medio osmótico, mientras que la ganancia sólida se ve menos afectada por la temperatura (Chandra & Kumari 2015). En particular, el empleo de temperaturas mayores a 60°C modifica las características del tejido celular favoreciendo así la impregnación y, por lo tanto, la ganancia de sólidos. Sin embargo, por encima de 45 °C, comienza el pardeamiento enzimático y el deterioro del sabor. El nivel de temperatura de procesamiento depende fundamentalmente de las características de los alimentos a procesar. Para la mayoría de las especies vegetales, el rango de temperatura al cual las membranas de las células se modifican oscila entre los 50 °C y 55 °C aproximadamente (Parzanese 2010).

La agitación de la solución osmótica es otros de los aspectos importantes del tratamiento osmótico a tener en cuenta. La agitación asegura que la concentración de las soluciones y la temperatura sean homogéneas alrededor de la superficie de la partícula. Raoult-Wack y col. (1989) observaron que la agitación favorece la pérdida de agua, especialmente a temperaturas menores a 30 ° C, donde la viscosidad de la solución es alta. Para periodos de proceso cortos, la agitación no tiene efecto sobre la ganancia de sólidos ya que la transferencia externa del soluto osmótico no es limitante para la transferencia.

La proporción de solución osmótica a fruta es un importante parámetro, ya que a menudo influye en la logística de producción y define de manera directa la concentración de equilibrio a la que puede llegar el producto deshidratado. Las altas proporciones de solución/fruto mantienen una concentración de solución constante y evitan la dilución del agente osmótico. En una escala industrial, la relación debe ser tan baja como sea posible para reducir el tamaño de la planta y los costos de la regeneración de la solución. Por otro lado, el uso de una relación baja conduce a cambios transitorios significativos en la composición de la solución. La mayoría de los estudios de desarrollo se llevan a cabo con un gran exceso de solución osmótica para garantizar cambios mínimos en la concentración de la solución durante las pruebas. La relación en peso de solución a producto más utilizada oscila entre 4 y 10, aunque en investigación se han usado relaciones de hasta 30 (Azarpazhooh & Ramaswamy 2010; Parzanese 2010; Chandra & Kumari 2015).

La presión de operación también influye en el proceso. Cuando se lleva a cabo la Deshidratación Osmótica a Vacío (DOV) se favorece el proceso de transferencia de agua y no afecta sustancialmente la ganancia de solutos por parte del alimento (Parzanese 2010).

Las propiedades físicas y químicas de los materiales alimenticios, como la composición química (proteínas, carbohidratos, grasas, sal, etc.) y la estructura física (porosidad, disposición de la célula, orientación de la fibra y epicarpio) también pueden afectar la cinética de deshidratación osmótica.

### **1.3. Introducción a los recubrimientos comestibles en la deshidratación osmótica**

#### **1.3.1. Recubrimientos comestibles**

Un recubrimiento o revestimiento comestible (RC) es una fina capa de material comestible o una matriz transparente y comestible aplicada sobre la superficie de los alimentos, con el



fin de servir de empaque y de preservar su calidad (Kang y col. 2013), mientras que una película comestible (PC) es una capa delgada preformada, hecha de material comestible, que se puede colocar en o entre los componentes de los alimentos (Espitia y col. 2014). La principal diferencia entre estos dos sistemas alimentarios es que el revestimiento comestible se aplica en forma líquida sobre el alimento, generalmente sumergiendo el producto en la solución de material comestible, y la película comestible se moldea primero y luego se aplica como envoltura para productos alimenticios (Tavassoli-Kafrani y col. 2016). Este tipo de tecnología fue desarrollada hace muchos años (últimos 50 años) y actualmente ha habido un gran interés como un proceso complementario para la deshidratación osmótica con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y la calidad final de los productos (Khin y col. 2006; Khin y col. 2007; Mitrakas y col. 2008; Jalaei y col. 2011; Talens y col. 2012; Ferrari y col. 2013; Rodríguez y col. 2016).

Los RC y PC poseen las siguientes ventajas: pueden ser ingeridos por los consumidores, disminuyen los desechos de envasado, un alimento al cual se aplica un recubrimiento comestible requiere de embalajes más simples, regulan el intercambio de gases como  $O_2$ ,  $CO_2$  y de vapor de agua, mejoran las propiedades mecánicas y preservan la textura, prolongan la vida útil de alimentos mínimamente procesados a través del control sobre el desarrollo de microorganismos y de los cambios fisicoquímicos y fisiológicos, pueden mejorar las características nutricionales y organolépticas, y pueden regular distintas condiciones de interfase o superficiales del alimento, a través del agregado de aditivos como antioxidantes, agentes antimicrobianos y nutrientes (Parzanese 2011a). En este trabajo de tesis se plantea el aprovechamiento de las ventajas de los RC para la DO de peras y frutillas, tendientes a controlar la captación de sólidos solubles en este proceso de deshidratación.

### **1.3.2. Factores relevantes en la aplicación de los recubrimientos comestibles**

Los parámetros más importantes a considerar para desarrollar recubrimientos comestibles son la aplicación del revestimiento sobre el producto y la capacidad del revestimiento para adherirse a la superficie. Los productos alimenticios se suelen revestir por inmersión o pulverización, formando una película delgada sobre la superficie del alimento y actuando como una membrana semipermeable. Actualmente, la inmersión es el método más común

para la aplicación de recubrimientos en frutas y verduras (Vargas y col. 2009). Los RC y PC, son considerados aditivos alimenticios y es necesario que tengan determinadas propiedades de barrera para la preservación de los productos (Parzanese 2011a; Park y col. 2013), por lo tanto deben presentar las siguientes características:

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

Las películas y los revestimientos comestibles protegen los productos alimenticios envasados o recubiertos del daño físico causado por el impacto físico, la presión, las vibraciones y otros factores mecánicos.

La mayoría de las investigaciones se han ocupado de estudiar la permeabilidad al vapor de agua, la permeabilidad al oxígeno, la permeabilidad al dióxido de carbono y la resistencia de las películas comestibles. Para evaluar la resistencia estructural de películas y recubrimientos comestibles se aplican exámenes mecánicos de estructura estandarizados. Dichos ensayos mecánicos pueden incluir resistencia a la tracción, alargamiento a rotura, determinación del módulo elástico, resistencia a la compresión, resistencia a la perforación, rigidez, resistencia al desgarro, resistencia al estallido, resistencia a la abrasión, fuerza de adhesión, resistencia al plegado, entre otros (Parzanese 2011a).

Además, se ha estudiado la influencia de la temperatura, que es un factor importante de migración. Un aumento de temperatura proporciona más energía a las sustancias que migran y aumenta la permeabilidad. En temperaturas superiores a la transición de fase, los cambios de los coeficientes de migración tales como la permeabilidad y difusividad siguen el comportamiento descrito por la ley de Arrhenius (Guilbert y col. 1997; Miller y col. 1998). En las temperaturas de transición vítrea y de fusión de los materiales de película, la

mayoría de los coeficientes de transferencia de masa cambian sustancialmente debido a los cambios estructurales de los polímeros comestibles (Park y col. 2013).

Por otro lado, es esencial comprender las propiedades químicas de los materiales formadores de película, los biopolímeros y los aditivos, para adaptarlos a aplicaciones específicas. La solubilidad es muy importante para seleccionar un solvente para la mezcla del agente activo. La termoplasticidad de los biopolímeros, incluidas la transición de fase, la transición vítrea y las características de gelatinización, debe entenderse para la fundición en seco o la termoformación (Guilbert y col. 1997). Muchas propiedades hidrofílicas de los materiales formadores de película también son características determinantes que deben identificarse. Estos pueden medirse indirectamente a partir de propiedades relacionadas con el agua, tales como el equilibrio hidrófilo-lipófilo, la higroscopicidad, la solubilidad en agua y la energía superficial sólida de las películas, radio hidrodinámico de biopolímeros y plastificantes, tensión superficial y viscosidad de soluciones formadoras de película. Estas determinaciones son muy importantes para obtener información crítica relacionada con los mecanismos de formación de película y la modificación de la propiedad de la película, así como el diseño del proceso para la producción comercial a mayor escala (Han 2014).

### **1.3.3. Materiales para recubrimientos comestibles**

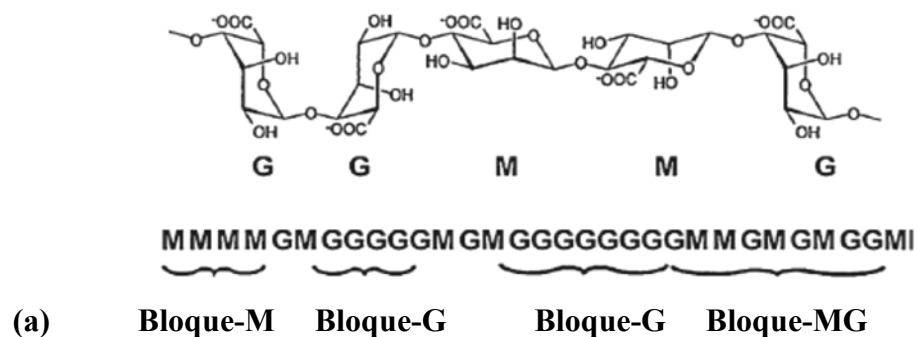
Los polímeros hidrofílicos o hidrocoloides que contienen grupos oxhidrilos ( $-OH$ ), producen un elevado aumento de la viscosidad de las soluciones y en algunos casos tienen efectos gelificantes, ya que se disuelven y dispersan fácilmente en agua. Además, una vez formados, permiten el transporte de humedad y presentan excelentes propiedades mecánicas así como de barrera frente al  $O_2$ ,  $CO_2$  y lípidos (Parzanese 2011a). Algunas gomas cargadas negativamente, tales como alginato, pectina y carboximetilcelulosa, muestran propiedades reológicas significativamente diferentes en condiciones ácidas en comparación con neutras o alcalinas, así como en presencia de cationes multivalentes.

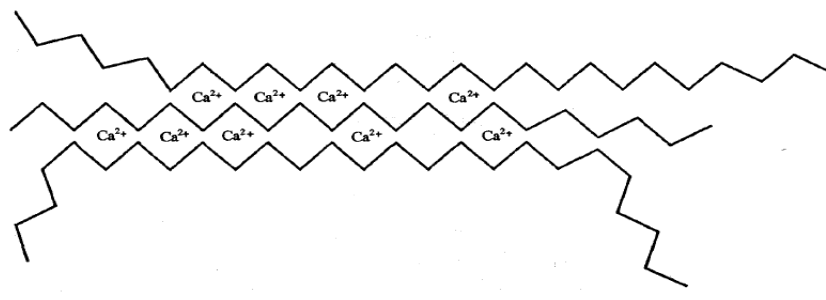
De los materiales utilizados en el recubrimiento de alimentos para deshidratar osmóticamente, los hidrocoloides son los más utilizados, en especial, pectina de bajo metoxilo y alginato de sodio (Galus & Lenart 2013; Galus & Kadzińska 2015). Actualmente, muchas investigaciones se han enfocado en la búsqueda de concentraciones óptimas para su utilización (Khin y col. 2006; Matuska y col. 2006; Khin y col. 2007;

Mitrakas y col. 2008; Jalae y col. 2011; Talens y col. 2012; Ferrari y col. 2013; Zhou y col. 2014; Rodriguez y col. 2016). A su vez, comprender la importancia relativa de los diferentes mecanismos que controlan la transferencia de humedad a través de películas higroscópicas también es significativo para diseñar nuevas películas con mejores ventajas (Galus & Lenart 2013; Galus & Kadzińska 2015).

### 1.3.3.1. Alginato de sodio

Los alginatos son polisacáridos estructurales que se obtienen de diferentes especies de algas marrones o pardas, principalmente de *Macrocystis Pyrifera* (Parzanese 2011a). Comercialmente es una sal, mayormente sal sódica de un ácido poliurónico, el ácido algínico. Desde el punto de vista molecular, los alginatos están compuestos por unidades de ácido L-gulurónico (G) y D-manurónico (M) que forman regiones de bloques M, bloques G y bloques de secuencias alternas (bloques MG), donde las proporciones relativas de estas organizaciones secuenciales dependen de la fuente de obtención. Los mismos presentan la propiedad de formar geles cuando se le adicionan iones calcio ( $Ca^{2+}$ ), desde donde surgen la mayoría de sus aplicaciones (Figura 1.2), por ejemplo, la transición de alginato de sodio soluble en agua a alginato de calcio insoluble en agua es utilizado en la formulación de PC y RC. Los cationes divalentes se unen preferentemente al bloque G más que al bloque M, por lo que un elevado contenido en bloques G producen geles muy fuertes. Los alginatos son muy utilizados para proporcionar altas viscosidades a bajas concentraciones y son razonablemente termoestables y muestran ninguna o muy poca sinéresis (Fennema 2000).





**Figura 1.2.** Representación de los distintos bloques de la molécula de alginato (a) y de la formación de una unión entre regiones de bloque G de tres moléculas de alginato (b), promovida por la presencia de iones calcio (Fennema 2000; Tavassoli-Kafrani y col. 2016).

Sus aplicaciones como RC son variadas y en frutas se pueden usar para limitar la deshidratación superficial posterior a la cosecha y preservar la calidad (Tavassoli-Kafrani y col. 2016).

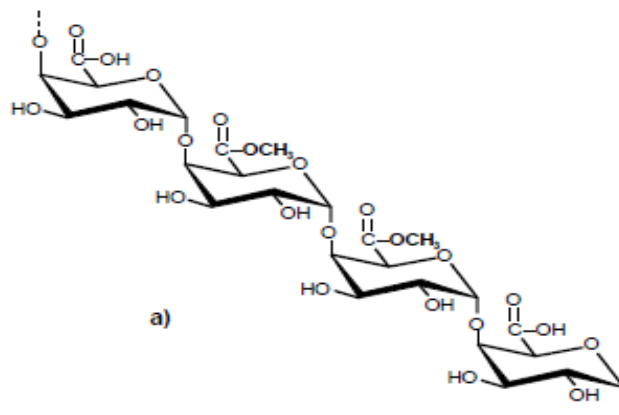
### 1.3.3.2. Pectina

El término pectina se utiliza normalmente en un sentido genérico para designar las preparaciones de galacturonoglicanos hidrosolubles, con contenidos de grupos metil éster y grados de neutralización variables que son capaces de formar geles.

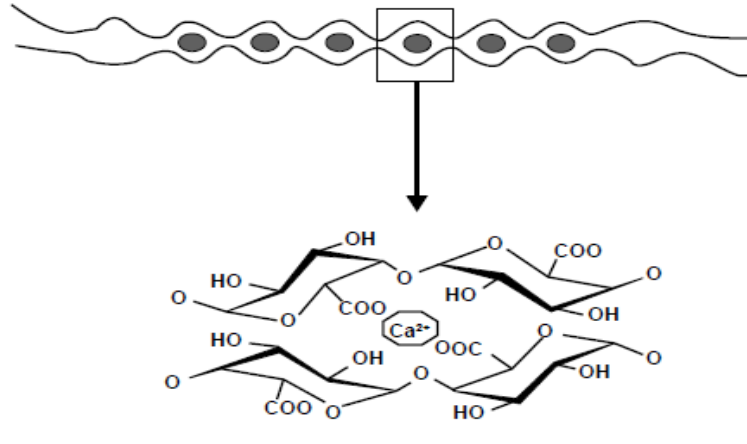
Las pectinas corresponden a un grupo complejo de polisacáridos aniónicos estructurales que están presentes en la mayoría de las plantas, principalmente en los cítricos, encontrándose en las paredes celulares y en los espacios intercelulares, y se convierten en productos comerciales por extracción con ácidos. Dependiendo de las condiciones de aislamiento, los grupos carboxílicos libres restantes pueden estar parcial o totalmente neutralizados, es decir, como grupos carboxilatos sódico, potásico o amónico. Los más típicos se encuentran en forma de sal sódica. En todas las pectinas naturales, algunos de los grupos carboxilo están en forma de grupos metil éster. Están compuestas de restos de ácido D-galacturónico unidos por un enlace  $\alpha$  1-4, en donde los grupos carboxilo del ácido urónico son completamente (pectina con alto contenido de metoxilo, HMP, grado de esterificación, GE > 50%) o parcialmente (pectina de bajo metoxilo, LMP, GE <50%) esterificado con metilo (Figura 1.3).

Las pectinas tienen la propiedad única de formar geles extensibles en presencia de azúcar y ácido, y también en presencia de iones calcio, y se utilizan casi exclusivamente en este tipo de aplicaciones. De manera particular, al igual que los alginatos, las soluciones de LMP gelifican sólo en presencia de cationes divalentes, los cuales dan lugar a la formación de puentes de entrecruzamiento. El incremento de la concentración de esos cationes (aunque solamente el calcio es utilizado en las aplicaciones alimentarias), aumenta la temperatura de gelificación y la fuerza del gel. El mismo modelo general de la caja de huevos usado para describir la formación de los geles de alginato cálcico (véase figura 1.3) sirve para explicar la gelificación de las soluciones de LMP y LMP amidadas producidas por la adición de iones de calcio. La LMP, puesto que no requiere azúcar para la gelificación, es utilizada para fabricar mermeladas, confituras y jaleas dietéticas (Fennema 2000; Chasquibol Silva & Morales Gomero 2010).

Debido a su biodegradabilidad, biocompatibilidad, comestibilidad y propiedades químicas y físicas versátiles (como gelificación, permeabilidad a los gases selectivos, etc.), LMP es una matriz polimérica adecuada para la elaboración de PC destinadas a envasado de alimentos activos (Espitia y col. 2014). También lo es para RC, aunque para formarlo adecuadamente es necesario agregar una sal de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) compatible con el alimento a recubrir.



(a)



(b)

**Figura 1.3.** Representación de la sección completamente metilada de una molécula de pectina (a) y de la unión de calcio a secuencias poligalacturónicas: dímero 'caja de huevo' y cavidad 'caja de huevos' (b), promovida por la presencia de iones calcio (Sundar Raj y col. 2012).

#### 1.3.4. Mecanismos de formación de recubrimientos comestibles

Los materiales de biopolímeros formadores de RC y PC generalmente se gelatinizan o se gelifican para producir los mismos (Han 2014).

Se han descrito varios enfoques químicos y físicos potenciales para la modificación de mecanismos de formación de película, alterando las materias primas, variando las condiciones de procesamiento de formación de película, y aplicando tratamientos en películas formadas. Para películas basadas en polisacáridos, se encuentran disponibles varias modificaciones químicas, que incluyen la adición de sal, cambios de disolvente, gelatinización térmica, cambios de pH, modificación química de grupos hidroxilo, reticulación de polisacáridos, hidrólisis de polisacáridos y la adición de polisacáridos extraños. Las modificaciones físicas de películas y recubrimientos comestibles incluyen laminación, formación de compuestos, adición de partículas o emulsiones, perforación, recubrimiento, recocido o termocurado, orientación, radiación y tratamiento con ultrasonido (Camirand y col. 1992; Khin y col. 2006; Han 2014; Marcos y col. 2016; Tavassoli-Kafrani y col. 2016).

#### **1.3.4.1. Formación de hidrogeles para RC y PC**

Las moléculas poliméricas en disolución se comportan como si estuviesen enrolladas al azar, inmovilizando eficazmente gran cantidad de disolvente (agua), aumentando, por tanto, considerablemente la viscosidad. Si la concentración de polímero no es muy baja, las moléculas tienden a entrecruzarse y enmarañarse. La gelificación es consecuencia de la formación de enlaces cruzados intermoleculares. Estos enlaces cruzados pueden ser covalentes, puentes salinos o regiones microcristalinas. Los enlaces covalentes se logran mediante determinados reactivos, o aumentando la temperatura.

Uno de los compuestos más importantes en la formación de geles son los polisacáridos. Pese a la gran diversidad de tipos de polisacáridos, hay reglas generales que gobiernan su comportamiento en los procesos de gelificación. Las cadenas de la mayor parte de los polisacáridos son bastante rígidas; sólo se pueden doblar apreciablemente si la cadena está formada por más de 10 monómeros (restos de monosacáridos). Por eso, los polisacáridos dan disoluciones muy viscosas y algunos pueden formar geles. En términos generales, los entrecruzamientos de estos geles están constituidos por regiones microcristalinas, que abarcan buena proporción de la molécula. Esto significa que la longitud de las hebras entre los entrecruzamientos no es muy larga, lo que junto a la rigidez de la cadena determina que sus geles tengan características muy distintas a los de las gomas. Los entrecruzamientos entre las moléculas de polisacáridos son de alguno de los tres tipos que a continuación se mencionan y que se muestra con un ejemplo donde se dan:

Tipo 1 Hélices simples. Se dan en la amilosa; se organizan en regiones microcristalinas y, si la concentración es suficientemente alta, pueden formar geles. La amilopectina ofrece un comportamiento similar.

Tipo 2 Dobles hélices. Se dan en el  $\kappa$ -carragenano, a temperaturas inferiores a su temperatura de solubilidad (65 – 80°C). Cada hélice suele estar formada por una sola molécula. Por razones geométricas es bastante improbable que en las dobles hélices participen dos moléculas. Al formarse una hélice, por corta que sea, se reduce la libertad rotacional del resto de la molécula. Los entrecruzamientos derivan de la rigidez de las hélices que induce la formación de regiones microcristalinas. La formación de hélices es muy rápida (milisegundos), pero la gelificación es más lenta (requiere varios segundos). Los geles «funden» en cuanto lo hacen las hélices.



Tipo 3 Uniones tipo «cartón de huevos». Se dan en algunos polisacáridos cargados, como el alginato, cuando en el medio existen cationes divalentes (Figura 1.2). El alginato posee cargas negativas, generalmente a distancias regulares, lo que permite a los cationes divalentes, como el  $\text{Ca}^{2+}$ , establecer puentes entre dos moléculas de polímero paralelas. De este modo, se forman zonas de unión bastante rígidas. Es probable que las zonas de unión se organicen luego en regiones microcristalinas. Las uniones no se rompen fácilmente, a menos que la temperatura se eleve hasta las proximidades de  $100^{\circ}\text{C}$ .

La gelificación de los polisacáridos y las propiedades de los geles formados se ven afectadas por numerosos factores, entre los que cabe citar: la estructura molecular, la masa molecular, la temperatura, la calidad del disolvente y, en el caso de los poli-electrólitos, el pH y la fuerza iónica (Fennema 2000).

Para que los RC o las PC resulten eficientes, es esencial que su proceso de fabricación y posterior aplicación se lleve a cabo de manera correcta. Si bien existen varias técnicas tanto para la obtención como para su aplicación, cada una de ellas deben respetar o cumplir con cinco etapas principales, enumeradas a continuación:

1. Formulación y obtención del RC o PC mediante la técnica adecuada (eliminación del solvente, solidificación de la mezcla, gelificación, extrusión, coacervación).
2. Aplicación del RC o PC sobre la superficie del producto.
3. Adhesión del material que compone el RC o la PC a la superficie del alimento.
4. Formación del RC sobre la matriz alimenticia, cuando se trata de la PC, por ser pre-moldeada, esté constituida antes de aplicarse al producto.
5. Estabilización de las capas continuas del RC o de la PC mediante secado, calentamiento, enfriamiento o coagulación, lo cual depende tanto de la técnica para la aplicación elegida como de la formulación del RC o la PC.

Actualmente se desarrollaron varios métodos para la correcta aplicación de las matrices comestibles sobre los alimentos. Como se mencionó antes, los RC se diferencian de las PC por el modo en que son aplicados. Las técnicas de inmersión y spray se utilizan para RC, y el casting para PC. La inmersión consiste en la aplicación de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución filmogénica preparada. Se utiliza especialmente en aquellos alimentos cuya forma es irregular que requieren de una cobertura uniforme y gruesa. Es importante que el producto a tratar esté previamente lavado y secado, y que una

vez retirado de la solución, se deje drenar el excedente de solución para lograr un recubrimiento uniforme. Por otro lado, la técnica de spray se basa en la aplicación de la solución filmogénica presurizada, permite obtener RC más finos y uniformes. Se usa en alimentos de superficie lisa o para la separación de componentes de distinta humedad de un alimento compuesto. Mediante el casting se obtienen películas o films premoldeados. Consiste básicamente en la obtención de una dispersión uniforme compuesta por biomoléculas (proteínas, polisacáridos, lípidos), plastificante y agua. Luego se vierte sobre una placa de material inocuo donde se deja secar para que se forme el film o película. La velocidad de secado junto con la temperatura y humedad son condiciones determinantes para la calidad del film (transparencia, consistencia, propiedades mecánicas), por lo tanto, deben ser controladas correctamente. Una vez finalizado el secado, se tiene un film de gran tamaño, el cual es fraccionado para ser aplicado sobre los alimentos a tratar.

#### **1.3.4.2. Propiedades de los recubrimientos comestibles**

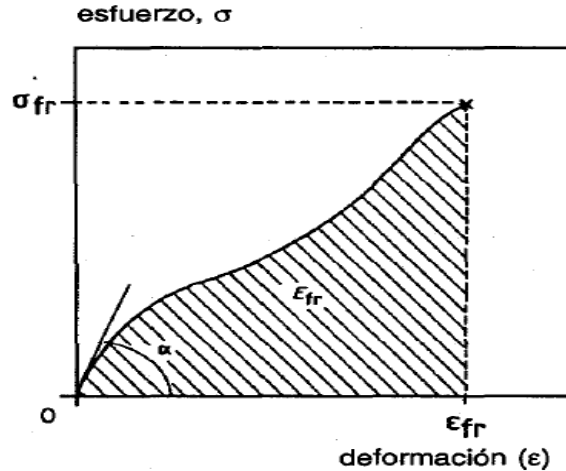
Si bien la química estructural polimérica es una herramienta muy importante para la determinación de mecanismos de formación de RC y PC, la fisicoquímica es esencial para determinar las características de RC y PC. La determinación de la mayoría de las características físicas, mecánicas y reológicas de las estructuras de RC y PC está relacionada con los parámetros de la fisicoquímica que incluyen resistencia mecánica, elasticidad, viscosidad, humedad y permeabilidad a los gases, cohesión de polímeros, adhesión de la película a las superficies de los alimentos, energía superficial, rugosidad / suavidad de la superficie, transmitancia de la luz, color (opaco / brillo) y características termoplásticas.

En su revisión, Han (2014) describe la importancia de varios parámetros fisicoquímicos en RC y PC. La cohesión de los materiales formadores de película es un parámetro muy importante que influye en la resistencia mecánica de las películas, especialmente las estructuras de película homogéneamente continua. La cohesión es la fuerza de atracción entre las moléculas de la misma sustancia. Si los materiales formadores de película contienen ingredientes heterogéneos que no son compatibles con los biopolímeros principales, la cohesión de los materiales formadores de película disminuye y la resistencia de la película se debilita. Cuando se investiga el uso de nuevos biopolímeros o aditivos, se

debe mantener la compatibilidad de todos los ingredientes formadores de película para obtener una fuerte cohesión. Por otro lado, la adhesión de los materiales formadores de película es un parámetro importante para la fundición de películas y procesos de recubrimiento. Una baja fuerza de adhesión da como resultado revestimientos incompletos en la superficie o desprendimiento fácil de las capas de revestimiento de la superficie. La energía superficial de los materiales formadores de película (tensión superficial), la energía superficial sólida del producto no revestido y la energía superficial de la película seca deben determinarse para lograr una fuerte adhesión. Una mayor diferencia de la energía superficial de un material de recubrimiento a la superficie del mismo no revestido da como resultado un rendimiento de recubrimiento pobre (Peyron 1991). Los agentes activos surfactantes, como los emulsionantes y otros productos químicos anfífilicos en la solución de formación de película, reducen la tensión superficial de la solución de recubrimiento, disminuyendo así la diferencia entre la energía de la superficie sólida y la tensión superficial de la solución de recubrimiento.

Los diversos tipos de geles ofrecen propiedades diferentes; por ejemplo, los geles particulados (formados por agregados de moléculas coloidales o proteicas) son mucho más groseros que los geles poliméricos, teniendo mayor permeabilidad, lo cual es una limitante para su aplicación en DO.

Las propiedades mecánicas de los distintos geles difieren entre sí. Para explicar esto, es necesario considerar el comportamiento a grandes deformaciones. La Figura 1.4 representa una gráfica de esfuerzo-deformación. En la misma, se muestra el punto de fractura al final de la curva. La fractura implica que la muestra, sometida a un cierto esfuerzo, se desintegra. A partir de la curva se puede determinar la firmeza y la deformación límite. En la mayor parte de los geles, sólo se observa una proporcionalidad constante entre esfuerzo y deformación a deformaciones muy pequeñas y a deformaciones muy grandes. Al cociente se lo puede llamar módulo aparente. Al esfuerzo en el momento de producirse la fractura ( $\sigma_{fr}$ ) se lo denomina resistencia del material. Términos como firmeza, dureza y resistencia se suelen usar indiscriminadamente.



**Figura 1.4.** Representación de la gráfica de esfuerzo-deformación para un gel (Fennema 2000).

La firmeza o la dureza sensorial se correlaciona frecuentemente con el esfuerzo a la fractura. A la deformación ( $\epsilon_{fr}$ ) se la denomina deformación límite. Los términos fragilidad y carácter quebradizo están estrechamente relacionados con  $1/\epsilon_{fr}$ . La deformación a la fractura puede variar mucho. Numerosos geles se deforman lentamente, pero cuando la deformación es rápida pueden romperse. En algunos casos, es incluso difícil distinguir entre fractura y fluencia. En algunos geles, la fractura es muy lenta. Los geles pueden deformarse de varios modos, según el tipo de material gelificante.

## 1.4. Frutas

### 1.4.1. Frutas: tendencias saludables

En países desarrollados como Canadá, EE.UU., Nueva Zelanda y varios estados de la Unión Europea se ha prestado un especial interés en el consumo de frutas y hortalizas, recomendando una ingesta diaria de al menos cinco porciones diarias. En Argentina, el Ministerio de Salud de la Nación recomienda una ingesta diaria de 2 porciones de frutas y 3 porciones de hortalizas en todas las estaciones, ya que disminuye el riesgo de tener obesidad, diabetes, contraer cáncer de colon, padecer enfermedades cardiovasculares, padecer constipación, entre otros (<http://www.msal.gob.ar>).

En los últimos años, se ha prestado más atención en el mantenimiento de la “frescura” de las frutas y verduras procesadas mediante la utilización de la DO. Después del procesamiento, las actividades químicas, físicas y biológicas que deterioran los alimentos, se reducen considerablemente. Existe, tanto en la literatura como en nuestra experiencia, evidencia de que, en la mayor parte de los casos, la DO permite la obtención de productos con propiedades nutricionales y organolépticas de alta aceptabilidad. Este hecho se basa en que el proceso de deshidratación y/o impregnación en los alimentos son generalmente llevados a cabo a temperatura moderada, de modo de proteger los compuestos termosensibles como los aromas, pigmentos y vitaminas (Ketata y col. 2013).

La estructura de la membrana celular varía dependiendo de la fruta, aquellas que poseen membranas más porosas pueden eliminar mayor cantidad de agua y absorber más sólidos, lo cual puede beneficiar al proceso, pero también podría afectar la textura de la fruta. Por esto es necesario evaluar las variables de la operación según el tipo de fruta que se va a procesar.

Por último, la aplicación de recubrimientos comestibles en frutas y verduras se convierte en una herramienta prometedora para la fortificación y enriquecimiento de las mismas, además de cuidar su inocuidad. Se han utilizado revestimiento comestible para incorporar un agente antimicrobiano común, en un esfuerzo por establecer una serie de obstáculos efectivos que conduzcan a la estabilización microbiana de productos refrigerados osmodeshidratados. Por otro lado, se han formulado alimentos fortificados con hierro (Fe) que representa un desafío tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico debido a la reactividad de este mineral con otros nutrientes de las matrices alimentarias (Mitrakas y col. 2008; Genevois y col. 2016).

#### **1.4.1.1. Peras (*Pyrus communis*)**

El peral, *Pyrus communis* L., es un árbol de forma piramidal, redondeado en su juventud, luego oval, que puede alcanzar los 20 metros de altura, con una vida media de 65 años. La variedad de mayor difusión en las zonas productoras de la Argentina es *Williams*, también conocida como Bartlett, la cual representa el 35% de la producción; es la variedad más cultivada en occidente y la preferida en la industria conservera. Otras variedades importantes de producción son *Packham's Triumph*, *Beurré D'Anjou* y *Abat Fatel*. El fruto

(Peras) es un pomo estrechado en la base; la cuál puede ser redondeada o atenuada y prolongada en el pedúnculo. Las características de las diferentes variedades son muy similares, el fruto es piriforme, con cintura bien definida, de tamaño mediano a grande, de 230 a 280 gr. de peso, 95-135 mm de altura y 65-80 mm de calibre. La relación peso/diámetro (o calibre) varía con las condiciones climáticas de la temporada: en años cálidos, los frutos son más achatados y en veranos frescos más elongados. El pedúnculo es de tamaño y grosor mediano, parcialmente leñoso y de inserción oblicua, la cavidad peduncular es algo profunda, el cáliz semicerrado, la epidermis es fina y delicada, de color verde claro que se torna a un atractivo amarillo a la madurez, a veces con un tinte rosado en la cara expuesta al sol, punteado de numerosas lenticelas. La pulpa es dura, muy ácida o astringente primero, a la madurez blanda, blanca cremosa, de textura fina, típicamente aromática y muy jugosa. Son bastante resistentes al manipuleo, y toleran muy bien el almacenamiento; aunque son susceptibles a la escaldadura superficial (manchas marrones) y a la deshidratación del pedúnculo (SENASA 2009).

En cuanto a sus propiedades nutritivas, posee bajo contenido calórico, y su composición nutricional, vitaminas y minerales se resumen en la Tabla 1.1.

La composición nutricional de la fruta de pera es bastante diversa, posee azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas, compuestos volátiles, etc. El fósforo, hierro, potasio, calcio, magnesio y otros nutrientes minerales también son componentes importantes contenidos en las peras.

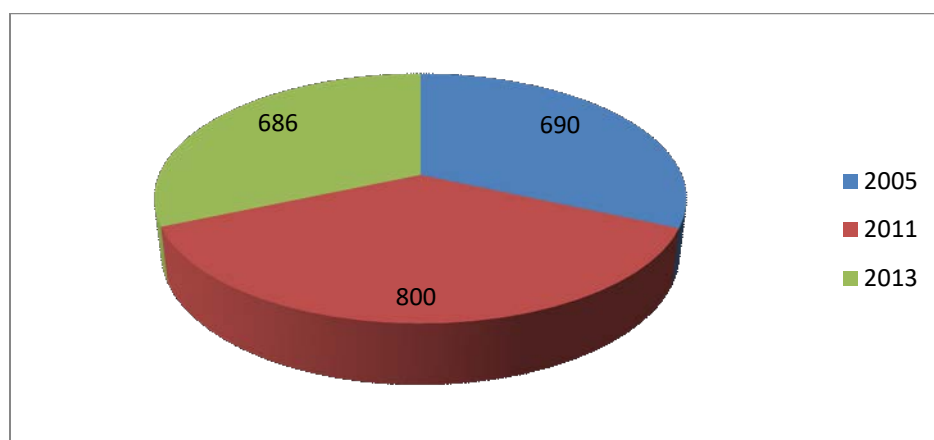
Muchos fitonutrientes fenólicos, como los ácidos hidroxibenzoicos (ácido clorogénico, ácido gentísico, ácido sirínico y ácido vanílico), ácidos hidroxicinámicos (ácido cumárico, ácido ferúlico y ácido 5-cafeoilquínico), hidroxiquinonas (arbutina), flavonoides (catequina y epicatequina), flavonoles (quercetina, isorhamnetin y kaempferol) y antocianinas se han identificado en las frutas de peras occidentales y orientales, que pueden explicar los efectos antioxidantes y antiinflamatorios y la coloración de las frutas de pera y sus productos. Además, los carotenoides como el betacaroteno, la luteína y la zeaxantina también son fitonutrientes importantes contenidos en las peras (Kolniak-Ostek 2016; Li y col. 2016).

**Tabla 1.1. Composición de nutrientes de peras frescas. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japón (MECSST 2015).**

<b>Tipo</b>	<b>Nutriente</b>	<b>Por 100g</b>
	Agua	83,71- 85,00
	Energía (kcal)	53,00 – 58,00
<b>Macronutrientes</b>	Proteínas (g)	0,30 – 0,38
	Cenizas (g)	0,33
	Lípidos totales (g)	0,10 – 0,12
	Carbohidratos (g)	14,00 – 15,56
	Fibra dietaria (g)	2,00 - 3,10
	Sacarosa (g)	9,80
<b>Minerales</b>	Calcio (mg)	9,00
	Hierro (mg)	0,17
	Magnesio (mg)	7,00
	Fosforo (mg)	11,00
	Potasio (mg)	119,00
	Sodio (mg)	1,00
	Zinc (mg)	0,10
	Cobre (mg)	0,082
<b>Vitaminas</b>	Vitamina C (mg)	3,00 - 4,20
	Tiamina (mg)	0,012
	Riboflavina (mg)	0,025
	Niacina (mg)	0,157
	Ácido pantoténico (mg)	0,048
	Vitamina B6 (mg)	0,028
	Ácido fólico (µg)	0,00
	Colina (mg)	5,70
	Vitamina A, RAE (mg)	13,80
	Vitamina E, α-tocoferol (µg)	0,12
	Vitamina K, filoquinona (µg)	4,50

### 1.4.1.2. Producción de peras

En el marco regional e internacional de la producción mundial de frutas, las peras representan aproximadamente el 4% del total de las frutas. En el año 2005, la producción mundial de peras alcanzó los 19 millones de toneladas (t) con un crecimiento promedio anual de 4,2% en el período 1990-2005 y en el periodo 2010-2011 se registró una producción de 20 millones de toneladas. La industria en Argentina ha sostenido su producción desde el año 2005 (Figura 1.5). Cabe destacar que la provincia de Río Negro es la productora de peras más importante a nivel nacional (75%), seguida por las provincias de Mendoza (13%) y Neuquén (12%). El consumo per cápita de la pera se estima en 3,12 kg/año. El principal subproducto de esta fruta son los jugos concentrados, ubicando a la Argentina como el segundo productor mundial de jugo concentrado de pera (Bevilacqua & Storti 2011). Representan entre el 0,5% y 1% de la producción de jugos concentrados y son utilizadas por las industrias elaboradoras de bebidas y perfumes. También, la fruta deshidratada, que satisface a los mercados más exigentes y que se comercializan bajo distintas formas (cubitos, rodajas, cubos con cáscara, trozos, gajos, cubos sin aditivos y polvos) son producidos en el país (Barda 2011).



**Figura 1.5.** Producción Argentina de peras en los últimos años en miles de toneladas (t)

(<http://www.cafi.org.ar/produccion-de-peras-y-manzanas-en-argentina/>,  
[http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/html/32/32\\_06\\_Frutas\\_Pera.htm](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/html/32/32_06_Frutas_Pera.htm),  
<https://intainforma.inta.gob.ar/la-argentina-es-el-primer-exportador-mundial-de-peras>)



En relación a las exportaciones mundiales, en 2004 se comercializaron 1,9 millones t de peras. Argentina es el primer exportador de pera del mundo (16%), luego China y Holanda (Sánchez & Villareal 2012). En Argentina, el 45% de las exportaciones de frutas corresponden a manzanas y peras. En el año 2004, se exportaron 206 mil t de manzanas y 320 mil t de peras. Cabe mencionar que el comercio internacional de peras es comparativamente elevado a diferencia de las manzanas que tienen una baja inserción internacional.

La cosecha de pera comienza a principios de enero y finaliza a mediados de marzo dependiendo de la variedad. El almacenamiento en cámaras frigoríficas permite regular la producción que ingresa a los galpones de empaque y salir al mercado en contraestación con mejores precios. En general y, para extender su vida útil, se cosechan antes del punto de madurez comestible (madurez comercial) y se almacenan en frío unos pocos meses como la *Williams* o más tiempo como la *Packham's Triumph*, variedad que se puede encontrar en el mercado hasta 9-10 meses de haber sido cosechada (Barda 2011).

En este contexto, la elección de pera variedad *Packham's Triumph* se realiza considerando la posibilidad de adquisición durante todo el año, características de comercialización constantes, amplio período de almacenamiento y por su bajo costo.

#### **1.4.1.3. Frutillas (*Fragariae*)**

La variedad comercial de la frutilla corresponde a *Fragaria Ananassa* (Duch) y pertenece a la familia de las Rosáceas (*Rosaceae*). Es una planta de porte herbáceo, perenne, de vida productiva corta y su cultivo es anual o bianual, según los climas. Proviene del cruzamiento de dos especies americanas: *F. chiloensis* (sudamericana) y *F. virginiana* (norteamericana). Recién en el siglo XX, se produjo la explotación comercial a gran escala de esta fruta. Junto a otras frutas, conforma los llamados “frutos del bosque” o “berries” (por su denominación en inglés) y como tal, se destaca por sus cualidades hipocalóricas, antioxidantes y nutritivas, entre otras. Por su buen sabor y aroma, tradicionalmente se utiliza para el consumo fresco, y se procesa congelada para dulces y mermeladas e integra un número importante de productos como yogures, confituras y conservas (Santos & Kirchbaum 2015). Su valor nutricional como alimento se encuentra representado en el aporte moderado de carbohidratos (Tabla 1.2). Es una buena fuente de vitamina C, contiene un 90% de agua,

ácidos orgánicos como el cítrico, málico, oxálico y salicílico, es rica en minerales, como potasio y magnesio, y en compuestos activos presenta pigmentos, aceite esencial, taninos y flavonoides (Restrepo Fernández, 2009).

#### **1.4.1.4. Producción de frutillas**

El comercio internacional de frutillas, tanto frescas como procesadas, ha crecido en los últimos años. Según datos de TradeMap (<https://www.trademap.org/Index.aspx>), en 2013 se registraron ventas mundiales por 1.533.000 t, 29% más que lo vendido en 2006. De este volumen, 53% corresponde a frutilla en su estado natural, 38% es frutilla congelada y 9% frutilla preparada o conservada. Si bien la frutilla fresca es la principal forma de comercialización, las congeladas han tenido un mayor desarrollo. La tasa media anual de crecimiento de la frutilla congelada en 2008-2013 fue de 4,4%, mientras que la frutilla fresca registró una tasa media anual de 3,6%. La frutilla preparada o conservada no presentó grandes variaciones, con una tasa media de crecimiento de 1,4%. El precio promedio mundial de la frutilla congelada de exportación en el año 2013 alcanzó USD 1,5 por kg, mientras que la frutilla fresca llegó casi al doble en USD 2,82 por kg.

Países de Europa presentan un consumo medio de frutillas cercano a 1,6 kg per cápita al año, según datos del Economic Research Council (ERS, <http://ercouncil.org/>). En Estados Unidos el consumo es mayor, llegando a 3,6 kg en el año 2012. En mercados emergentes para la industria de los berries (México, Brasil, China, Corea del Sur y Japón), el consumo medio bajo a 2,6 gramos (Lepe 2014).

En una comparación entre variedades de frutos del bosque (berries), en 2009, las frutillas y cerezas representaron un 70% de la producción y comercio mundial, seguida por los arándanos. En Argentina, las frutillas se producen en un número importante de provincias: Buenos Aires, Santa Fe, Corrientes, Misiones, Tucumán, Salta, Jujuy, Río Negro y Neuquén. En todas las provincias mencionadas, se localizan productores, cooperativas y empresas involucradas con la cadena.

A nivel nacional, la cadena de la fruta fina está constituida por productos sin transformación a los que se les ha aplicado alguna mejora, como por ejemplo los frutos mínimamente procesados, congelados y productos de primera transformación como compotas, jaleas y mermeladas. A nivel internacional, existe una amplia gama de productos

basados en este tipo de frutos, tales como frutos deshidratados, criocongelados, purés concentrados, extractos de frutos, así como diversos alimentos que contienen frutos enteros o rellenos tipo mermeladas y jaleas, entre otros. Asimismo, en estos distintos grados de producción y procesamiento se están aplicando diversos tipos de tecnologías, incluyendo tecnologías no térmicas y herramientas biotecnológicas tendientes a mejorar las características genéticas y biológicas, propiedades nutricionales de los frutos, aumentar su vida postcosecha, mejorar su conservación, entre otros.

**Tabla 1.2. Composición de nutrientes de frutillas frescas (Gündüz 2016).**

<b>Tipo</b>	<b>Nutriente</b>	<b>Por 100g</b>
	Agua	90,95
	Energía (kcal)	32,00
<b>Macronutrientes</b>	Proteínas (g)	0,67
	Cenizas (g)	0,40
	Lípidos totales (g)	0,30
	Carbohidratos (g)	7,68
	Fibra dietaria (g)	2,00
	Azúcares (g)	4,89
	Sacarosa (g)	0,47
	Glucosa (g)	1,99
	Fructosa (g)	2,44
<b>Minerales</b>	Calcio (mg)	16,00
	Hierro (mg)	0,41
	Magnesio (mg)	13,00
	Fosforo (mg)	24,00
	Potasio (mg)	153,00
	Sodio (mg)	1,00
	Zinc (mg)	0,14
	Cobre (mg)	0,05
	Manganeso (mg)	0,39
	Selenio (µg)	0,40

**Tabla 1.2. Composición de nutrientes de frutillas frescas (Gündüz 2016)  
(Continuación).**

<b>Tipo</b>	<b>Nutriente</b>	<b>Por 100g</b>
<b>Vitaminas</b>	Vitamina C (mg)	58,80
	Tiamina (mg)	0,024
	Riboflavina (mg)	0,022
	Niacina (mg)	0,386
	Ácido pantoténico (mg)	0,125
	Vitamina B6 (mg)	0,047
	Ácido fólico (µg)	24,00
	Colina (mg)	5,70
	Betanina (mg)	0,20
	Vitamina B12 (µg)	0,00
	Vitamina A, RAE (µg)	1,00
	Luteína + zeaxantina (µg)	26,00
	Vitamina E, α-tocoferol (mg)	0,29
	β-tocoferol (mg)	0,01
	γ-tocoferol (mg)	0,08
	δ-tocoferol (mg)	0,01
	Vitamina K, filoquinona (µg)	2,20

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

De lo expuesto anteriormente surge el objetivo de estudiar la aplicación de recubrimientos comestibles tales como alginato de sodio y pectina de bajo metoxilo, en peras variedad Packham'sTriumph (*Pyrus communis*) y frutillas variedad *Fragaria Ananassa* (*Fragariinae*), con el fin de evaluar la capacidad de los mismos para impedir o reducir la incorporación de solutos durante el proceso de DO como así también de preservar la calidad del producto final.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

Se establecen los siguientes objetivos específicos para el desarrollo del trabajo:

- 1- Emplear recubrimientos comestibles (alginato y pectina) para revestir cubos de peras variedad *Packham's Triumph* y rodajas o mitades frutillas variedad *Fragaria Ananassa*, los cuales serán sometidos a deshidratación osmótica (DO).
- 2- Evaluar las características físicas de adhesividad y cambios de espesor de los recubrimientos durante el contacto con soluciones deshidratantes de sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina.
- 3- Determinar experimentalmente cinéticas de deshidratación e incorporación de medios deshidratante durante la DO, con distintas condiciones de operación (temperaturas de 20 y 40°C, concentración del medio de 40 y 60 °Brix) de productos sin recubrimiento y con recubrimiento.
- 4- Evaluar el efecto de la DO sobre las características de calidad de los productos (con y sin recubrimiento) tales como cambios de color, cambio de textura (Firmeza), microestructura, valor nutricional (capacidad antioxidante y fenoles totales) y análisis sensorial.
- 5- Evaluar la capacidad barrera de los recubrimientos comestibles para cada producto fruti-hortícola, en distintas condiciones de operación.

### **1.5.3. Hipótesis**

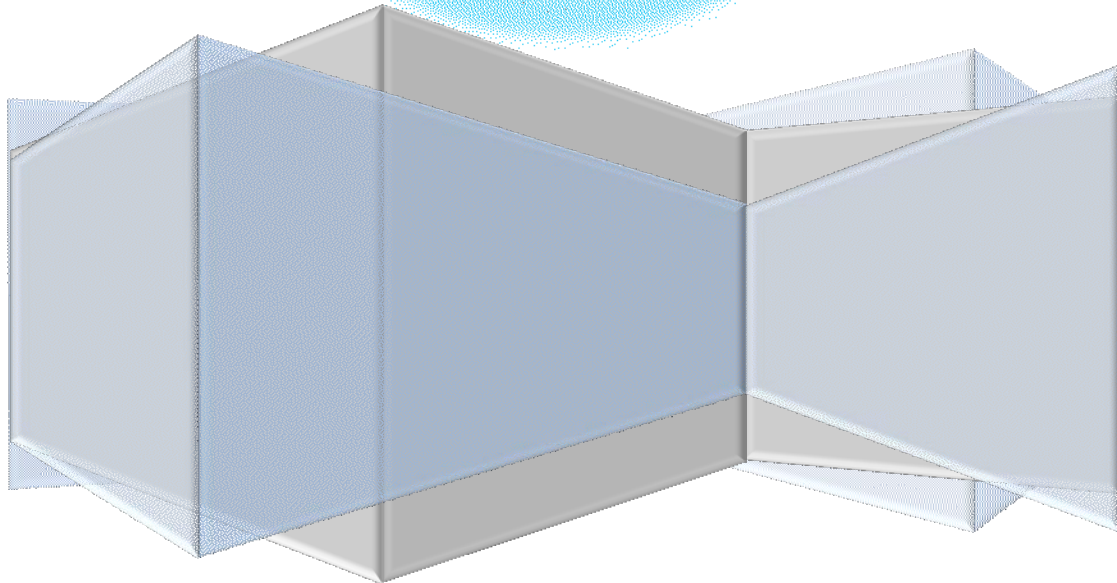
La selección del recubrimiento con mejor función de barrera durante la deshidratación osmótica permitirá la obtención de productos de humedad intermedia con alto valor agregado, conservando la calidad organoléptica y nutricional similar a la de las frutas frescas.



# Capítulo 2

## MATERIALES Y MÉTODOS

Edgar Mario Soteras



## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Materiales

#### 2.1.1. Frutos seleccionados

Se realizaron los experimentos sobre dos matrices frutihortícolas: peras y frutillas. En el primer caso, la elección del fruto se realizó considerando la posibilidad de adquisición durante todo el año, características constantes de comercialización y amplio período de almacenamiento. En este caso, la matriz experimental escogida para los ensayos fue pera *Packham'sTriumph*, cv. *Pyrus Communis* (Figura 2.1) con una humedad del  $85,8 \pm 1,7\%$  b.h. (base húmeda) y un contenido de sólidos solubles de  $12,8 \pm 1,8\%$ . Se seleccionaron según su color y grado de maduración (cada lote de frutos fue escogido *visualmente* y a través de la firmeza al tacto) para garantizar una condición inicial más homogénea en todos los tratamientos. Las peras fueron almacenadas en una cámara de 0°C hasta su utilización.



**Figura 2.1. Pera *Packham'sTriumph***

Las peras fueron cortadas en forma de cubos de 1 cm de lado y se utilizó solo la pulpa, esto permitió un aprovechamiento de la mayor parte de la fruta y la forma seleccionada, las condiciones teóricamente favorables para la transferencia de materia y calor.

A partir de los resultados obtenidos en pera, las condiciones de proceso más favorables se extrapolaron en frutillas (*Fragaria Ananassa* Var. *Camarosa*, Figura 2.2), con una humedad del  $88,03 \pm 0,96\%$  (b.h.) y un contenido de sólidos solubles de  $9,03 \pm 0,06\%$ . Las mismas se seleccionaron según su color y grado de maduración (cada lote de frutillas fue seleccionado visualmente y a través de la firmeza al tacto) para garantizar una condición inicial más homogénea en todos los tratamientos. Esta fruta se seleccionó debido a su alto contenido nutricional (antioxidantes), y su empleo en varias preparaciones con helados, postres, mermeladas, entre otros. Las frutillas fueron almacenadas en cámara de  $0^{\circ}\text{C}$  hasta su utilización.

Las mismas se utilizaron enteras y en diferentes formas de preparación: bastones de 1 cm de lado cortados en forma perpendicular al eje del pedúnculo y rodajas de 1 cm de espesor cortadas paralelas al eje del pedúnculo, esto permitió un aprovechamiento integral del fruto.



**Figura 2.2.** Frutilla *Fragaria Ananassa* Var. *Camarosa*

### **2.1.2. Selección y características de los materiales de recubrimiento**

Los materiales de recubrimientos comestibles empleados fueron:

1. Alginato de Sodio (ALGINIC ACID SODIUM SALT, Powder, Viscosity 20-40 cP), adquirido en Sigma-Aldrich®.
2. Pectina de bajo metoxilo (tipo LM 102 AS, “GENU®-Pectin”), adquirida en CPKelco.
3. Lactato de Calcio (Calcio Lactato.5H<sub>2</sub>O) adquirido en Parafarm®.



Todos los materiales fueron de grado alimenticio.

### 2.1.3. Selección y características de los agentes osmóticos para la Deshidratación Osmótica (DO)

El agente osmodeshidratante debe ser compatible con el alimento a deshidratar. Los azúcares utilizados fueron:

1. Sacarosa, adquirida en el mercado local (Azúcar comercial, Ledesma Argentina).
2. Jarabe de glucosa, adquirido en la empresa El Bahiense, Argentina (Azúcar comercial).
3. Maltodextrina de Maíz, adquirida en la empresa El Bahiense, Argentina (Azúcar comercial, Zhucheng Dongxiao Biotechnolog y Co. Ltd. China).

Las especificaciones de cada producto fueron suministradas por el fabricante y todos tuvieron grado alimenticio. En la siguiente Tabla se resumen las condiciones de composición y concentración de los sustratos utilizados para formar las soluciones.

**Tabla 2.1. Tipo de sustrato, composición y concentración.**

Tipo de Sustrato	Sacarosa	Jarabe de glucosa	Maltodextrina
	(Disacárido)	(Mono y disacáridos)	(Alto PM)
	99,9%.	81,7 °Brix:	19% dextrosa
Composición		14,2% Glucosa,	equivalente (DE)
y concentración		11,7% Maltosa,	Sin presencia de
		10,2% Maltotriosa y	almidón.
		63,9% Maltotreosa y	
		Azúcares Superiores.	

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Caracterización de los hidrogeles

Los recubrimientos comestibles fueron formulados en distintas concentraciones y se practicó su aplicación sobre el producto frutihortícola seleccionado. Se evaluó la eficiencia

de la deshidratación de los hidrogeles de alginato y pectina con el complemento de lactato de calcio, durante la DO.

En primer lugar, se investigó el empleo de distintas concentraciones a modo de obtener buenas propiedades mecánicas y garantizar su permanencia durante la DO. Con esta finalidad, se realizó el siguiente experimento:

Se ensayaron diferentes concentraciones de las soluciones de Alginato (1; 1,5; 2% p/p), Pectina (1; 2; 3% p/p), y del lactato de calcio (2; 5; 10% p/p), estos valores fueron reportados en literatura (Khin y col. 2006; Matuska y col. 2006; Khin y col. 2007a; Mitrakas y col. 2008; Jalaee y col. 2011; Ferrari y col. 2013; Galus & Lenart 2013; Silva y col. 2014; Zhou y col. 2014; Mauro y col. 2016; Mao y col. 2017). Las soluciones de los hidrogeles fueron puestas en contacto por goteo con la solución de lactato de calcio, a través de una bomba peristáltica (Minipuls 2, Marca GILSON), a una velocidad de 100 pulsos por minutos y a temperatura ambiente, formando de esta manera pequeñas gotas de gel, las cuales fueron recolectadas y luego lavadas con agua corriente. Las mismas fueron agrupadas en cápsulas contenedoras de 40 mm de diámetro. Las soluciones de los hidrocoloides fueron coloreadas con rojo de Allura (E129, Rojo Allura AC) para una mejor observación de la presencia del hidrogel.

Para determinar la resistencia mecánica de los diferentes hidrogeles, se realizó un ensayo de compresión con un texturómetro Universal Testing Machine, modelo TATX2i marca Stable Micro Systems (Surrey, Inglaterra), utilizando una sonda de compresión SMS P/35 (Figura 2.3). La distancia de compresión escogida fue de 1 mm y el ensayo se realizó a una velocidad de 0,5 mm/s y a temperatura ambiente.

A partir de los experimentos, se seleccionó las combinaciones de las concentraciones de los diferentes materiales para la formación de hidrogeles, que presentaron mayor resistencia mecánica.

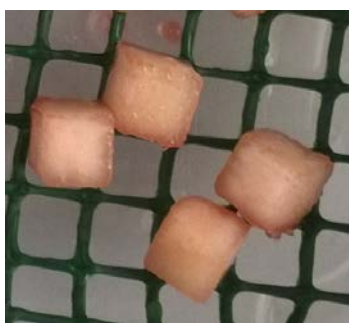
Posteriormente, los recubrimientos fueron aplicados sobre cubos de peras en un proceso de inmersión, el mismo fue descrito por diferentes autores (Khin y col. 2006; Khin y col. 2007; Mitrakas y col. 2008; Jalaee y col. 2011; Talens y col. 2012). A partir del método de aplicación y las concentraciones seleccionadas, se realizaron pre-ensayos para constatar visualmente la adherencia del recubrimiento, donde las soluciones de hidrocoloides fueron

nuevamente coloreadas con rojo de Allura (E129, Rojo Allura AC) para una mejor observación de la presencia del hidrogel (Figura 2.4).



**Figura 2.3. Experimentos de compresión de muestras de hidrogel.**

Para verificar la permanencia de los recubrimientos sobre los cubos de pera durante la DO se realizó un experimento con solución de azúcar bajo las condiciones de 60 °Bx y 40°C por un tiempo de 2 h. Estas últimas fueron seleccionadas por ser las condiciones de estudio máximas elegidas para trabajar los tratamientos osmóticos en esta Tesis y el tiempo por estar asociado a una mayor transferencia de masa lo cual podría afectar al recubrimiento (Lenart & Dabrowska 1999; Matuska y col. 2006; Azarpazhooh & Ramaswamy 2010; García y col. 2010).



**Figura 2.4. Cubos recubiertos con hidrogel coloreado.**

### **2.2.2. Comportamiento de los hidrogeles durante la DO**

La metodología para determinar la cinética de Deshidratación Osmótica (DO) de los hidrogeles (HG) seleccionados fue la siguiente: Un volumen de 10 mL de la solución del hidrocoloide, se dispersó homogéneamente en una placa de Petri que contenía una fina capa de solución de lactato de calcio. Posteriormente, se roció con solución de lactato de calcio hasta cubrir completamente la capa de HG. Luego de 5 min, se escurrió la solución excedente para recuperar el HG generado. Los HG formados fueron inmersos en las soluciones hipertónica de los azúcares seleccionados bajo las siguientes combinaciones de concentración - temperatura 40 °Bx – 40°C y 60 °Bx – 40°C. Las deshidrataciones se llevaron a cabo con agitación constante de 100 rpm en un Shaker, (marca FERCA, modelo TT400, provisto de termocuplas para el control de temperatura, Figura 2.5) por tiempos de 0,5; 1 y 2 h.

Trascurrido el tiempo de deshidratación, se procedió a la extracción de las muestras, escurriendo el excedente de la solución de azúcar y lavando los HG rápidamente con agua destilada. Una vez realizado el acondicionamiento de las muestras, se registraron los pesos de las mismas. Todos los ensayos se realizaron por duplicado.

### **2.2.3. Preparación y aplicación de los recubrimientos en las muestras**

A partir de los ensayos preliminares, se prepararon soluciones acuosas de Alginato de sodio (AS) al 2% (p/p), Pectina de bajo metoxilo (PBM) al 3% (p/p) y de lactato de calcio al 5% (p/p). La metodología utilizada para el recubrimiento de los cubos de pera fue la siguiente:

Las peras fueron lavadas, peladas y cortadas en cubos de 1 cm<sup>3</sup>. Los cubos de peras fueron pesados (aprox. 50 gr. de muestra). Luego se sumergieron primero en la solución del hidrocoloide, AS 2% p/p y PBM 3% p/p durante 5 min., según el caso, luego se escurrió la solución excedente (2 min.) y se sumergieron posteriormente en solución de lactato de calcio 5% p/p durante 5 min. con el fin de producir la gelificación química (hidrogel). Luego se escurrieron nuevamente (2 min.) y se registró el peso final.

En frutilla, se practicaron las siguientes metodologías de recubrimiento:

- Recubrimiento simple: Frutillas enteras, en rodajas y bastones.
- Recubrimiento Doble: Frutillas en bastones.

Para el recubrimiento simple se sumergieron las frutillas en solución del hidrocoloide, AS 2% p/p o PBM 3% p/p durante 5 min, luego se escurrieron y posteriormente fueron inmersos en la solución de lactato de calcio (5% p/p). Para el doble recubrimiento se procedió de la misma manera con un intervalo de 15 min de espera entre las aplicaciones del recubrimiento. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente y por duplicado.

#### **2.2.4. Deshidratación Osmótica (DO)**

Las cinéticas de deshidratación osmótica se determinaron experimentalmente bajo distintas condiciones de operación (temperaturas, concentración del medio y tiempo) sobre los productos sin recubrimiento y con recubrimiento. Se trabajó con soluciones previamente preparadas de sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina, de concentraciones conocidas, estandarizadas utilizando un refractómetro digital (Hanna Instruments modelo HI96801, USA).

Los cubos de pera con y sin recubrimiento fueron sometidos a DO por inmersión en soluciones hipertónicas bajo las siguientes combinaciones de concentración y temperatura: 40 °Bx – 20°C, 40 °Bx – 40°C, 60 °Bx – 20°C y 60 °Bx – 40°C, condiciones adoptadas en varios ensayos de deshidratación osmótica por diferentes autores (Khin y col. 2006; Lazarides y col. 2007; García y col. 2010; Jalae y col. 2011; Giovanelli y col. 2012; Mavroudis y col. 2012; Talens y col. 2012; Abraão y col. 2013; Ferrari y col. 2013). Las experiencias se desarrollaron con agitación constante de 100 rpm en un Shaker (marca FERCA, modelo TT400, Figura 2.5) a temperatura controlada y por tiempos de 1, 2, 4, 8 y 16 h.

Las frutillas enteras, en rodajas y en bastones se deshidrataron osmóticamente en las mejores condiciones operativas encontradas en peras.

Trascurrido el tiempo de deshidratación, se procedió a la extracción de las muestras, la cual se realizó escurriendo la solución excedente y lavando los cubos rápidamente con agua destilada. Luego se secaron con papel absorbente y se registraron los pesos de las mismas. Todos los ensayos se realizaron por duplicado.



**Figura 2.5. Disposición de los recipientes contenedores en Shaker, marca FERCA, modelo TT400.**

## **2.2.5. Determinaciones de los parámetros fisicoquímicos y de calidad de las muestras osmodeshidratadas**

### **2.2.5.1. Determinación de la humedad**

La determinación de la humedad de las muestras con y sin procesamiento de DO se realizó por secado en estufa a 70°C registrando el peso en las primeras 48 h y hasta obtener peso constante (AOAC 1990). Todas las pesadas se realizaron a temperatura ambiente. Las muestras fueron analizadas por triplicado.

El contenido de humedad (WC) se determinó por la siguiente relación:

$$WC (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad (1)$$

Donde,

$m_i$  = masa inicial de la muestra

$m_f$  = masa final de la muestra

### **2.2.5.2. Determinación de sólidos solubles**

La determinación de sólidos solubles se realizó por medio de un refractómetro digital (Hanna Instruments modelo HI96801, USA) midiendo los grados Brix (°Bx) sobre el

extracto obtenido del prensado y filtrado de muestras frescas y tratadas, a temperatura ambiente y por triplicado.

Los grados Brix se definen de la siguiente manera:

$$^{\circ}Bx = \frac{m_a}{m_T} \quad (2)$$

Donde,

$m_a$  = masa de azúcares en la muestra

$m_T$  = masa total de la muestra

### 2.2.5.3. Cálculo y expresión de resultados

Los resultados se analizaron según las siguientes ecuaciones:

$$WR_{DO} = \frac{(m_{iDO} - m_{fDO})}{m_{iDO}} * 100 \quad (3)$$

$$WL_{DO} = WC_0 - WC_{DO} * \left(1 - \frac{WR_{DO}}{100}\right) \quad (4)$$

$$SG_{DO} = TS_{DO} * \left(1 - \frac{WR_{DO}}{100}\right) - TS_0 \quad (5)$$

Donde,  $WR_{DO}$  = Pérdida de peso porcentual en la DO (%);  $m_{iDO}$  = Masa total de muestra sin tratar (g);  $m_{fDO}$  = Masa final de las muestras luego de la DO (g);  $WL_{DO}$  = Pérdida de agua (%);  $WC_0$  = Contenido inicial de humedad =  $100 * (\text{g agua inicial} / \text{g muestra inicial})$ ;  $WC_{DO}$  = Contenido de humedad después de la DO =  $100 * (\text{g agua} / \text{g muestra tratada})$ ;  $SG_{DO}$  = Ganancia de Sólidos (%);  $TS_0$  = Contenido de Sólidos totales iniciales =  $100 * (\text{g sólidos inicial} / \text{g muestra inicial}) = 100 - Wc_0$ ;  $TS_{DO}$  = Contenido de Sólidos totales después de la DO =  $100 * (\text{g sólidos} / \text{g muestra tratada})$ .

Para evaluar la capacidad barrera de los recubrimientos comestibles, se calculó la relación másica entre la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en función del tiempo. Este parámetro permitió evaluar la eficiencia de la deshidratación (ED):

$$ED = \frac{WL_{DO}}{SG_{DO}} \quad (6)$$

#### 2.2.5.4. Determinación de color antes de la DO

La cinética de los cambios de color de las muestras frescas (con y sin recubrimiento) se midió con el empleo de un colorímetro Minolta CR-300 (Figura 2.6). Los cubos de peras con y sin recubrimiento fueron expuestos al entorno del laboratorio y temperatura ambiente (25°C) por tiempos de 0,25; 0,50; 0,75; 1; 1,5; 2 y 4 h.

Las mediciones se realizaron sobre una superficie generada por la agrupación de cubos aleatoriamente elegidos y alternando sus caras cada 3 mediciones. Se realizaron un total de 12 mediciones para cada duplicado. Se analizaron los parámetros de la escala CieLab: L\* (luminosidad), a\* (grado de componente rojo o verde) y b\* (grado de componente amarillo o azul). A partir de ellos, se calculó la diferencia de color ( $\Delta E$ ), que indica el cambio de color total de las muestras tratadas con respecto a una referencia (muestra fresca):

$$\Delta E = \sqrt{((L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2)} \quad (7)$$

Donde el subíndice  $_0$  representa la condición de referencia.



Figura 2.6. Disposición del colorímetro Minolta CR-300.

#### 2.2.5.5. Determinación de color después de la DO

La cinética de los cambios de color de las muestras (con y sin recubrimiento) se midió después de los diferentes tratamientos (DO) operando de la misma manera que en la sección anterior.



### 2.2.5.6. Determinación de textura

La textura se evaluó mediante un ensayo de punción empleando un texturómetro Universal Testing Machine, modelo TAXT2i, marca Stable Micro Systems (Surrey, Inglaterra), registrando la fuerza (N) en función del tiempo (s). En el experimento se empleó una sonda SMSP/3 de 3 mm de diámetro, la velocidad de penetración fue de 0,5 mm/s, la distancia de penetración fue de un 50% de la altura total de las muestras, este porcentaje fue seleccionado con el fin de registrar los cambios de estructura hasta el centro de la muestra.

Los valores obtenidos se normalizaron con respecto a los valores de las muestras frescas, a fin de disminuir las desviaciones. Se calcularon dos parámetros:

-Fuerza Normalizada de Penetración (FNP): definida como la relación entre la fuerza máxima para producir la fractura superficial de la muestra tratada ( $F_{m\acute{a}x}$ ) y la fuerza máxima para producir la fractura superficial de la muestra fresca ( $F_0$ ).

$$FNP = \frac{F_{m\acute{a}x}}{F_0} \quad (8)$$

-Trabajo Normalizado de Penetración (WNP): definido como la relación entre el área bajo la curva generada a partir del inicio de la medición hasta la  $F_{m\acute{a}x}$  en la muestra tratada ( $W_{m\acute{a}x}$ ) y en la muestra fresca ( $W_0$ ).

$$WNP = \frac{W_{m\acute{a}x}}{W_0} \quad (9)$$

Para cada una de las réplicas se midieron 15 cubos a temperatura ambiente (25°C). El siguiente gráfico esquematiza los parámetros analizados comúnmente en el análisis de textura (Zapata y col. 2010):



**Figura 2.7. Curva de fuerza – deformación generalizada.**

### **2.2.5.7. Determinación de la microestructura**

Con el fin de evaluar las características microestructurales de los recubrimientos seleccionados, tales como la adhesividad a la pulpa y los cambios de espesor durante las DO, se realizaron observaciones con Microscopio tipo Electrónico, subtipo SEM, sistema de emisión Fil de W (modelo Quanta200-marca FEI), en el Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF) (Departamento de Mecánica de la Facultad de Ingeniería – UNLP), a través del servicio de microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM). Se evaluaron las propiedades microestructurales antes y después del tratamiento osmótico.

### **2.2.5.8. Análisis de los compuestos funcionales**

Con el objeto de comparar la magnitud de los cambios a nivel nutricional generados por los tratamientos aplicados, se efectuó la determinación de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante.

Se prepararon extractos etanólicos a partir del siguiente procedimiento: Una porción representativa de muestras con y sin DO fue apartada, almacenada en freezer a  $-80^{\circ}\text{C}$ , luego liofilizada y conservada hasta su utilización. Cada una de las muestras liofilizadas fue sumergida en nitrógeno líquido y molidas posteriormente. Un gramo del polvo obtenido fue mezclado con 5 mL de etanol ( $96^{\circ}$ ) en vortex por 2 min y puesto en baño ultrasónico por 10 min a  $15^{\circ}\text{C}$ . Luego fueron centrifugados a 12000 rpm a  $5^{\circ}\text{C}$  por 10 min. El sobrenadante

fue recolectado y utilizado para los ensayos. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Las técnicas seleccionadas fueron:

1. Determinación de fenoles totales: se realizó a través del método de Folin-Ciocalteu con mínimas modificaciones (Chen y col. 2014). Se mezclaron 500  $\mu$ L del extracto de la muestra con 2,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido 1:10), y se añadió 4 mL de solución saturada de carbonato sódico (75 gr/L) en un vórtex por 2 min. Después de la incubación a temperatura ambiente durante 120 min y en ausencia de luz, la absorbancia de la mezcla se midió a 760 nm usando alcohol etílico 96% como blanco.

2. Capacidad Antioxidante: la medición de la capacidad antioxidante se realizó por escaneo del radical 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), en donde diferentes alícuotas del extracto (150, 200, 250, 300, 350 y 450  $\mu$ L) se diluyeron a 500  $\mu$ L con alcohol etílico 96%. Posteriormente se mezcló con 1 mL de reactivo de DPPH en un Eppendorf y se mezcló durante 2 min en vortex. Después de la incubación a temperatura ambiente durante 60 min y en ausencia de luz, la absorbancia de la mezcla se midió a 515 nm usando alcohol etílico 96% como blanco. Para medir la absorbancia se utilizó un espectrofotómetro Hitachi (modelo U-1900, Inglaterra).

Los resultados se expresaron en mg eq. ácido gálico/100 gr de materia seca (M.S.) y en porcentaje de retención para los compuestos fenólicos y en el caso de DPPH, se determinó la cantidad de extracto necesario para reducir la concentración inicial de DPPH en un 50%, cantidad que se definió como EC50 y se refirió a base seca ( $\mu$ L de Extracto EC50 / 100 gr de M.S.), también se calculó los porcentajes de retención de la capacidad antioxidante. Por otro lado, se estimó la correlación entre el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante.

#### **2.2.5.9. Análisis sensorial**

Para tener un conocimiento de los parámetros sensoriales alcanzados al final de los tratamientos y detectar las diferencias que pudieran existir entre las muestras, se realizó una prueba de comparación de pares unilateral. Las muestras seleccionadas fueron obtenidas

por DO, aplicando los recubrimientos propuestos y comparándolos con la situación sin recubrimientos.

El panel sensorial se conformó por 30 panelistas no entrenados que recibieron tres muestras de cubos de peras DO, una de las cuales fue la muestra control (sin recubrimiento) y las restantes estuvieron recubiertas. A cada uno de los panelistas, se les pidió comparar y marcar la intensidad de la diferencia que percibían para atributos definidos, con respecto al control, estos fueron: “Apariencia” (Juzga el color del producto y otras propiedades de apariencia tales como la forma física, tamaño y textura de la superficie, y las propiedades ópticas como brillo), “Firmeza” (Resistencia a la compresión ofrecida por la muestra, cuando se comprime entre los molares) y “Dulzor” (Intensidad de dulzor). La escala seleccionada para la evaluación de la diferencia fue de 5 puntos, desde “Sin diferencias” hasta “Intensa”. Además, para cada atributo evaluado, se pidió indicar cuál o cuáles muestras preferían (incluyendo el control) en base a ese mismo atributo.

A cada una de las muestras recubiertas se pidió evaluar qué nivel de aceptabilidad general consideraron, en una escala de 7 puntos, desde “Disgusta mucho” hasta “Gusta mucho”. En el Anexo E se agrega una imagen de la planilla utilizada por los panelistas.

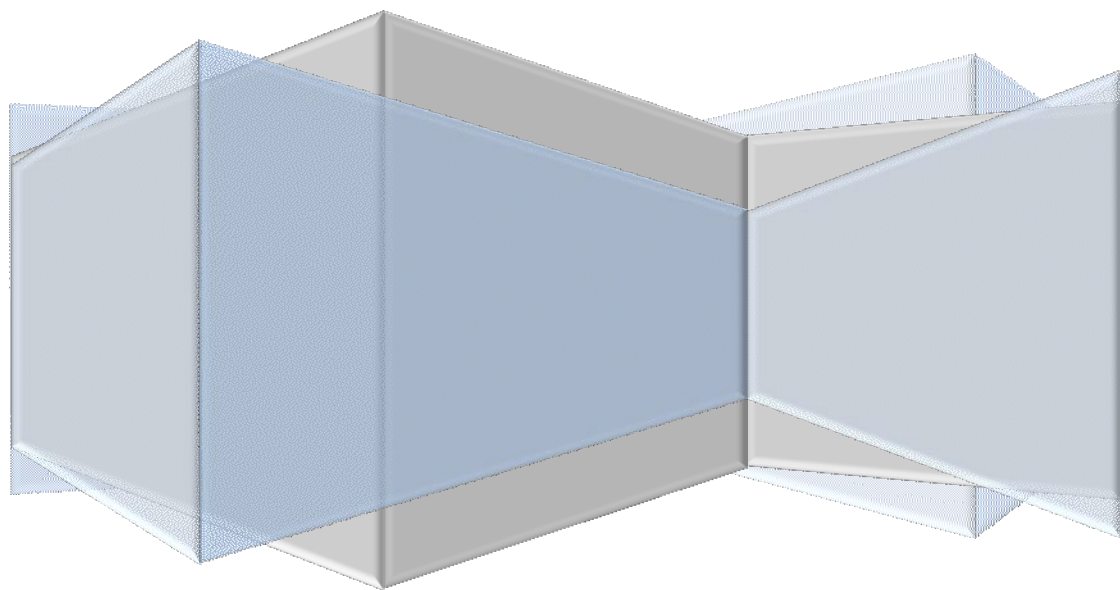
#### **2.2.5.10. Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los resultados fue desarrollado a través del software STATGRAPHICS PLUS 5.1, mediante un análisis de varianza ANOVA y contraste de Múltiple Rangos (Prueba de Tukey) para observar las diferencias entre los tratamientos con un nivel de confianza del 95%.

# Capítulo 3

## CARACTERIZACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE HIDROGELES.

**Soteras Edgar Mario**



### **3.1. Caracterización de la deshidratación osmótica de hidrogeles: Generalidades**

Previo al estudio de la aplicación de los hidrogeles sobre los productos, se analizaron, por un lado, las características mecánicas y texturales de los hidrogeles, por medio de la medición de la fuerza de compresión y, por otro lado, el comportamiento de los mismos como sistemas únicos durante la deshidratación osmótica (DO). Este análisis se realizó a través de los cambios de la pérdida de peso (WR, expresada en % pérdida de masa/masa inicial), pérdida de agua (WL, expresada en % masa de agua eliminada/masa inicial), ganancia de sólidos (SG, expresada en % masa de sólidos solubles ganados/masa inicial), sólidos solubles (SS, expresados en °Bx) y eficiencia de la deshidratación ( $ED = WL/SG$ ) para las diferentes condiciones de tratamiento, de manera tal que permitió observar el comportamiento de los HC para cada sustrato seleccionado.

En todos los casos la formulación de los hidrogeles comestibles (HC) se realizó persiguiendo las siguientes características (Wong y col. 1994):

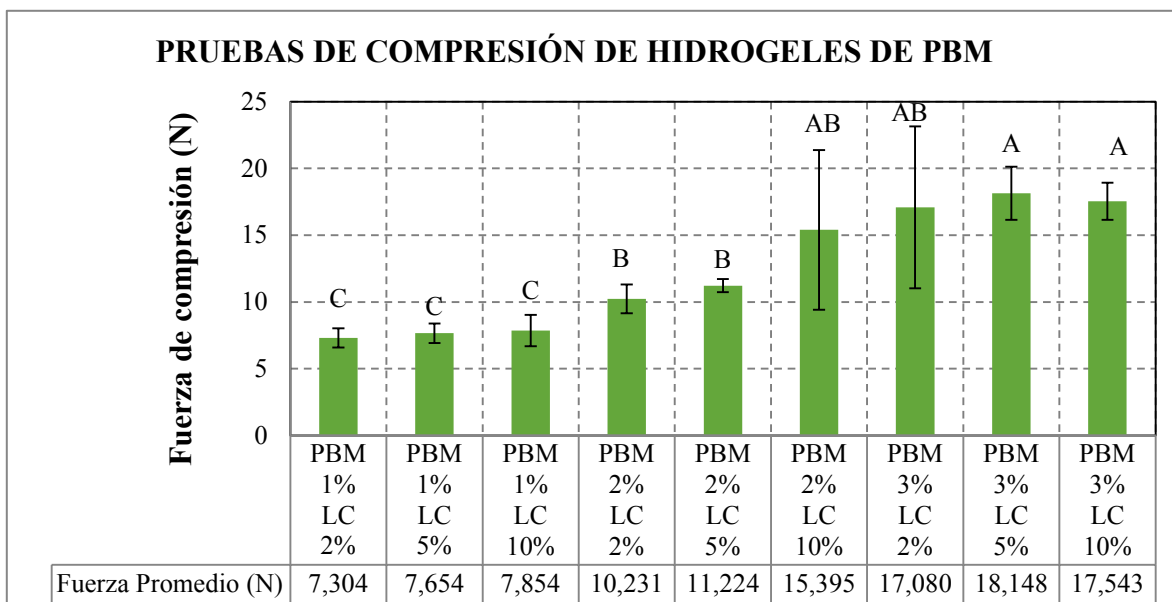
- Buenas propiedades sensoriales y mecánicas.
- Fácil y rápida formación.
- Alta difusividad de agua y baja difusividad de sólidos.
- El recubrimiento debe permanecer en la superficie húmeda sin ser disuelto completamente en la solución osmótica.

Los resultados se analizaron mediante un ANOVA de un solo factor, para relacionar las variables dependientes de mayor interés (WL, SG y ED) con los factores de procesamiento (tiempo y tipo de HC) en condiciones de operación determinadas (agente deshidratante y concentración del agente deshidratante).

### **3.2. Caracterización mecánica de los hidrogeles**

En la Figura 3.1, se observan los valores de fuerza de compresión para los hidrogeles constituidos por pectina de bajo metoxilo (PBM) y lactato de calcio (LC). En la misma, se puede notar que la fuerza se incrementa significativamente ( $p < 0,05$ ) con el aumento de la concentración del hidrocoloide PBM, mientras que la concentración de LC no tuvo una influencia significativa ( $p > 0,05$ ). A partir del ensayo, se extrae que los HC con una concentración de PBM al 3% con distintas concentraciones de LC, presentaron mayor firmeza estructural. De acuerdo con este resultado, se seleccionó esta concentración de

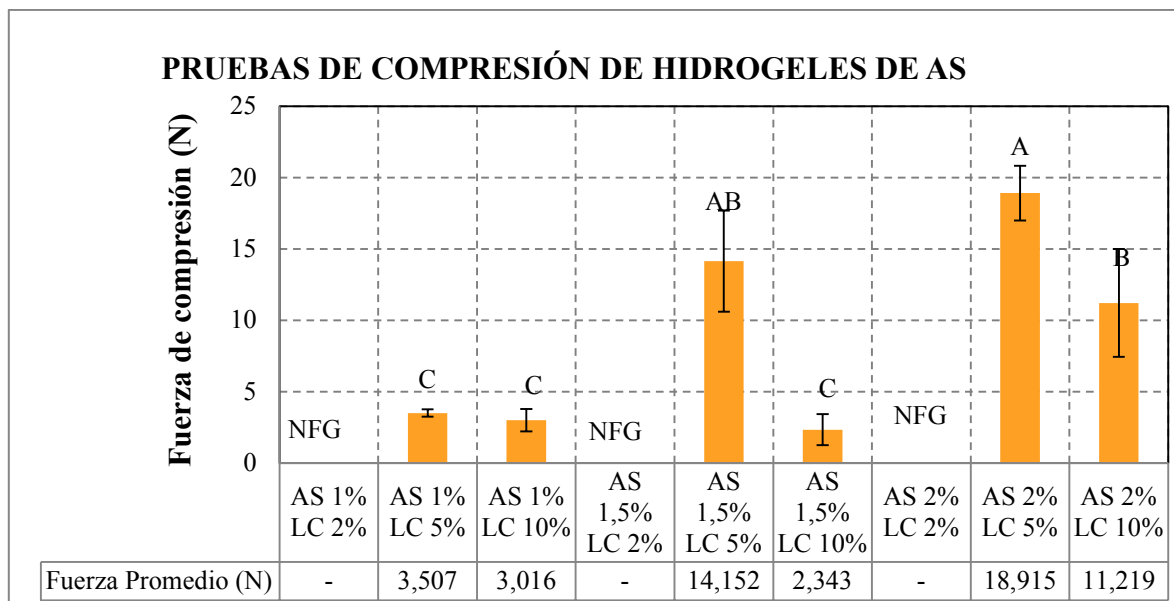
PBM para la formulación del hidrogel. Por otro lado, la concentración de 2% de LC presentó mayor desviación, por lo cual se descartó su utilización. Con respecto a las otras dos concentraciones estudiadas, al no presentar diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) una de otra, se escogió la concentración menor (5% de LC), de acuerdo básicamente a un criterio económico.



**Figura 3.1.** Fuerza de compresión (N) medida sobre los hidrogel de PBM con LC a diferentes concentraciones de preparación. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C) representan diferencias significativas entre las muestras de hidrogel, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ).

En la Figura 3.2, se presentan los valores de fuerza de compresión para los hidrogel constituidos por Alginato de Sodio (AS) y Lactato de calcio (LC). En la misma puede observarse que la fuerza se incrementa significativamente ( $p < 0,05$ ) con el aumento de la concentración del hidrocoloide AS y que la influencia de la concentración de LC fue significativamente apreciable ( $p < 0,05$ ) a concentraciones superiores al 1%. De este análisis, se extrae que la concentración de AS al 2% presentó un mayor valor de fuerza, lo que permitió seleccionar dicha concentración y garantizar mayor resistencia al colocarlo sobre el producto a recubrir y exponerlo a condiciones de procesos. Por otro lado, para todos los porcentajes de AS se observó que la concentración de LC al 2% no consiguió

formar un gel consistente para el ensayo propuesto, por la cual se descarta su utilización. Con respecto a las concentraciones de LC al 5% y 10%, si bien ambas formaron geles consistentes se escoge la concentración de 5% por dar la mayor fuerza registrada y, nuevamente, por un criterio económico.



**Figura 3.2.** Fuerza de compresión (N) medida sobre los hidrogel de AS formulados con LC a diferentes concentraciones. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C) representan una diferencia significativa respecto de las muestras, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). NFG: No Forma Gel consistente.

Los resultados obtenidos (Figura 3.2) muestran que no es posible obtener un gel de mayor consistencia a partir de cierta concentración de lactato de calcio (5% aproximadamente). En el caso de las pectinas de bajo metoxilo, la estructura es semejante a la "caja de huevos" que presentan los geles de alginato, pero algo menos ordenada, dada la presencia de grupos esterificados entre los galacturónicos sin esterificar. Según Miguel Calvo (2005), la concentración de calcio es importante hasta una cierta cantidad, que depende de cada tipo específico de pectina, y este valor se conoce como "saturación de calcio". Por encima de este valor, un agregado de calcio no tiene efecto, como hemos observado, o incluso, en algunos casos, puede llegar a debilitar el gel. Las pectinas de bajo metoxilo forman geles de consistencia máxima con cantidades de calcio que oscilan de 20 a 100 mg por gramo de



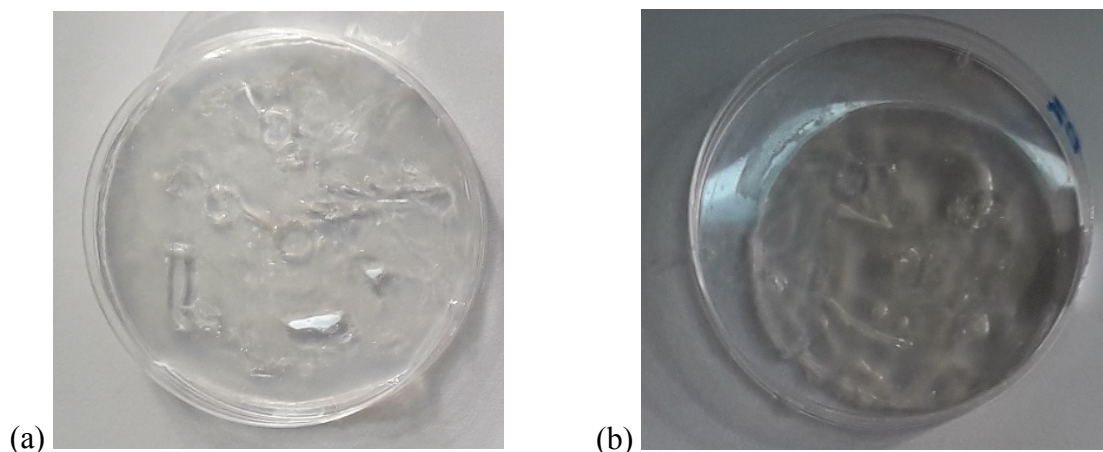
pectina. Aunque otros autores la ubican entre 60 a 100 mg por gramo de pectina (Turquois y col. 2000).

Respecto de alginato, el mismo autor (Calvo 2005) explica que las cadenas pueden asociarse en forma múltiple, dependiendo de la cantidad de calcio presente, dando más rigidez al gel. Para la formación de estas estructuras de forma ordenada, es importante que el calcio se incorpore en ellas lentamente, controlando la difusión del calcio desde el exterior, siendo eficaz especialmente en materiales de tamaño pequeño o cuando la velocidad de formación no es importante. Sin embargo, en el presente trabajo, la reacción de unión es muy rápida e irreversible entre cationes multivalentes y alginatos, con lo cual el gel final puede exhibir una distribución no homogénea, con mayor concentración en la superficie y disminuyendo gradualmente hacia el centro del gel (Draget 2000). Esto último, plantea la hipótesis de que la caída significativa de la fuerza del gel para concentraciones de lactato de calcio de 10%, pudiéndose atribuir a dicha heterogeneidad.

A partir de estos resultados, se decidió el empleo de las concentraciones de 2% en Alginato de Sodio y 5% en Lactato de Calcio denominados a partir de aquí como Alg y el empleo de las concentraciones de 3% en Pectina de bajo Metoxilo y 5% en Lactato de Calcio denominados a partir de aquí, Pec, para la formación de los recubrimientos.

Esta formulación está en concordancia con lo observado por otros autores, los cuales han utilizado concentraciones similares para la constitución de recubrimientos comestibles potencialmente aprovechables en la deshidratación osmótica con excelentes resultados (Camirand y col. 1992; Lenart & Dabrowska 1999; Jalae y col. 2011).

La forma inicial de los HC antes de ser expuestos a la DO se muestra en la Figura 3.3. Al inicio de los tratamientos de DO, se observa un menor tamaño en los hidrogeles Alg respecto de Pec, probablemente esta estructura inicial se pueda atribuir a la estructura química de los hidrocoloides, los hidrogeles de alginato son más ordenados que los de pectina como se explicó anteriormente (Galus & Lenart 2013).



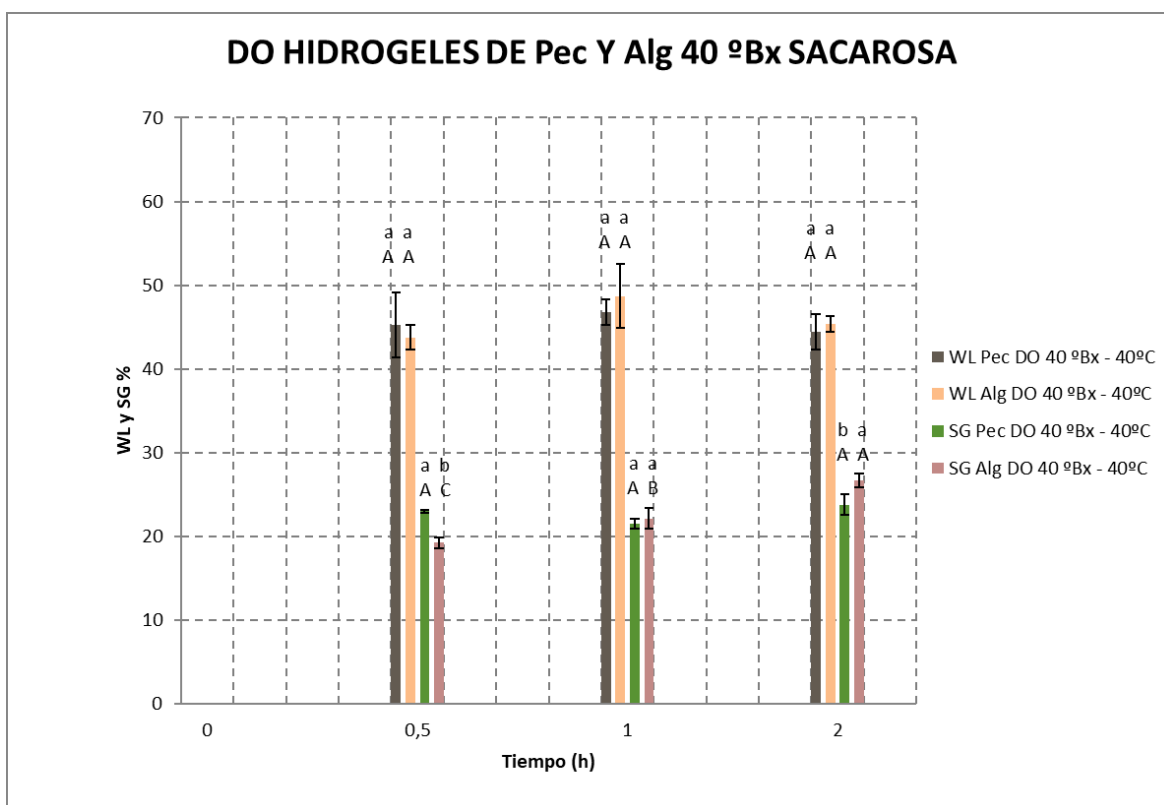
**Figura 3.3.** Fotografías digitales de los Hidrogeles Comestibles (HC) (a) hidrogel Pec y (b) hidrogel Alg.

### 3.3. Deshidratación Osmótica (DO) de los hidrogeles seleccionados

Las cinéticas de deshidratación de los hidrogeles comestibles (HC) se determinaron experimentalmente utilizando diferentes tipos de solutos, como pruebas preliminares a la aplicación sobre los alimentos. Se emplearon soluciones de sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina, de concentraciones, 40 y 60 °Bx y a una temperatura de 40°C. Los valores detallados de las cinéticas pueden observarse en el Anexo A.

Para el caso de DO 40 °Bx – 40°C con la solución de sacarosa, los valores más altos de WR fueron  $26,55 \pm 5,05\%$  y  $25,29 \pm 2,14\%$ , los cuales se registraron en los casos de Alg y Pec a 1 h de DO, respectivamente. El análisis estadístico arrojó que los valores de WR disminuyeron significativamente ( $p < 0,05$ ) a partir de la 1h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 3.4, donde se observa que los porcentajes alcanzados fueron significativamente similares ( $p > 0,05$ ) a lo largo del tiempo y entre los HC. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $48,68 \pm 3,84\%$  y  $46,81 \pm 1,55\%$  para los casos de Alg y Pec a 1 h de DO, respectivamente.

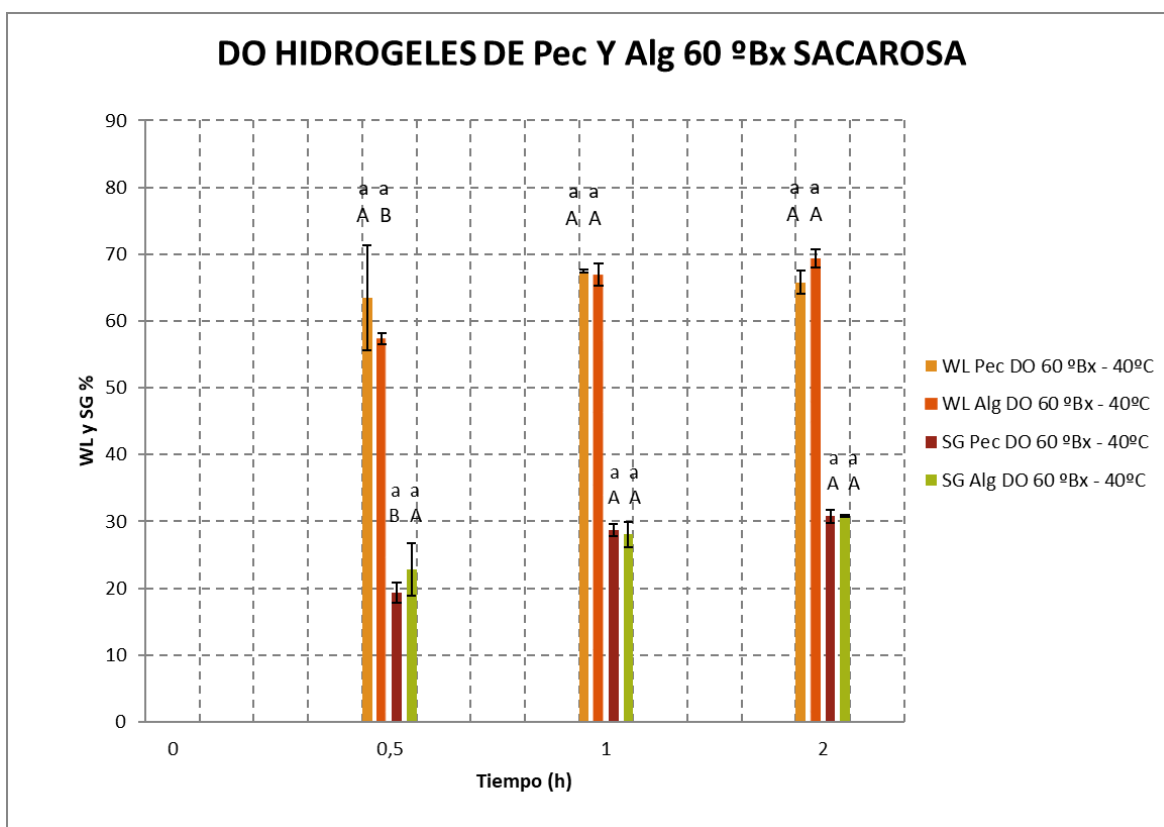
En cuanto a los valores de SG, las tendencias se muestran sobre la misma Figura (3.4). Se observaron diferencias entre los HC. Los valores obtenidos de SG a lo largo del tiempo muestran un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) a las 2 h de DO. Los valores de SG al final de la DO (2 h) fueron  $26,72 \pm 0,83\%$  en Alg y  $23,78 \pm 1,27\%$  en Pec. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando  $33,88 \pm 1,59\%$  en Alg y  $34,10 \pm 1,42\%$  en Pec a 2 h de DO.



**Figura 3.4.** Pérdida de agua (WL) y Ganancia de sólidos (SG) de los hidogeles Pec y Alg para las DO 40 °Bx – 40°C en sacarosa. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre los hidogeles utilizados, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo de DO. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B) representan diferencias significativas entre los tiempos de DO, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de hidrogel utilizada.

Para el caso de DO 60 °Bx – 40°C con solución de sacarosa, los mayores valores de WR fueron  $38,91 \pm 3,57\%$  y  $44,15 \pm 6,36\%$  para Alg a 1 h de DO y Pec a 0,5 h de DO, respectivamente. El análisis estadístico arrojó que el tiempo de DO no afectó significativamente la WR ( $p > 0,05$ ). Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 3.5, donde se puede observar que los porcentajes alcanzados fueron similares significativamente ( $p > 0,05$ ) a lo largo del tiempo de DO y entre los HC. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $69,34 \pm 1,33\%$  en Alg a 2h de DO y  $67,47 \pm 0,19\%$  en Pec a 1h de DO, respectivamente.

En cuanto a los valores de SG, las tendencias se muestran sobre la misma figura. Los valores obtenidos, muestran un incremento de la SG a partir de 1h de DO manteniéndose estable hasta el final. Además, para todos los tiempos, no se presentaron diferencias significativa entre los HC. Los valores de SG al final de la DO fueron  $30,81 \pm 0,09\%$  en Alg y  $30,78 \pm 0,99\%$  en Pec. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando  $51,68 \pm 1,01\%$  en Alg y  $55,65 \pm 1,38\%$  en Pec a 2 h de DO, respectivamente.

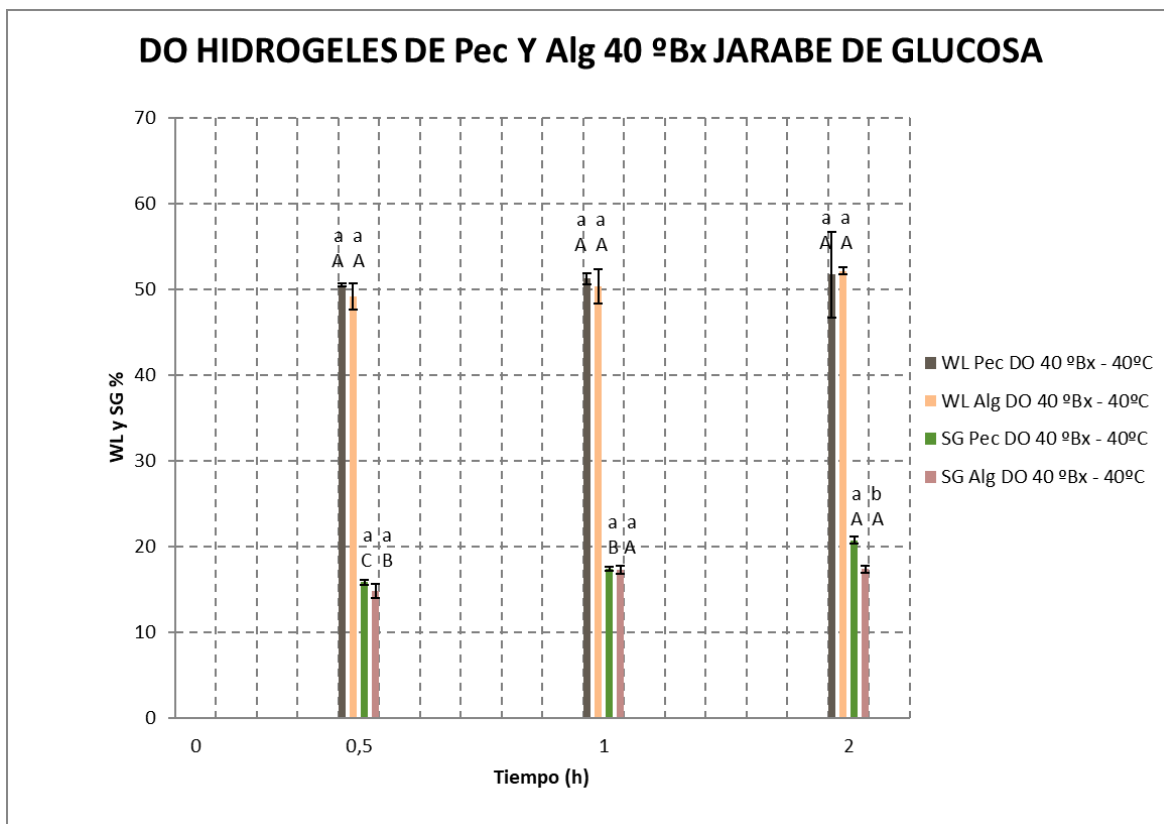


**Figura 3.5.** Pérdida de agua (WL) y Ganancia de sólidos (SG) de los hidrogeles Pec y Alg para las DO 60 °Bx – 40°C en sacarosa. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a) representan diferencias significativas entre los hidrogeles utilizados, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo de DO. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B) representan diferencias significativas entre los tiempos de DO, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de hidrogel utilizada.

Los parámetros de eficiencia de la deshidratación (ED) obtenidos fueron significativamente similares ( $p > 0,05$ ) entre los HC a lo largo de la DO. Por otro lado, se observó un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) del tiempo de DO, donde los valores ED, tanto para Alg como Pec, los cuales disminuyeron para todas las condiciones ensayadas (40 y 60 °Bx), alcanzando valores al final de la DO 40 °Bx – 40°C de  $1,70 \pm 0,02$  y  $1,88 \pm 0,19$  para los casos de Alg y Pec a 2 h de DO, respectivamente, y valores al final de la DO 60 °Bx – 40°C de  $2,25 \pm 0,05$  y  $2,14 \pm 0,12$  para los casos de Alg y Pec, respectivamente. Estos resultados muestran un grado de deshidratación importante en los HC durante la DO.

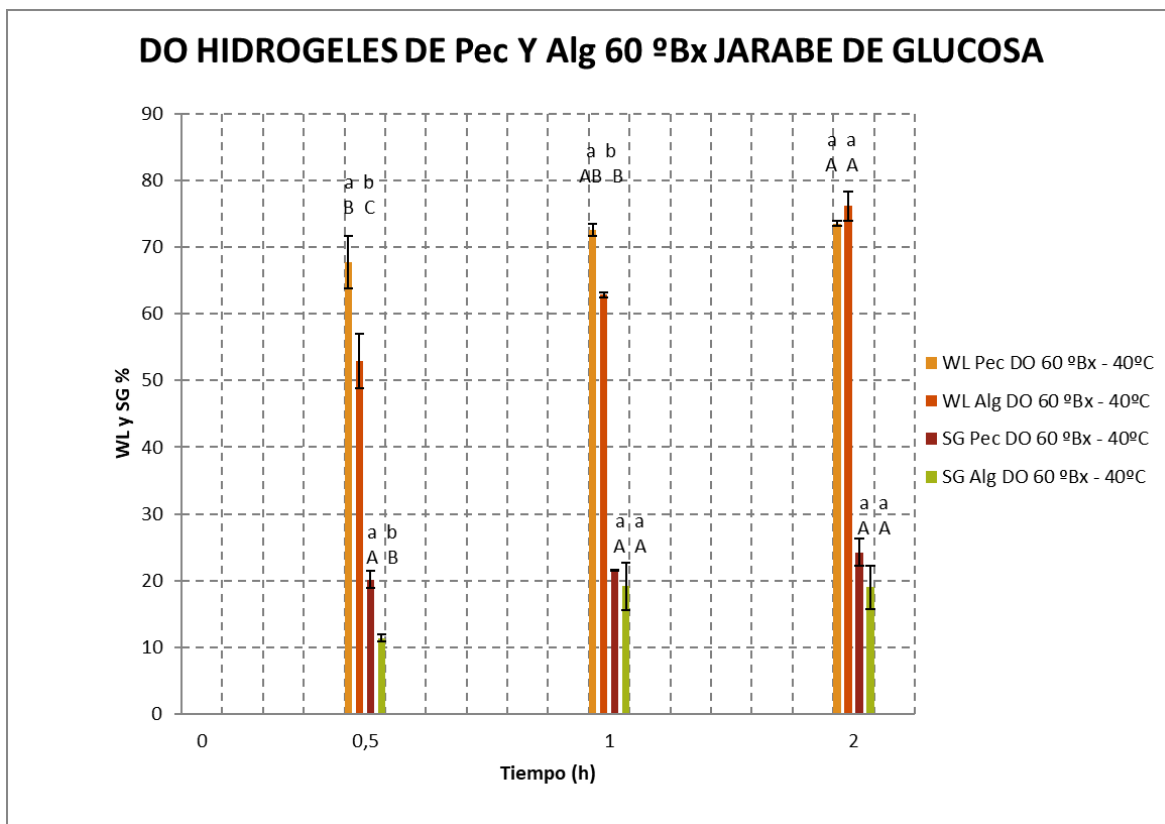
También se estudió el comportamiento de los HC en soluciones de jarabe de glucosa. En la condición DO 40 °Bx – 40°C, los mayores valores de WR fueron  $34,75 \pm 0,78\%$  y  $34,63 \pm 0,43\%$  para Alg a 2 h de DO y Pec a 0,5 h de DO, respectivamente. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 3.6, donde se observa que los valores de WL alcanzados por los HC fueron significativamente similares ( $p > 0,05$ ) a lo largo de la DO, comportamiento semejante al observado en sacarosa. Además no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los HC, para los distintos tiempos de DO. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $52,15 \pm 0,37\%$  y  $51,69 \pm 4,98\%$  para los casos de Alg y Pec a 2 h de DO, respectivamente.

Con relación a SG, las tendencias se muestran sobre la misma figura y se observó que hubo diferencias entre los HC. Los valores obtenidos muestran un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de la SG a las 2 h de la DO. Los valores finales de SG fueron  $17,40 \pm 0,41\%$  en Alg y  $20,74 \pm 0,42\%$  en Pec. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando  $28,15 \pm 1,68\%$  en Alg y  $31,28 \pm 2,39\%$  en Pec a 2 h de DO. Al igual que en sacarosa, se encontró que los parámetros ED obtenidos para los HC fueron similares. Sin embargo, los valores de ED alcanzados fueron superiores con respecto a sacarosa:  $3,00 \pm 0,09$  y  $2,49 \pm 0,19$  para los casos de Alg y Pec al final de la DO, respectivamente. Este último efecto, podría atribuirse al mayor nivel de WL y menor SG generada con este sustrato.



**Figura 3.6.** Pérdida de agua (WL) y Ganancia de sólidos (SG) de los hidogeles Pec y Alg para las DO 40 °Bx – 40°C en jarabe de glucosa. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre los hidogeles utilizados, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo de DO. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C) representan diferencias significativas entre los tiempos de DO, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de hidrogel utilizada.

Para la condición 60 °Bx – 40°C con solución de jarabe de glucosa, se obtuvieron valores de WR de  $57,08 \pm 5,42\%$  y  $51,02 \pm 0,95\%$  para Alg a 2 h de DO y Pec a 1 h de DO, respectivamente. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 3.7, donde se observa que los porcentajes alcanzados presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a las 2 h de DO, sin encontrarse efecto significativo ( $p > 0,05$ ) entre los HC. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $76,13 \pm 2,17\%$  en Alg y  $73,54 \pm 0,39\%$  en Pec a 2 h de DO, respectivamente.



**Figura 3.7.** Pérdida de agua (WL) y Ganancia de sólidos (SG) de los hidogeles Pec y Alg para las DO 60 °Bx – 40°C en jarabe de glucosa. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre hidogeles utilizados, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo de DO. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B) representan diferencias significativas entre los tiempos de DO, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de hidrogel utilizada.

El comportamiento de SG se muestra en la Figura 3.7. Los valores obtenidos muestran que no se presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con respecto al tiempo de DO para Pec. Si se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los HC a las 0,5 h de DO. Los valores de SG al final de la DO fueron  $19,05 \pm 3,25\%$  en Alg y  $24,27 \pm 2,01\%$  en Pec. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando  $50,35 \pm 1,47\%$  en Alg y  $55,05 \pm 2,01\%$  en Pec a las 2 h de DO. Los valores de ED al final de la DO fueron nuevamente superiores a sacarosa:  $4,06 \pm 0,81$  y  $3,04 \pm 0,24$  para los casos de Alg y Pec, respectivamente.

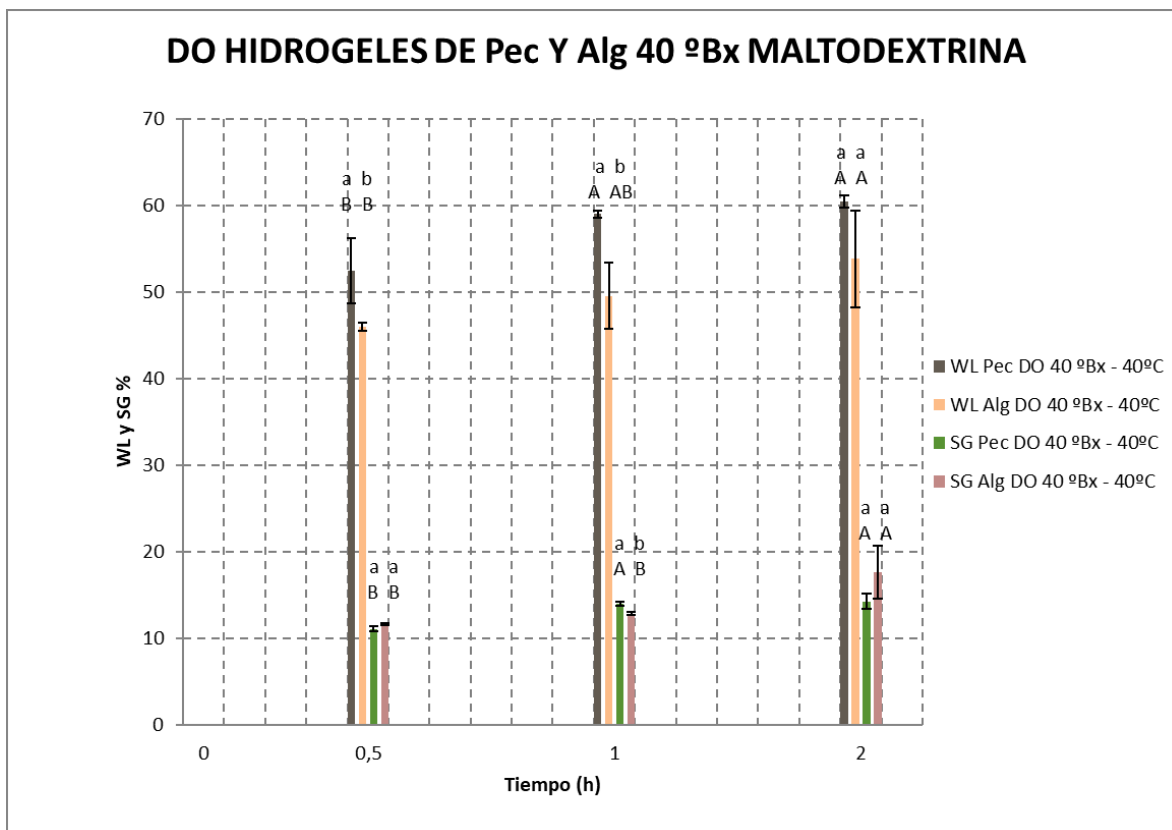
Comparando el comportamiento de Pec y Alg con respecto a las concentraciones de la solución de jarabe de glucosa, a 60 °Bx los HC tuvieron un mayor grado de deshidratación. En cuanto a los HC, se observó que el hidrogel Pec alcanzó mayores valores de SG que en el caso de Alg. Esto podría deberse al menor tamaño de las muestras de Alg respecto de Pec analizado al final de la sección anterior (Sección 3.2).

Cabe mencionar, al igual que con sacarosa, los HC resisten de manera efectiva (no se desintegran) el tratamiento de DO con jarabe de glucosa, aunque se observó una disminución de su tamaño durante el tratamiento, probablemente debido a la mayor deshidratación de su estructura.

Por otro lado, los resultados obtenidos con respecto a la concentración de la solución fueron concordantes con lo observado en sacarosa, sin embargo, aumenta el nivel de deshidratación con la utilización de jarabe de glucosa (mayor WL y menor SG), esto se refleja en los mayores valores de ED obtenidos para todas las condiciones. Esto se puede atribuir a la presencia de monosacáridos en la solución de jarabe de glucosa los cuales pueden generar un gradiente de presión osmótica mayor que en la solución de sacarosa (disacárido), debido a los diferentes pesos moleculares, lo cual provoca una mayor deshidratación de los HC. Otros autores que han utilizado jarabe de glucosa llegaron a la misma conclusión que lo obtenido en el presente trabajo (Lazarides y col. 1995; Kowalska y col. 2008; Nieto y col. 2013).

Finalmente, los HC se sometieron a la deshidratación osmótica con soluciones de maltodextrina. Cuando los HC fueron tratados en la DO 40 °Bx – 40°C se encontró que los mayores porcentajes de WR fueron  $36,16 \pm 8,68\%$  y  $46,13 \pm 1,58\%$  para Alg y Pec a 2 h de DO, respectivamente. El análisis estadístico encontró que los HC tuvieron efecto sobre este parámetro. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 3.8, los HC tuvieron porcentajes significativamente similares ( $p > 0,05$ ) a final del tiempo, comportamiento análogo al obtenido en sacarosa y jarabe de glucosa para los HC. Sin embargo, se observó efecto de los mismos ( $p < 0,05$ ) para los distintos tiempos de DO. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $53,81 \pm 5,61\%$  y  $60,42 \pm 0,68\%$  para los casos de Alg y Pec a 2 h de DO, respectivamente.



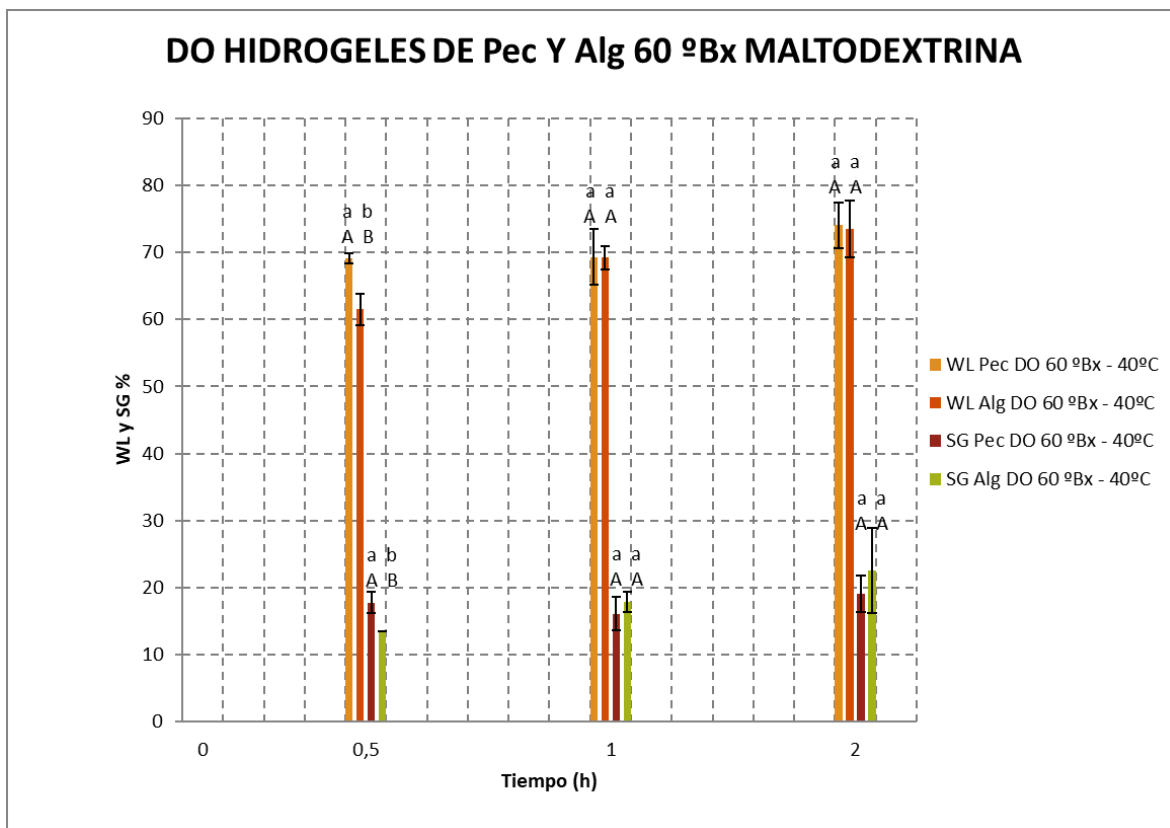


**Figura 3.8.** Pérdida de agua (WL) y Ganancia de sólidos (SG) de los hidogeles Pec y Alg para las DO 40 °Bx – 40°C en maltodextrina. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre los hidogeles utilizados, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo de DO. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B) representan diferencias significativas entre los tiempos de DO, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de hidrogel utilizada.

Con respecto a SG, los valores experimentales muestran que el incremento fue significativo a las 2 h de DO, sin observarse diferencias entre los HC (Figura 3.8). Al finalizar la DO, si bien no hubo efecto significativo ( $p > 0,05$ ) entre los mismos, se observó que la mayor SG fue en Alg. Los valores de SG al final de la DO fueron  $17,65 \pm 3,07\%$  en Alg y  $14,29 \pm 0,90\%$  en Pec. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando  $29,37 \pm 4,06\%$  en Alg y  $34,20 \pm 1,47\%$  en Pec a 2 h de DO. Los parámetros ED resultantes fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre los HC, lográndose un mayor grado de deshidratación con Pec. Los valores de ED alcanzados fueron:  $3,12 \pm 0,86$  y  $4,24 \pm 0,31$  para los casos de Alg y Pec al final de la DO, respectivamente.

En las experiencias de DO 60 °Bx – 40°C con maltodextrina, los mayores valores de WR fueron  $51,30 \pm 3,26\%$  y  $54,91 \pm 6,17\%$  para Alg a 1 h de DO y Pec a 2 h de DO, respectivamente. El análisis estadístico arrojó que hubo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de los recubrimientos sobre este parámetro. En la Figura 3.9, se muestran las cinéticas de WL. Las mismas no tuvieron diferencias significativas en los valores de WL con respecto a los HC al final del tratamiento. Con respecto al tiempo de DO, se observó un incremento significativo de WL al finalizar la DO para Alg. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $73,52 \pm 4,26\%$  en Alg y  $74,03 \pm 3,42\%$  en Pec, a 2h de DO respectivamente.

En la misma figura se muestran los valores SG. Los valores obtenidos no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con respecto al tiempo de DO para Pec. Los valores de SG, al final de la DO, fueron  $22,58 \pm 6,37\%$  en Alg y  $19,12 \pm 2,75\%$  en Pec. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando  $52,00 \pm 1,48\%$  en Alg y  $51,67 \pm 2,41\%$  en Pec a 2 h de DO. Los parámetros ED obtenidos para los HC fueron significativamente similares a lo largo de la DO. Los valores de ED alcanzados fueron:  $3,42 \pm 1,15$  y  $3,93 \pm 0,74$  para los casos de Alg y Pec, respectivamente, aquí nuevamente se superan los valores obtenidos con sacarosa. Este último efecto, podría atribuirse a la mayor WL y menor SG generados con maltodextrina, con similitud a lo sucedido en jarabe de glucosa. Los componentes que conforman estos dos últimos sustratos son similares, aunque en diferentes concentraciones, y que podrían, además, explicar la similitud de los resultados de ED obtenidos entre los sustratos.



**Figura 3.9.** Pérdida de agua (WL) y Ganancia de sólidos (SG) de los hidogeles Pec y Alg para las DO 60 °Bx – 40°C en maltodextrina. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre los hidogeles utilizados, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo de DO. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A) representan diferencias significativas entre los tiempos de DO, basado en HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de hidrogel utilizada.

A modo comparativo, en la Tabla 3.1 y 3.2 se observan los valores de WR y SS para los diferentes tratamientos a 2 h de DO. En cuanto a la WR, se observó que el aumento de la concentración del agente osmótico aumenta los valores de WR y SS. La mayor pérdida de peso generada se observó para los agentes jarabe de glucosa y maltodextrina. En cuanto a la concentración de SS, la misma fue similar independientemente del agente osmótico utilizado.

**Tabla 3.1.** Valores promedios de WR calculados con su correspondiente desviación estándar (SD) para las diferentes condiciones de procesamiento a 2 h de DO.

<b>SACAROSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WR</b>	<b>SD</b>	<b>WR</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	18,67	0,08	20,69	3,38
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	38,53	1,43	35,02	2,71
<b>JARABE DE GLUCOSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WR</b>	<b>SD</b>	<b>WR</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	34,75	0,78	30,96	4,56
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	57,08	5,42	49,27	1,63
<b>MALTODEXTRINA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WR</b>	<b>SD</b>	<b>WR</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	36,16	8,68	46,13	1,58
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	50,94	10,63	54,91	6,17

**Tabla 3.2.** Valores promedios de SS calculados con su correspondiente desviación estándar (SD) para las diferentes condiciones de procesamiento a 2 h de DO.

<b>SACAROSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>SS</b>	<b>SD</b>	<b>SS</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	33,88	1,59	34,10	1,42
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	51,68	1,01	55,65	1,38
<b>JARABE DE GLUCOSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>SS</b>	<b>SD</b>	<b>SS</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	28,15	1,68	31,28	2,39
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	50,35	1,47	55,05	2,01
<b>MALTODEXTRINA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>SS</b>	<b>SD</b>	<b>SS</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	29,37	4,06	34,20	1,47
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	52,00	1,48	51,67	2,41

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos, la WL de Pec y Alg alcanza un equilibrio a partir de la 0,5 h de DO para los diferentes sustratos en las condiciones de DO 40 °Bx – 40°C y se observa una tendencia al estancamiento para las condiciones de DO 60 °Bx – 40°C, lo cual se puede atribuir a la facilidad de pérdida de agua por alta difusividad y al carácter hidrofílico de ambos HC. Esta es una característica buscada para su empleo en deshidratación de productos revestidos.

Los resultados obtenidos en las DO, mostraron que tanto Alg como Pec poseen comportamientos similares en los valores de WL para los agentes osmóticos utilizados cuando la concentración fue de 40 °Bx. En el caso de las DO realizada con la mayor concentración (60 °Bx), los mayores valores alcanzados fueron tanto en jarabe de glucosa (76.13±2.17% en Alg y 73.54±0.39% en Pec) como en maltodextrina (73.52±4.26% en Alg y 74.03±3.42% en Pec), comparados con sacarosa (69.34±1.33% en Alg y 65.80±1.72% en Pec) (Tabla 3.3). Este efecto puede atribuirse a la composición del sustrato utilizado y a la presencia de azúcares de menor masa molar (Lazarides y col. 1995; Kowalska y col. 2008; Nieto y col. 2013; Dermesonlouoglou y col. 2016).

**Tabla 3.3.** Valores promedios de WL calculados con su correspondiente desviación estándar (SD) para las diferentes condiciones de procesamiento a 2 h de DO.

<b>SACAROSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WL</b>	<b>SD</b>	<b>WL</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	45,39	0,91	44,47	2,11
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	69,34	1,33	65,80	1,72
<b>JARABE DE GLUCOSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WL</b>	<b>SD</b>	<b>WL</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	52,15	0,37	51,69	4,98
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	76,13	2,17	73,54	0,39
<b>MALTODEXTRINA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WL</b>	<b>SD</b>	<b>WL</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	53,81	5,61	60,42	0,68
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	73,52	4,26	74,03	3,42

Cabe destacar que la mayor ganancia de sólidos se obtuvo durante la inmersión en sacarosa (31% aprox.), esto podría atribuirse a una mayor retención de agua (Tabla 3.4). Raoult-Wack y col. (1991) estudiaron el efecto de la pérdida de peso y ganancia sólida de gel de agar y encontraron que la pérdida de agua aumentó de 50 a 85% y la ganancia sólida disminuyó de 50 a 0,5% en 3 horas de DO, cuando el peso molecular del soluto utilizado como agente osmótico aumentó de 87 a 20,000 dalton.

En otros trabajos, se ha demostrado la importancia del efecto de la aplicación de diferentes agentes osmóticos con distintas dextrosas equivalentes (DE) en la DO, aunque no fueron aplicados sobre hidrogeles y los autores arribaron a las mismas conclusiones que Raoult-Wack y col. (Lazarides y col. 1995; Lazarides y col. 1997). Los mismos concluyen que la transferencia de masa durante la absorción de azúcar disminuye con el aumento del tamaño molecular del soluto osmótico. Por lo tanto, los sólidos de jarabe de maíz de alto DE serían la elección correcta para los procesos de impregnación de frutas. Además, usando el tamaño correcto del soluto podemos mantener difusividades de humedad satisfactorias minimizando la absorción neta de solutos.

**Tabla 3.4.** Valores promedios de SG calculados con su correspondiente desviación estándar (SD) para las diferentes condiciones de procesamiento a 2 h de DO.

<b>SACAROSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>SG</b>	<b>SD</b>	<b>SG</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	26,72	0,83	23,78	1,27
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	30,81	0,09	30,78	0,99
<b>JARABE DE GLUCOSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>SG</b>	<b>SD</b>	<b>SG</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	17,40	0,41	20,74	0,42
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	19,05	3,25	24,27	2,01
<b>MALTODEXTRINA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>SG</b>	<b>SD</b>	<b>SG</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	17,65	3,07	14,29	0,90
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	22,58	6,37	19,12	2,75

En base al comportamiento del agente osmótico sobre los hidrogeles, puede observarse que la sacarosa provoca mayor ganancia de sólidos en comparación al jarabe de glucosa y maltodextrina. En la Tabla 3.5, se presentan las relaciones WL/SG, siendo  $> 1$  cuando se genera una deshidratación o contracción del hidrogel y  $< 1$  un hinchamiento del mismo. En todas las condiciones estudiadas, podemos observar la deshidratación de los hidrogeles, siendo la sacarosa la que presenta lo menores valores de WL/SG tanto para Alg como en Pec. Este comportamiento puede ser atribuido a que la sacarosa tiene mayor capacidad de penetrar en la estructura de los hidrogeles, provocando un debilitamiento de la estructura del gel. Lopez-Sanchez y col. (2018) trabajaron con altas concentraciones de sacarosa y observaron un debilitamiento en geles de alginato; ellos lo atribuyeron a una reducción en el número de zonas de unión, relacionadas con una disminución en el grado de solvatación. Además, indicaron que los geles de alginato de calcio sometidos a una concentración de azúcar del 60% (peso) conduce a un polímero menos extendido y, a su vez, reduce el número y la longitud de los posibles enlaces cruzados. Los resultados de la red abierta y menos conectada están en concordancia con las observaciones de geles de agarosa a altas concentraciones de azúcar (Nishinari y col. 1992). Los mismos autores observaron un cambio en el módulo viscoso a medida que aumentaba la cantidad de sacarosa en su composición, afirmando la pérdida de consistencia del gel. A su vez, la difusión de un soluto es inversamente proporcional a la viscosidad del gel (Roberts y col. 1996). Este descenso de viscosidad puede ser el mecanismo el cual explique la mayor incorporación de sacarosa tanto en Alg como en Pec (Tabla 3.4).

Un comportamiento diferente se observa en los agentes maltodextrina y jarabe de glucosa. Al comparar dichos agentes osmóticos, podemos ver que la maltodextrina es un azúcar de mayor peso molecular (5 a 10 unidades de glucosa) que la sacarosa. Al aplicar las soluciones bajo las mismas condiciones (concentración de la solución, temperatura y duración del tratamiento), la sacarosa posee mayor capacidad de penetración hacia el hidrogel debido a que la maltodextrina supera en gran medida el peso molecular y tamaño de la sacarosa, lo que resulta en un obstáculo para la penetración de solutos en la estructura de los hidrogeles (Panagiotou y col. 1999). Los solutos de alto peso molecular forman una densa capa de barrera de soluto sobre la superficie del material, mejorando así el efecto de deshidratación en el material con una absorción de sólidos controlada. Khin y col. (2007b)

estudio a la maltodextrina como recubrimiento y demostró que el recubrimiento de maltodextrina si bien es inestable debido a su solubilidad en agua, proporciona una buena barrera contra la absorción de solutos. Saurel y col., (1994) describieron que los solutos de alto peso molecular eran los más efectivos en el proceso de deshidratación ya que la formación de la capa de soluto genera un mayor gradiente de presión provocando mayor salida de agua hacia la solución. Azuara y col. (2002) sugirieron que los solutos de alto peso molecular, como las maltodextrinas, producen un gradiente de concentración y aumenta la migración de agua a la solución concentrada.

**Tabla 3.5.** Valores promedios de WL/SG calculados con su correspondiente desviación estándar (SD) para las diferentes condiciones de procesamiento a 2 h de DO.

<b>SACAROSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WL/SG</b>	<b>SD</b>	<b>WL/SG</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	1,70	0,02	1,88	0,19
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	2,25	0,05	2,14	0,12
<b>JARABE DE GLUCOSA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WL/SG</b>	<b>SD</b>	<b>WL/SG</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	3,00	0,09	2,49	0,19
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	4,06	0,81	3,04	0,24
<b>MALTODEXTRINA</b>				
	<b>Alg</b>		<b>Pec</b>	
	<b>WL/SG</b>	<b>SD</b>	<b>WL/SG</b>	<b>SD</b>
<b>DO 40°Bx_ 40°C</b>	3,12	0,86	4,24	0,31
<b>DO 60°Bx_ 40°C</b>	3,42	1,15	3,93	0,74

En lo que respecta al jarabe de glucosa, al analizar su composición se observó que el mismo está compuesto por un 63% de maltotriosa frente a un 14% de glucosa. Por lo tanto, es esperable que presente un comportamiento similar a la maltodextrina, ya que este azúcar está compuesto por tres moléculas de glucosa lo que hace que tenga un mayor peso molecular y tamaño que la sacarosa.

En un estudio realizado en geles de alginato, Kashima y Imai (2017) presentan la selectividad del gel en la penetración de diversos azúcares. En su trabajo, presentaron una fórmula con la cual se puede estimar teóricamente el tamaño del canal de penetración en la



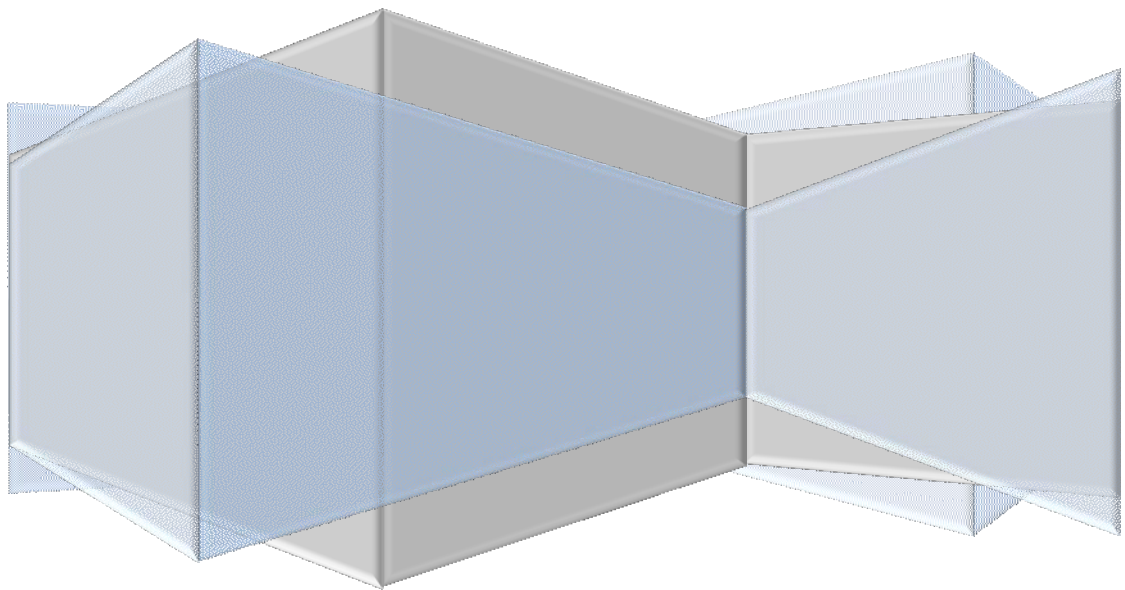
red polimérica (Renkin 1954). Renkin (1954) por simplicidad matemática, supone que los poros en las membranas son cilindros uniformes, y las moléculas que difunden poseen una forma esférica. La estructura real de las membranas es, presumiblemente, una malla fibrosa gruesa, cuyo espesor es más de mil veces el ancho de los intersticios entre las fibras. Estos intersticios están llenos de solvente y forman canales irregulares, las vías por las cuales se produce la difusión y la ultrafiltración. La obvia simplificación de la supuesta geometría uniforme debe tenerse en cuenta al comparar los resultados experimentales con la teoría. El tamaño de las moléculas del solvente juega aquí un rol fundamental, mayor tamaño el hidrogel actúa como un tamiz, permitiendo o evitando el ingreso a la estructura. En el caso de alginatos, el diámetro del canal oscila entre 9 y 12 Å, la sacarosa tiene un tamaño aproximado de 5 Å (Krajewska y Olech 1996) con lo cual es posible su incorporación, mientras que azúcares con mayor tamaño tienen mayor dificultad para su ingreso. En el caso de la maltodextrina (PM medio=3445 g/mol y densidad 1.58 g/cm<sup>3</sup>) tendría un tamaño de 11 Å y el jarabe de glucosa con 63% de maltotriosa y compuestos de mayor peso molecular tendrían un menor acceso a su incorporación.

En otro estudio realizado en celulosa, Ramos y col. (2005), afirman que la capacidad de filtración del gel para separar moléculas se basa en un riguroso control del tamaño de los poros de matrices o geles. Es por esto que los azúcares que poseen un tamaño lo suficientemente pequeño o intermedio pueden penetrar en los poros de la matriz y pueden difundirse parcialmente en la fase líquida interna.

# Capítulo 4

## CINÉTICAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRUTAS RECUBIERTAS

**Edgar Mario Soteras**



## **4.1. Cinética de deshidratación osmótica de frutas recubiertas**

### **4.1.1. Generalidades**

En este Capítulo se aborda el estudio de la aplicación de los hidrogeles sobre productos que serán sometidos de manera conjunta a la deshidratación osmótica. El análisis de los resultados de las cinéticas de deshidratación osmótica (DO) se realizó siguiendo los cambios de la pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos, sólidos solubles y eficiencia de la deshidratación ( $ED = WL/SG$ ). Los valores detallados de las cinéticas pueden observarse en el Anexo B.

El análisis estadístico se realizó de la misma manera que en el Capítulo 3, a través del mismo se pudo observar qué sucede con los distintos factores de análisis seleccionados (tiempo de DO y recubrimientos), cual fue la significancia estadística y las diferencias entre los niveles del factor recubrimiento (Sin recubrimiento: S/R; Recubrimiento de Alginato 2% y Lactato de Calcio 5%: Alg; Recubrimiento de Pectina 3% y Lactato de Calcio 5%: Pec) y tiempo de DO, que permitió apreciar el impacto de su aplicación mediante la prueba de Tukey (HSD de Tukey).

### **4.1.2. Deshidratación osmótica de peras**

#### **4.1.2.1. Cinéticas de deshidratación osmótica de peras con sacarosa**

Las cinéticas de deshidratación osmótica (DO) obtenidas experimentalmente con el empleo de sacarosa como agente deshidratante, se estudiaron a niveles de temperatura y concentración del agente constantes. La influencia del tiempo y de los recubrimientos adoptados se analizó estadísticamente. Los valores-p para las variables de respuesta en estudio mostraron la importancia de cada factor (Ver Anexo Tabla B.1).

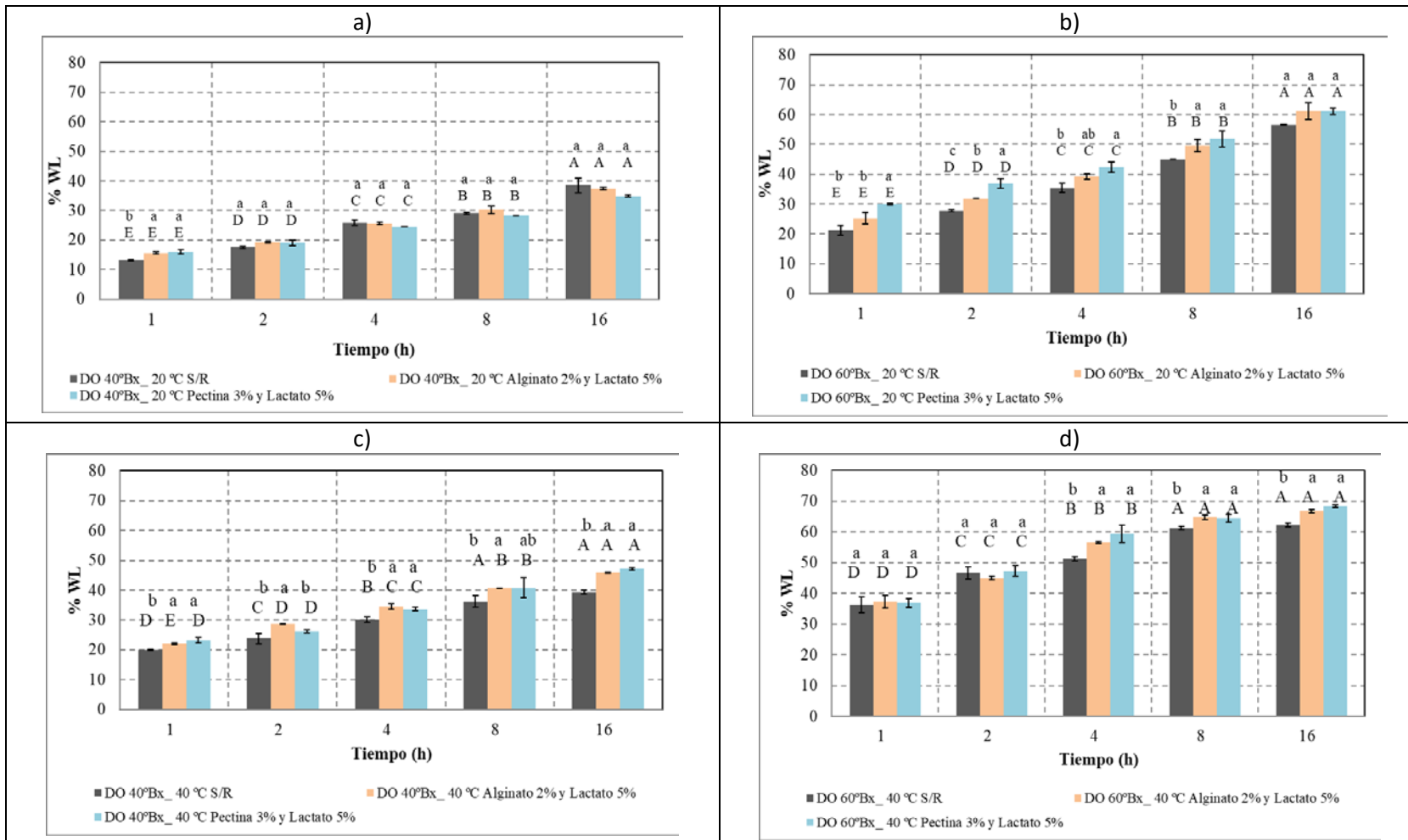
Los resultados estadísticos revelaron que la pérdida de peso (WR) y la pérdida de agua (WL) no fueron afectadas por la presencia de los recubrimientos (valor-p > 0,05) en las condiciones de 20°C – 40 °Bx y para el resto de las condiciones si tuvieron efecto (valor-p < 0,05).

En las peras deshidratadas a 20°C – 40 °Bx, condiciones de procesamiento consideradas de baja temperatura y concentración, la mayor pérdida de peso (WR) registrada fue de  $28,53 \pm 3,19\%$  en el caso sin recubrimiento (S/R) luego de 16 h de DO.

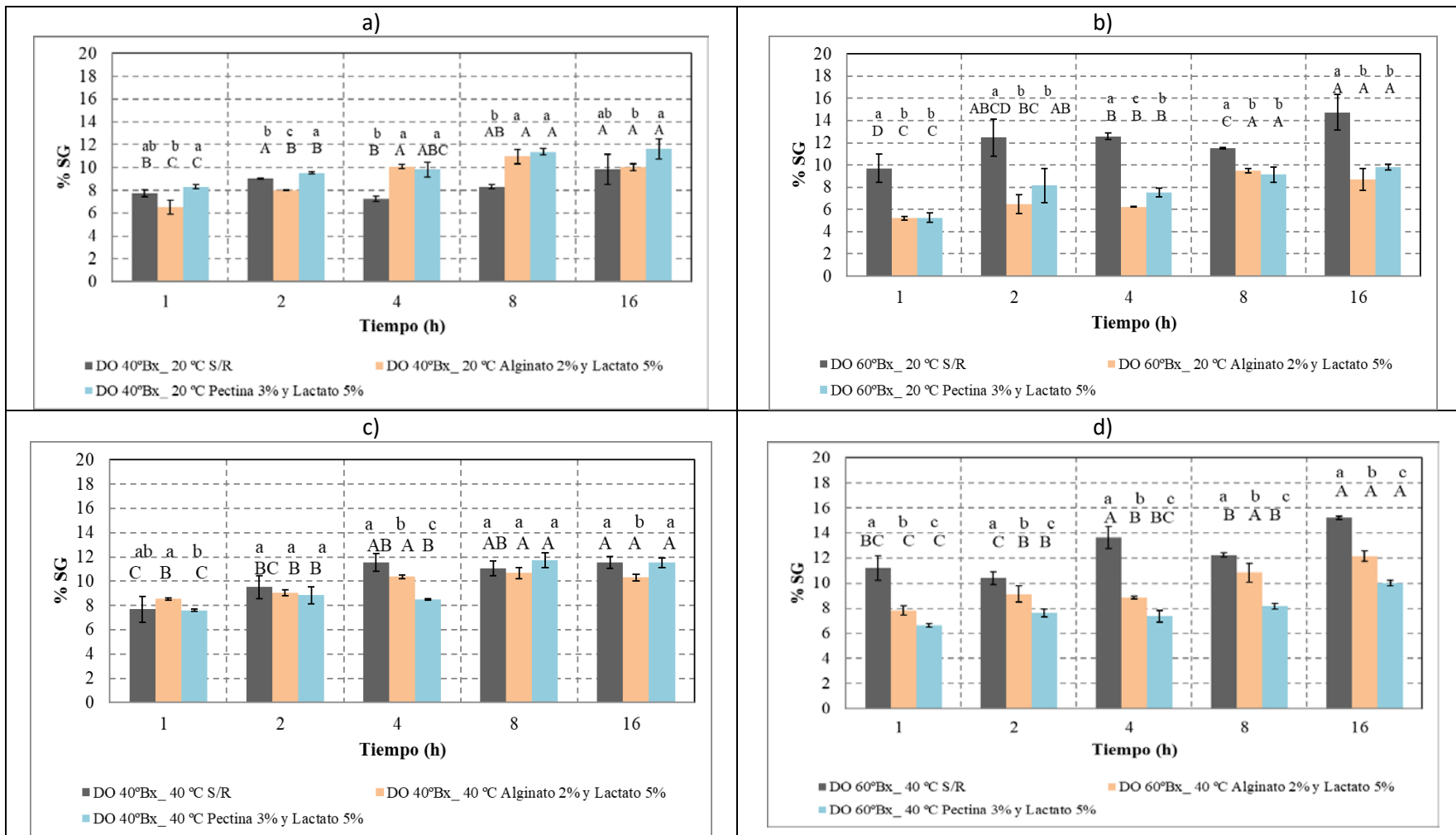
Las cinéticas de pérdida de agua (WL) se muestran en la Figura 4.1a, donde se observa que los porcentajes alcanzados y las tendencias fueron similares en todos los casos (S/R, Alg y Pec). El mayor valor de WL fue  $38,59 \pm 2,47\%$  para el caso de S/R a 16 h de DO, el mismo no presentó diferencias significativas respecto a las muestras recubiertas.

En cuanto a la ganancia de sólidos (SG), las tendencias se muestran en la Figura 4.2a y se observa un rápido estancamiento en SG a partir de las 2 horas de DO. Los valores obtenidos representan una predisposición a un mayor valor de SG con la presencia de los recubrimientos en las primeras 8 h de DO, no obstante, al final de la DO, las muestras de Pec ( $11,63 \pm 0,86\%$ ) no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con respecto a S/R ( $9,84 \pm 1,33\%$ ); pero si respecto de Alg ( $9,99 \pm 0,31\%$ ) a 16 h de DO. El aumento de la concentración de sólidos solubles (SS) se registró en todos los casos, llegando a valores de  $34,2 \pm 0,33\%$ ,  $29,95 \pm 0,12\%$  y  $30,38 \pm 1,01\%$  para el caso de S/R, Alg y Pec a 16 h de DO, respectivamente. Los valores de eficiencia de la deshidratación (ED) fueron menores en las muestras recubiertas ( $3,75 \pm 0,16$  y  $3,00 \pm 0,19$  en Alg y Pec a 16 h de DO, respectivamente) que en el caso de S/R ( $3,92 \pm 0,79$  a 16 h de DO) aunque no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), lo que estaría indicando una baja eficiencia de la implementación de los recubrimientos. Estos resultados, si bien permiten observar un apreciable grado de deshidratación, no establecen diferencias marcadas entre los procesos con y sin aplicación de recubrimientos (Figura 4.1a y 4.2a).

Resultados similares fueron encontrados en bibliografía, los valores de eficiencia de la deshidratación (ED) de cubos de manzanas no recubiertas fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que en muestras recubiertas con Alginato de Sodio (1% p/v) y Pectina de bajo metoxilo (2% p/v), utilizando  $Cl_2Ca$  (1% y 2%) como agente gelificante en solución de sacarosa 45 °Brix durante 4 h a 25 °C (Khin y col. 2007a).



**Figura 4.1.** Pérdida de agua (WL) para las DO de sacarosa a (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, en muestras sin y con recubrimiento. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.



**Figura 4.2.** Ganancia de sólidos (SG) para las DO de sacarosa a (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, en muestras sin y con recubrimiento. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D) respecto del tiempo.

Para el tratamiento de DO 20°C – 60 °Bx, en las variables pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG) y eficiencia de la deshidratación (ED), se observó que hubo influencia de los factores recubrimiento y tiempo (valor-p < 0,05) (Anexo Tabla B.1). Bajo estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de WR ( $52,46 \pm 4,00\%$ ) se registró en el caso de Alg a 16 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.1b, donde se observa que los porcentajes alcanzados para las muestras fueron significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores a lo largo del tiempo de DO, mostrando un aumento sostenido. Los mayores valores de WL alcanzados fueron  $61,15 \pm 2,83\%$  para Alg y  $61,09 \pm 0,98\%$  para Pec a 16 h de DO.

En cuanto a los niveles de SG, el tiempo de DO tuvo efecto significativo ( $p < 0,05$ ). En la Figura 4.2b, se puede observar que las muestras S/R y con recubrimientos presentaron tendencias similares de los valores SG, donde se observa un crecimiento de los mismos hasta las 2 horas de DO y luego un estancamiento hasta las 16 h de DO. Por otra parte, hubo un efecto marcado de los recubrimientos, el valor obtenido en la muestra S/R fue significativamente mayor ( $14,75 \pm 1,58\%$  a 16 h de DO). El aumento de la concentración de SS en función del tiempo se registró en todos los casos, obteniéndose el mayor valor de  $50,45 \pm 1,48\%$  para la muestra S/R a 16 h de DO, mientras que en Alg y Pec se observó  $42,62 \pm 1,58\%$  y  $43,37 \pm 0,52\%$ , respectivamente. El aumento de SS se correlaciona con la SG observada.

Los valores de ED de las muestras recubiertas fueron significativamente mayores, lo que estaría indicando buena eficiencia en su implementación; alcanzando valores de  $7,03 \pm 1,10$  y de  $6,22 \pm 0,26$  para el caso de Alg y Pec a 16 h de DO, respectivamente (S/R alcanzó un valor de  $3,84 \pm 0,43$ ) (Figura 4.1b y 4.2b). García y colaboradores (2010) atribuyeron estos resultados a la formación de una corteza que constituye una barrera a la transferencia de masa, limitando el régimen de deshidratación y, consecuentemente, la ganancia de los sólidos solubles. En general, estos autores observaron que los tratamientos con revestimientos presentaron valores más altos de ED durante el proceso de deshidratación osmótica, por lo cual estos tratamientos favorecerían la pérdida de agua, mientras que la ganancia de sólidos solubles fue limitada. En el mismo trabajo, se informa que al comienzo del proceso, los valores altos de ED pueden atribuirse principalmente a la pérdida de agua,

y cuando el tiempo de proceso aumenta, la ganancia de sólidos tiene más influencia sobre el valor de ED.

Si se realiza una comparación de los resultados con respecto a la concentración de la solución de sacarosa a 20°C, se observa que el aumento de la misma no sólo mejora el alcance de la deshidratación (mayor WL), sino que aumenta el valor de ED y la eficiencia de los recubrimientos como barrera de ingreso de los sólidos. Resultados diferentes fueron obtenidos por otros autores, quienes observaron que los valores de ED en muestras de cubos de manzanas no recubiertas fueron significativamente mayores que en muestras recubiertas ( $p < 0,05$ ), utilizando condiciones similares de DO (Khin y col. 2007a). En este trabajo de Tesis, se empleó una concentración de 2% en Alginato de Sodio y 3% en Pectina de bajo Metoxilo, estas concentraciones permitieron formar mejores recubrimientos, mejorando la aplicación del mismo y la eficiencia en la DO, situación que ha sido verificada por otros investigadores (Camirand y col. 1992; Lenart & Dabrowska 1999; Jalae y col. 2011). Camirand y col. (1992) investigaron las propiedades de algunos recubrimientos obtenidos a partir de polímeros de carbohidratos comestibles en un sistema modelo para uso potencial en deshidratación osmótica y encontraron que cuando se usó un recubrimiento de polímero reticulado de ion calcio, los mayores valores de WL/SG se obtuvieron con una concentración de 69 °Bx de sacarosa como agente osmótico y empleando pectina de bajo contenido de metoxilo al 3% en el recubrimiento. Lenart y Dabrowska (1999) hallaron después de un barrido de la concentración de la solución de pectina en el rango de 0,5 – 4% y un tiempo de secado posterior en el rango de 10 – 40 minutos, que la solución de pectina al 2% y el tiempo de secado de 10 minutos fue la mejor combinación de condiciones para recubrir las manzanas antes de la deshidratación osmótica en sacarosa (61,5 °Bx, a 30°C y hasta 5 h), considerando la pérdida de agua, ganancia de sólidos y relación de pérdida de agua / ganancia de sólidos. Jalae y col. (2011) estudiaron el coeficiente de transferencia de masa y características de las manzanas recubiertas en la deshidratación osmótica (60 °Bx, a 30°C y hasta 3 h), y observaron que el uso de 3% de pectina de bajo metoxilo resultó ser uno de los mejores recubrimientos para un nivel alto de pérdida de agua, ganancia de sólidos baja y alta proporción de WL/SG.

Para el caso de DO 40°C – 40 °Bx, se observó que la influencia del factor tiempo fue estadísticamente significativa (valor- $p < 0,05$ ) en todas las variables y que la ganancia de



sólidos (SG) no fue afectada por la presencia de los recubrimientos (valor- $p > 0,05$ ) (Anexo Tabla B.1). Bajo estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de WR ( $37,12 \pm 0,44\%$ ) se registró en el caso de Alg a 16 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.1c, donde se observa que las tendencias de las muestras con recubrimiento fueron similares a la condición S/R. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $47,13 \pm 0,42\%$  y  $45,93 \pm 0,16\%$  para los casos de Pec y Alg a 16 h de DO, respectivamente, y con diferencias significativas respecto al valor en S/R (valor- $p < 0,05$ ). En cuanto a los valores de SG, las tendencias se muestran en la Figura 4.2c. Los niveles alcanzados a las 16 h de DO fueron cercanos al 11%, con diferencias significativas respecto de Alg. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, obteniéndose el mayor valor de  $35,62 \pm 0,26\%$  para la muestra S/R a 16 h de DO, mientras que en Alg y Pec, se observó valores de  $32,97 \pm 0,05\%$  y  $35,60 \pm 0,33\%$ , respectivamente. Los valores de ED obtenidos por la aplicación de los recubrimientos fueron significativamente mayores que las muestras S/R ( $3,39 \pm 0,20$  a 16 h de DO), alcanzando  $4,46 \pm 0,14$  y  $4,09 \pm 0,11$  para el caso de Alg y Pec a 16 h de DO, respectivamente. Estos resultados estarían indicando que la eficiencia de la deshidratación por la implementación de los recubrimientos mejora levemente bajo estas condiciones de DO. Khin y col. (2007a) pudieron observar este comportamiento en DO de cubos de manzana deshidratados con solución de sacarosa 45% a 40°C, atribuyendo que las altas temperaturas favorecieron tanto la pérdida de agua como la absorción de soluto en la deshidratación osmótica de muestras no recubiertas, debido al cambio en las propiedades estructurales de la pared celular provocada por las altas temperaturas. Además, encontraron una mejor eficiencia de la deshidratación (ED) en las muestras recubiertas a temperaturas más altas (40 y 55°C) que a baja temperatura de DO (25°C) lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Por otro lado, en cilindros de zapallos no recubiertos, se ha demostrado que con el aumento de la temperatura para la misma concentración de sacarosa, la relación WL/SG aumenta, debido a una mayor pérdida de agua (Abraão y col. 2013).

Para el caso de DO 40°C – 60 °Bx, en las variables pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG) y la eficiencia de la deshidratación (ED) se observó que la influencia de los factores recubrimiento y tiempo fueron estadísticamente significativa (valor- $p < 0,05$ ) (Anexo Tabla B.1).

Bajo estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de WR ( $58,95 \pm 0,69\%$ ) se registró en el caso de Pec a 16 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.1d, donde se observa que las tendencias para las muestras fueron similares. Los mayores valores de WL alcanzados fueron de  $66,79 \pm 0,53\%$  y  $68,42 \pm 0,36\%$  para los casos de Alg y Pec a 16 h de DO, respectivamente, mientras que para el caso de S/R fue inferior y estadísticamente significativo.

En cuanto a los niveles SG, las tendencias se muestran en la Figura 4.2d y se observa una gran diferencia entre las muestras con recubrimiento y las muestras S/R. Los valores obtenidos marcan un efecto importante de los recubrimientos en la SG dado que los mismos fueron significativamente menores que en las muestras S/R ( $15,22 \pm 0,12\%$ ) a 16 h de DO. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando las muestras S/R un valor de  $57,10 \pm 0,75\%$  mayor a los presentados en las muestras recubiertas ( $52,78 \pm 0,68\%$  en Alg y  $51,93 \pm 0,28\%$  en Pec) luego de 16 h de DO. El parámetro ED fue significativamente mayor cuando se utilizaron los recubrimientos, lo que estaría indicando buena eficiencia de los mismos, alcanzando valores de  $5,51 \pm 0,23$  y  $6,84 \pm 0,20$  para los casos de Alg y Pec, respectivamente, y  $4,09 \pm 0,08$  en el caso de S/R, a 16 h de DO. Estos resultados muestran un grado de deshidratación importante y son similares a los obtenidos en la DO  $20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$  (Figura 4.1d y 4.2d). Además, estas condiciones de procesamiento han sido consideradas como muy favorables al pretratamiento de secado de peras por otros autores (Park y col. 2002).

Diversos autores han observado, en distintas matrices vegetales deshidratadas osmóticamente, un aumento significativo en la difusividad efectiva de agua y una disminución en la difusividad efectiva de sacarosa con el incremento de la concentración de solución de sacarosa (Rastogi & Raghavarao 2004; Lazarides y col. 2007; Abraão y col. 2013; Rahimi y col. 2013) y la temperatura (Khin y col. 2006; Moreno y col. 2011; Djendoubi Mrad y col. 2013; Yuan y col. 2016). Resultados obtenidos por Khin y colaboradores (2007a), demostraron, utilizando condiciones similares, que la eficiencia de la deshidratación (ED) en muestras de cubos de manzanas no recubiertas fue menor que en muestras recubiertas con Alginato de Sodio y Pectina de bajo metoxilo. En su trabajo, los autores emplearon sacarosa al 65%,  $40^{\circ}\text{C}$  y 4 h de proceso y la diferencia fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ), aunque es de destacar que dichos autores

obtuvieron valores inferiores a 2,3 para ED y en el presente trabajo se alcanzó, para el mismo tiempo, valores de  $6,39 \pm 0,10$  y  $8,07 \pm 0,89$  en el caso de Alg y Pec, respectivamente.

Jansrimanee y Lertworasirikul (2017) estudiaron el efecto del recubrimiento de cubos de calabaza con alginato de sodio (SA) en la pérdida de agua (WL) y ganancia sólida (SG) durante la deshidratación osmótica. Las muestras de calabaza recubiertas con 1%, 2%, 3% SA (p / p) y las muestras sin recubrimiento (control) se sumergieron en una solución de sacarosa 70% (p / p) durante 12 h. Los resultados mostraron que los valores de WL de las muestras recubiertas fueron significativamente ( $p < 0,05$ ) más altos que los de las muestras sin recubrimiento, mientras que la SG y el azúcar total de las muestras recubiertas fueron significativamente ( $p < 0,05$ ) menores que las muestras sin recubrimiento. El recubrimiento con 3,0% de SA arrojó un índice de eficiencia de proceso más alto (WL / SG) de 5,28; en los experimentos realizados en esta Tesis se alcanzaron, para un tiempo de 16 h, valores de  $5,51 \pm 0,23$  y  $6,84 \pm 0,20$  en el caso de Alg y Pec, respectivamente.

Singh y colaboradores (2010) investigaron el tratamiento combinado de recubrimientos comestibles y deshidratación osmótica (OD) en muestras de piña. Las muestras de piña se recubrieron con soluciones de alginato de sodio del 0,5% al 5,0% (p/v) por inmersión durante 60s y 120s y luego se secaron a 50°C durante 10 y 40 min. Se deshidrataron en una solución de sacarosa a 62%, a 30°C y 4 h de proceso. El valor más alto observado de ED fue 7,32 en las muestras sumergidas que se recubrieron con alginato al 2% de concentración durante 120 s. Azam y colaboradores (2013) estudiaron la deshidratación osmótica (DO) de cubos de mango de diferente grado de madurez con y sin recubrimiento a base de gluten. La DO se realizó a 50°C durante 2 h con soluciones osmóticas de sacarosa a diversas concentraciones (45, 55, 65 °Bx). Los autores encontraron que el recubrimiento mejoró el índice de eficiencia de deshidratación (ED) debido a una disminución sustancial en la ganancia de soluto (SG) y un ligero aumento en la pérdida de agua (WL).

#### **4.1.2.2. Comparación de resultados en Sacarosa**

A partir de las diferentes condiciones analizadas para la deshidratación osmótica con sacarosa, se observó que los recubrimientos tuvieron menor influencia en la condición DO a 20°C - 40 °Bx, la cual demostró tener buen alcance en los porcentajes de pérdida de agua

(WL) pero no se logró alcanzar el objetivo de barrera sobre la ganancia de sólidos (SG), presentando una baja eficiencia de los recubrimientos. Esto se revierte con un aumento en la concentración del agente osmótico.

El aumento de la temperatura, generó en DO 40 °Bx una leve mejoría. El aumento en los valores de WL, la disminución de los niveles de SG, y los valores de ED alcanzados fueron levemente mayores con respecto a las muestras S/R. Sin embargo, en la DO a 40°C - 60 °Bx, los recubrimientos demostraron muy buena ED; en esta condición se obtuvieron los mayores valores de WL, manteniendo bajos niveles de SG.

De todas las condiciones de procesamiento estudiadas, el efecto de la presencia de los recubrimientos fue significativo con el aumento de la concentración del agente osmodeshidratante (60 °Bx), los cuales permitieron una rápida eliminación de agua, independientemente de la temperatura.

Durante el proceso de DO, cuando el producto no presenta recubrimiento, una mayor concentración de la solución se traduce en una mayor fuerza impulsora para los flujos contracorriente de agua y sólidos solubles (Rastogi y col. 2002; Parzanese 2010; Chandra & Kumari 2015). En los productos recubiertos, el hidrogel y la superficie del producto forman un sistema integrado donde se logra obstaculizar la entrada de sólidos y evitar esta transferencia de materia que se presenta en los límites superficiales. La presencia de esta barrera física hace que se mantenga la fuerza impulsora de diferencia de actividad acuosa producto-medio, generando mayores tasas de WL. También, existe un comportamiento diferencial del hidrogel en distintas condiciones de operación. A baja concentración, la SG es mayor en las muestras recubiertas. Podríamos suponer que la compleja red de los recubrimientos permite captar mayores sólidos solubles en su interior, que luego se incorporan en el producto o quedan dentro de su propia estructura, y se ve favorecida por la baja velocidad de deshidratación (bajos cambios en WL).

En este medio, solución de sacarosa, el hidrogel comienza a funcionar como barrera con el aumento de la concentración del mismo, esto podría atribuirse al aumento de la viscosidad de la solución (Tabla 4.1) y que los hidrogeles se saturan rápidamente (en la primera hora de DO), comportamiento descrito en el Capítulo 3.

Cuando se aumenta la concentración del agente osmodeshidratante (60 °Bx), la viscosidad se incrementa aproximadamente 10 veces a 20°C y 6 veces a 40°C (Tabla 4.1), esto podría

verse reflejado en una menor movilidad de la sacarosa dentro del hidrogel, permitiendo una menor captación por parte del mismo y del producto asociado. Jalaee y colaboradores (2011) investigaron diferentes materiales (carboximetilcelulosa; CMC, pectina de bajo metoxilo; LMP y almidón de maíz) para recubrimientos en deshidratación osmótica de manzana y encontraron que las muestras recubiertas con LMP 3%, CMC 2% y almidón de maíz al 3%, las cuales se deshidrataron en 60% de sacarosa presentaron una menor difusividad del soluto. Finalmente, cuando se aumenta la temperatura a concentración de solución constante, se observa un aumento de la pérdida de agua, como lo indica la ley de Arrhenius descrita por otros investigadores (Park y col. 2002; Zhu y col. 2010), sin embargo, la ganancia de sólidos no se ve significativamente afectada.

**Tabla 4.1.** Valores de viscosidad (cP) de soluciones de sacarosa a diferentes concentraciones y temperaturas.

Concentraciones (°Bx)	Temperatura (°C)	
	20	40
40	6,206 <sup>1</sup>	
	5,645 <sup>2</sup>	
	6,230 <sup>3</sup>	3,052 <sup>2</sup>
	6,301 <sup>4</sup>	3,261 <sup>3</sup>
60	72,006 <sup>2</sup>	
	56,700 <sup>3</sup>	18,725 <sup>2</sup>
	59,540 <sup>4</sup>	21,300 <sup>3</sup>

- 1) Estimado de ecuación empírica (Galmarini y col. 2011).
- 2) Estimado por correlación en redes neuronales (Bouchard & Grandjean 1995).
- 3) Extraído de Tabla para soluciones de sacarosa (Perry & Green 1998).
- 4) Estimado por ecuación empírica (Chirife & Buera 1997).

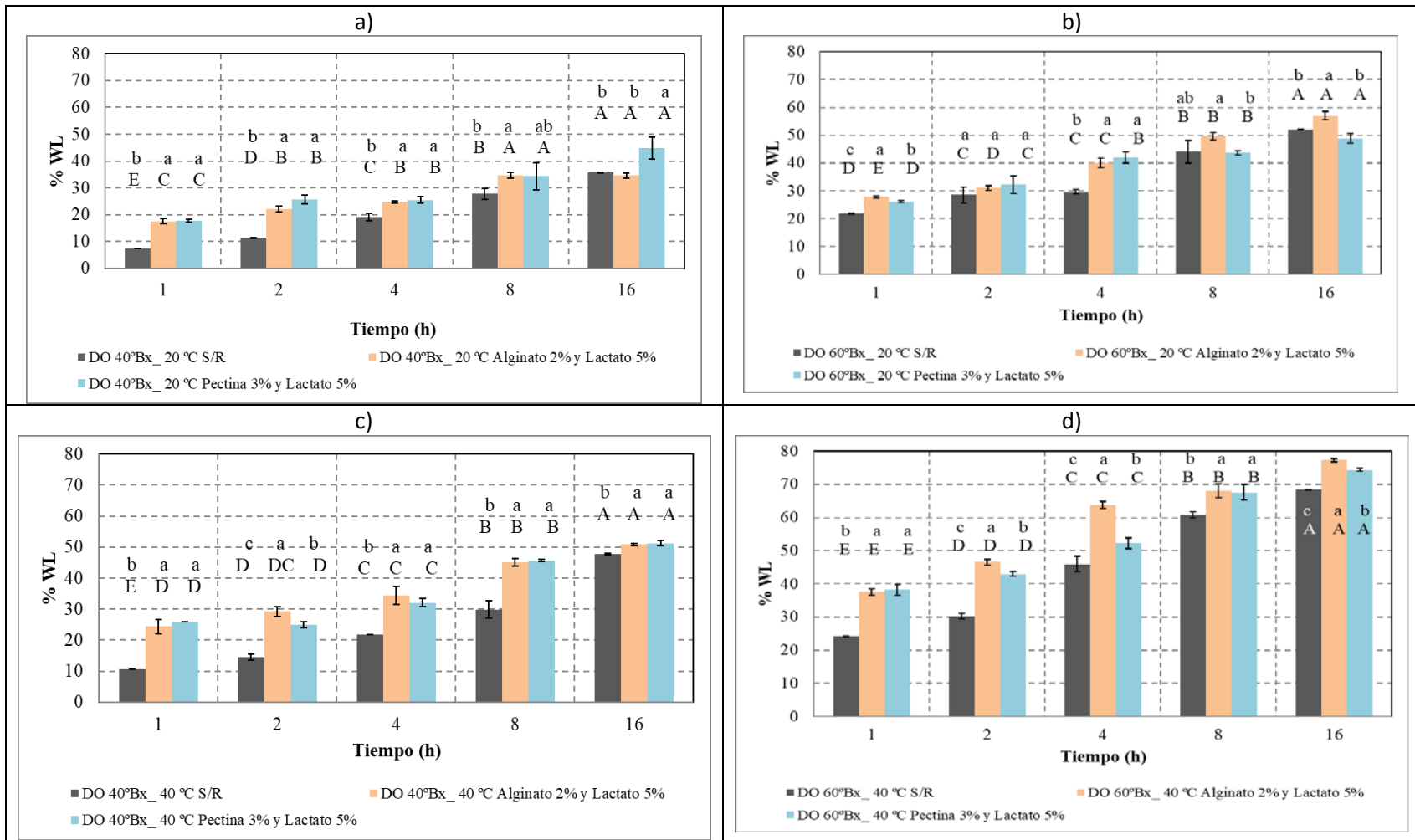
#### 4.1.2.3. Cinéticas de deshidratación osmótica de peras con jarabe de glucosa

Las diferentes cinéticas obtenidas con la utilización de soluciones de jarabe de glucosa se analizaron en forma equivalente a lo realizado para sacarosa; estadísticamente se pudo observar la influencia del tiempo y de los recubrimientos ensayados sobre las variables de respuesta en estudio, mediante la prueba de significación honesta de Tukey o prueba de Tukey (Ver Anexo Tabla B.2).

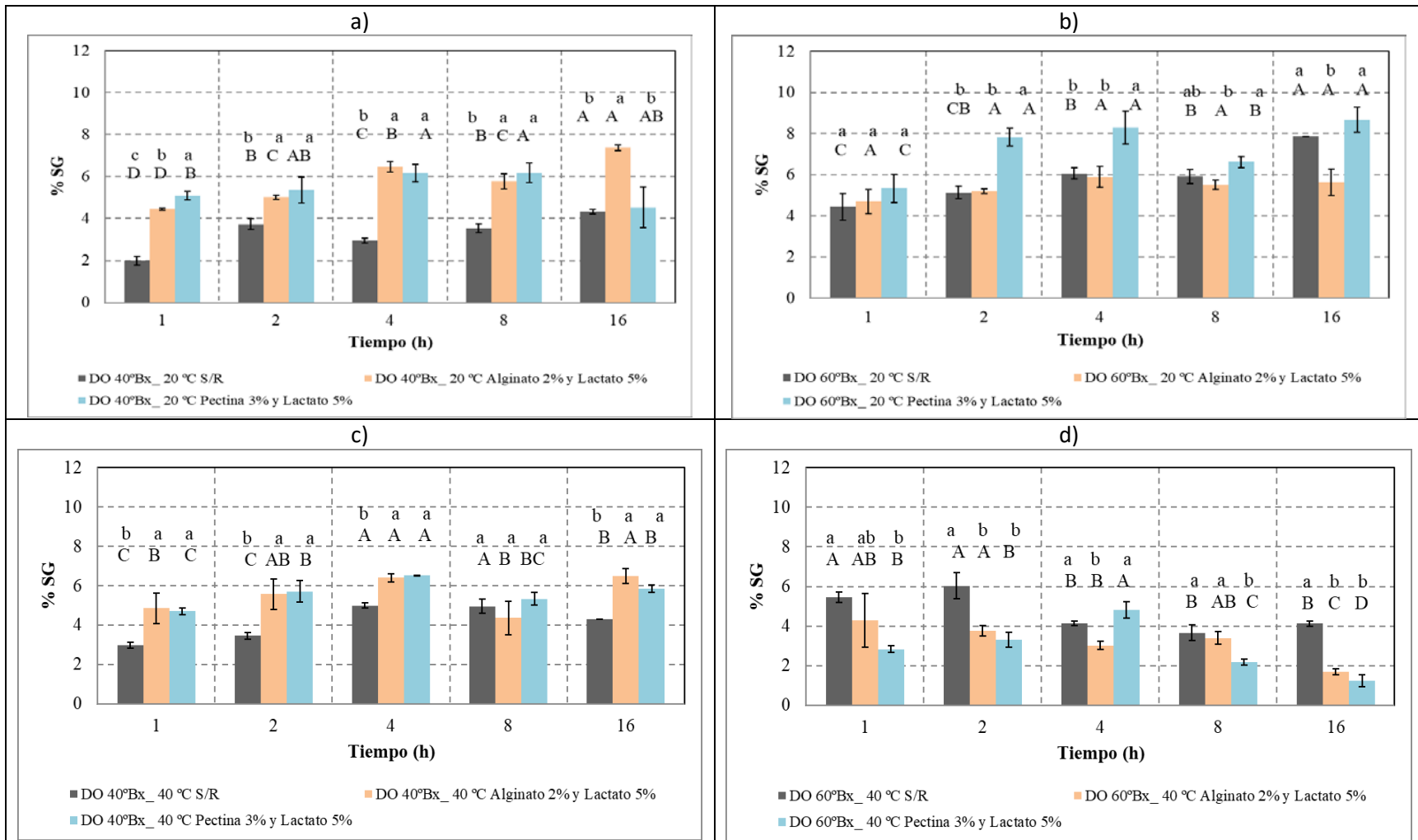
Para la condición de operación DO 20°C – 40 °Bx, en los valores de pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG) y sólidos solubles (SS) se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05), y que la eficiencia de la deshidratación (ED) solo presentaron cambios con el tiempo (valor-p < 0,05) (Anexo Tabla B.2).

En estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de pérdida de peso (WR:  $41,47 \pm 5,30\%$ ) se registró en las muestras recubiertas con Pec, luego de 16 h de DO. Las cinéticas de pérdida de agua (WL) se muestran en la Figura 4.3a, donde se observa que los valores en las condiciones recubiertas fueron mayores a las muestras S/R, alcanzando un valor de  $44,87 \pm 4,02\%$  para Pec a 16 h de DO.

En cuanto a la ganancia de sólidos (SG), las tendencias se muestran en la Figura 4.4a y se observa un rápido crecimiento de la misma y un estancamiento hasta el final de la DO para los casos de S/R, Alg y Pec. Los valores obtenidos representan una predisposición, a lo largo de la DO, a un mayor valor de SG con los recubrimientos de Alg ( $7,38 \pm 0,13\%$  a 16 h de DO). Esto puede atribuirse a la estructura ordenada del hidrogel que permite mayor incorporación de glucosa y debido a la baja velocidad de deshidratación, su estructura se mantiene sin modificaciones (Galus & Lenart 2013). El aumento de la concentración de sólidos solubles (SS) se registró en todos los casos, siendo el mayor valor observado en las muestras recubiertas con Pec  $25,83 \pm 0,66\%$  a 16 h de DO.



**Figura 4.3.** Pérdida de agua (WL) para las DO de jarabe de glucosa a (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, en muestras sin y con recubrimiento. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.



**Figura 4.4.** Ganancia de sólidos (SG) para las DO de jarabe de glucosa a (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, en muestras sin y con recubrimiento. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D) respecto del tiempo.



Los valores de ED fueron similares entre las muestras recubiertas con Pec ( $9,89 \pm 3,10$ ) y muestras S/R ( $8,27 \pm 0,22$ ), al final de la DO (16 h). No obstante, debido a la mayor WL generada por la aplicación de los recubrimientos en las primeras 4 horas de DO, tanto pectina como alginato, se podrían emplear a cortos tiempos de inmersión. Al igual que en sacarosa, los experimentos de DO a  $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 40\text{ }^{\circ}\text{Bx}$  permitieron lograr un grado apreciable de deshidratación (Figura 4.3a y 4.4a). Sin embargo, es importante remarcar que no se pudo alcanzar el objetivo barrera bajo estas condiciones; en particular en Alg, su comportamiento fue inverso al deseado dado que se presentó un mayor valor de SG. A cuatro horas del proceso, los valores de ED obtenidos fueron: S/R  $6.50 \pm 0.69$ , con Alg  $3.82 \pm 0.20$  y con Pec  $4.14 \pm 0.08$ . Resultados similares encontrados en bibliografía indicaron que los valores de ED, en muestras de cubos de manzanas deshidratadas con dextrosa (45% durante 4 h a  $25^{\circ}\text{C}$ ), fue menor significativamente ( $p < 0,05$ ) en las muestras recubiertas (Alginato de Sodio (1% p/v) y Pectina de bajo metoxilo (2% p/v) + Cloruro de calcio ( $\text{Cl}_2\text{Ca}$ )) que en las muestras sin recubrir (Khin y col. 2007a). Una configuración ensayada de Alginato de sodio (1% p/p) y  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  (10% p/p) sobre cubos de calabaza deshidratadas en solución de glucosa (DO 40% a  $20^{\circ}\text{C}$ ), demostró no cumplir con la función de barrera, ya que se obtuvieron valores SS similares e incluso superiores a la muestra control (Rodríguez y col. 2016). Nieto y colaboradores (2013), reportaron similares resultados en la deshidratación de cilindros de manzana utilizando solución de glucosa monosacárida a 38,7% p/p y solución de jarabe de maltosa a una concentración de 42% p/p (composición: 5% glucosa, 48% maltosa, 28% maltotriosa y azúcares superiores) después de 6-7 h de DO. Los valores de SG alcanzados en jarabe de glucosa son inferiores a los obtenidos en sacarosa, esto podría atribuirse al comportamiento del hidrogel frente a la composición del medio osmótico. La aplicación de monosacáridos y disacáridos (distintos a la sacarosa) mejora la pérdida de agua. Algunos investigadores lo atribuyen a que el jarabe de maíz tienen compuestos de mayor peso molecular que la sacarosa (Aung & Fluger 1997; El-Aouar y col. 2006). Según Lazarides y colaboradores (1995), los coeficientes globales de transferencia de masa para la captación de azúcar disminuyen con el tamaño molecular del soluto osmótico. Esto puede atribuirse al comportamiento de los hidrogeles en soluciones de jarabe de glucosa. A partir de los resultados mostrados en el Capítulo 3, el empleo de jarabe de glucosa produjo una menor captación de sólidos. Esto luego se ve reflejado en el

resultado global del sistema hidrogel-pera con una menor captación de sólidos y una mayor deshidratación.

Para el caso de DO 20°C – 60 °Bx, en las variables pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG), sólidos solubles (SS) y eficiencia de la deshidratación (ED) se observó que la influencia de los factores fue significativa (valor-p < 0,05) (Anexo Tabla B.2). En estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de WR ( $52,51 \pm 1,96\%$ ) se registró en las muestras con Alg a 16 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.3b, donde se observa que los porcentaje alcanzados en las muestras recubiertas con alginato fueron superiores a S/R. Las muestras recubiertas con Alg tuvieron el mayor nivel de WL ( $56,99 \pm 1,49\%$ ), presentando diferencias significativas con respecto a Pec ( $48,88 \pm 1,82\%$ ) y a S/R ( $52,09 \pm 0,09\%$ ) a 16 h de DO.

En cuanto a SG, las tendencias se muestran en la Figura 4.4b, donde los valores fueron significativamente mayores en presencia de Pec ( $8,69 \pm 0,61\%$  a 16 h de DO) y S/R ( $7,88 \pm 0,02\%$  a 16 h de DO). El hidrogel de Alg presentó un comportamiento distintivo, un estancamiento significativo de la SG y un efecto barrera hacia el final de la DO ( $5,63 \pm 0,63\%$ ), que fue estadísticamente significativo. El aumento de la concentración de SS se registró en todas las muestras, donde el mayor valor observado fue para el caso de S/R ( $37,72 \pm 0,21\%$ ) a 16 h de DO. El valor de ED más alto se observó en los ensayos con Alg ( $10,12 \pm 1,42$ ) presentando diferencias significativas con respecto a Pec y S/R ( $6,61 \pm 0,03$  y  $5,63 \pm 0,18$ ), lo que estaría indicando una leve eficiencia en la implementación de Alg como recubrimiento en muestras tratadas con jarabe de glucosa, luego de 16 h de DO.

Estos resultados, permiten observar un grado apreciable de deshidratación y establecen algunas diferencias entre las experiencias llevadas a cabo con la aplicación de Alg y Pec, basicamente por la mayor deshidratación alcanzada. Sin embargo, es importante remarcar que no se pudo alcanzar el objetivo barrera en estas condiciones para todo el rango de tiempo de estudio, aunque, en el caso de Alg a 16 h de DO se observó el efecto esperado. Khin y colaboradores (2007a) encontraron, en muestras de cubos de manzanas deshidratadas con dextrosa (65% durante 4 h a 25 °C), que los valores de ED fueron menores significativamente ( $p < 0,05$ ) en las muestras recubiertas (Alginato de Sodio (1% p/v) y Pectina de bajo metoxilo 2% p/v + Cloruro de calcio ( $\text{Cl}_2\text{Ca}$ )) que en las muestras sin recubrir. En el presente trabajo no se presentaron diferencias significativas en condiciones

similares, pero se observaron mayores valores de ED respecto a los obtenidos por estos autores. Para el caso de Pec, se encontraron coincidencias con lo observado por Khin y colaboradores (2007a) indicando, bajo las mismas condiciones de DO, que el aumento de la concentración de la solución osmótica generalmente produciría mayor pérdida de agua y mayor absorción de soluto simultáneamente, debido a una mayor diferencia en el potencial químico del agua y el soluto entre la muestra y la solución osmótica. Para dichos autores, el valor de ED en muestras revestidas con Pec varió con el aumento en la concentración de solución de dextrosa, pero fueron inferiores a las muestras S/R. Además, los autores reportaron cambios en los valores de ED por el aumento de la concentración de dextrosa del 65%, los mismos fueron más evidentes a baja temperatura (25°C). Rodríguez y col. (2016) obtuvieron un hidrogel con una configuración de Alginato (1% p/p) – Cloruro de Calcio (10% p/p) el cual cumplió con la función de barrera a la absorción de los sólidos solubles durante la DO con glucosa 20 °C – 60 °Bx. Estos autores, probaron el recubrimiento sobre cubos de calabazas de 1 cm, y observaron una mayor velocidad de cambio en la ganancia de sólidos, pérdida de peso y contenido de agua durante los primeros 30 minutos del proceso. Estos resultados se atribuyeron al hecho de que, para este tiempo de procesamiento, la diferencia de presión es mayor; luego, la fuerza motriz disminuye hasta que el potencial químico de la muestra y la solución finalmente alcanzan el equilibrio (120 minutos).

Para el caso de DO 40°C – 40 °Bx, en la pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG) y sólidos solubles (SS) se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05). En la eficiencia de la deshidratación (ED) la presencia de los recubrimientos no fue significativa (valor-p > 0,05), y el tiempo no tuvo efecto significativo sobre la pérdida de peso (WR) (valor-p < 0,05) (Anexo Tabla B.2).

En estas condiciones de procesamiento, se registró el mayor valor de WR (46,72 ± 0,57%) en Pec a 16 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.3c, donde se observa que los porcentajes alcanzados en las condiciones recubiertas fueron significativamente mayores que en las muestras S/R durante todo el proceso de DO y el mayor valor de WL alcanzado fue 51,23 ± 0,83% para Pec. No obstante, en la mayoría de los tiempos ensayados de DO no se observó diferencias significativas entre las condiciones de Alg y Pec.

En cuanto a SG, las tendencias se muestran en la Figura 4.4c, observándose un estancamiento de la SG a partir de las 4 h de proceso, para todos los casos. Los valores obtenidos describen mayor SG con la presencia de los recubrimientos. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, llegando al mayor valor de  $30,78 \pm 0,68\%$  para el caso de Pec a 16 h de DO.

Los valores de ED para las muestras recubiertas fueron similares a S/R para toda la DO. El mayor valor se obtuvo en S/R  $11,09 \pm 0,09$ , mientras que para Alg y Pec fueron  $7,84 \pm 0,52$  y  $8,78 \pm 0,14$ , respectivamente, luego de 16 h de DO. Resultados obtenidos por otros autores, han demostrado que los valores de ED de muestras de manzanas recubiertas y sin recubrir no fueron significativamente diferentes para condiciones similares de operación ( $40^{\circ}\text{C}$  y 45% de concentración de Dextrosa). Los autores informan que las altas temperaturas favorecieron tanto la pérdida de agua como la absorción de soluto en la deshidratación osmótica de muestras recubiertas y no recubiertas; mientras que la difusividad de solutos en las manzanas recubiertas no se vió afectada por la temperatura en comparación con las manzanas no recubiertas, lo cual fue atribuido al cambio en las propiedades estructurales de la pared celular provocada por el empleo de mayor temperatura (Khin y col. 2007a).

Para el caso de DO  $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$  en las variables pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG), sólidos solubles (SS) y eficiencia de la deshidratación (ED) se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor- $p < 0,05$ ) (Anexo Tabla B.2). En el caso de la muestra con Alg a 16 h de DO, se registró el mayor valor de WR ( $77,30 \pm 0,65\%$ ). Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.3d, donde se observa que los porcentajes alcanzados en las condiciones recubiertas fueron significativamente mayores que S/R. El mayor valor de WL alcanzado fue  $77,38 \pm 0,48\%$  para el caso de Alg a 16 h de DO. En cuanto a SG, las tendencias se muestran en la Figura 4.4d, donde los valores obtenidos presentan una menor SG con la presencia de los recubrimientos ( $1,70 \pm 0,15\%$  en Alg y  $1,24 \pm 0,30\%$  en Pec a 16 h de DO), en comparación con la condición S/R ( $4,13 \pm 0,13\%$  a 16 h de DO).

El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, llegando al mayor valor de  $51,70 \pm 0,80\%$  para el caso de Alg a 16 h de DO.

Los valores de ED fueron mayores en las muestras recubiertas, debido a la mayor WL y menor SG. El mayor valor se obtuvo en Pec  $60,04 \pm 14,55$ , seguido de Alg con  $45,52 \pm 4,39$  y S/R con  $16,57 \pm 0,50$ , luego de 16 h de DO, lo que estaría indicando una buena eficiencia de la implementación de los recubrimientos. Es importante destacar que se alcanzó el objetivo barrera bajo estas condiciones en todo el rango de tiempo estudiado, ya que las muestras recubiertas con Alg y Pec presentaron valores inferiores en SG para la mayoría de los tiempos, comparativamente a S/R. Al final de la DO se observa un claro efecto de la eficiencia de los recubrimientos sobre el objetivo barrera. En literatura, se informan valores inferiores a 1,6 para ED en muestras recubiertas (Khin y col. 2007a) y mientras que en este trabajo de Tesis se alcanzó, para el mismo tiempo, valores de  $21,10 \pm 1,02$  y  $10,86 \pm 1,26$  para Alg y Pec, respectivamente. Estas diferencias en los valores de ED, radica en que los autores utilizaron concentraciones menores para la constitución de los recubrimientos. Estos resultados muestran que el aumento de la concentración de los componentes que constituyen los recubrimientos mejora la eficiencia de los mismos en la deshidratación, como fue explicado en la sección de sacarosa.

#### **4.1.2.4. Comparación de resultados en jarabe de glucosa**

De las diferentes condiciones ensayadas en jarabe de glucosa, la presencia de los recubrimientos sobre las rodajas de pera tuvo menor influencia en la DO a  $20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{Bx}$ , aunque tuvieron buen alcance en los porcentajes de WL. Resultó evidente que no se llegó a alcanzar el objetivo de barrera sobre la SG, mostrando un comportamiento inverso con respecto a las muestras S/R. Con el aumento de la concentración del agente osmótico ( $60^{\circ}\text{Bx}$ ) el Alg demostró buen comportamiento de barrera, donde se obtuvieron altos valores de WL y bajos en SG. El valor de ED alcanzado con Alg fue mayor en comparación a S/R y Pec. Con respecto al aumento de la temperatura, en DO a  $40^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{Bx}$  generó un mayor valor de WL y se observó un mayor valor de SG en las muestras con recubrimientos. Para este caso, los valores de ED alcanzados en las muestras recubiertas fueron iguales que S/R hasta las 16 h. En las DO a  $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$ , se encontraron altos y buenos valores de ED para las muestras recubiertas, donde se obtuvieron los mayores valores de WL y los valores más bajos de SG, por lo tanto, el mejor comportamiento de barrera se observó bajo estas condiciones, condición equivalente al obtenido en sacarosa.

Del análisis comparativo de estos resultados, las variaciones en las condiciones de DO tuvieron un mayor efecto sobre la WL. Cuando se aumentó la concentración del agente osmótico, se obtuvo mayor efectividad de la DO y mayor eficiencia de los recubrimientos. Además, se pudo observar que el aumento de la temperatura tuvo efecto en la WL, pero también favoreció la SG. Khin y colaboradores (2007a) mencionan que, para la mayoría de las muestras no recubiertas, las relaciones de rendimiento entre temperaturas bajas y altas no fueron significativamente diferentes (excepto la DO 40°C y 45% de concentración de Dextrosa). En este caso, las altas temperaturas favorecieron la pérdida de agua y la absorción de soluto en la deshidratación osmótica de muestras no recubiertas, debido al cambio en las propiedades estructurales de la pared celular provocada por las altas temperaturas. Es de esperar que a las peras les pueda suceder un cambio estructural similar por el aumento de la temperatura. Esto se estudiará en mayor amplitud en el Capítulo 5 de la presente Tesis.

Según varias investigaciones, muestras que se deshidrataron en solución de jarabe de maíz tuvieron valores de ganancia de sólidos menores que la obtenida a partir de las muestras procesadas en la solución de sacarosa (Aung & Flugler 1997; El-Aouar y col. 2006; Ahmed y col. 2016).

Otro punto importante es el rol y las características del agente deshidratante. La viscosidad de las soluciones de jarabe de glucosa se muestran en la Tabla 4.2, se puede observar que sus valores son superiores a los respectivos en la solución de sacarosa (Tabla 4.1).

**Tabla 4.2.** Valores de viscosidad (cP) de soluciones de jarabe de glucosa a diferentes concentraciones y temperaturas. Datos obtenidos de bibliografía.

Concentraciones (°Bx)	Temperatura (°C)	
	20	40
40	8,731 <sup>1</sup> 8,667 <sup>2</sup>	6,200 <sup>2</sup>
60	120,336 <sup>1</sup> 100,000 <sup>2</sup>	54,400 <sup>2</sup>

- 1) Estimados de modelo simple para predecir viscosidad (Chirife & Buera 1997).
- 2) Promedio de valores experimentales medidos con Viscosímetro Brookfield LVT.

En general, se obtiene poca captación de azúcar cuando la salida de agua es rápida y significativa, esto ocurre cuando las temperaturas son más altas, a mayor concentración de solución y agitación. Varios autores, han observado esta aceleración de la pérdida de agua sin modificación en la ganancia de sólidos cuando la temperatura o la concentración de la solución deshidratante aumenta (Hawkes & Flink 1978; El-Aouar y col. 2006; Shi y col. 2009). Este efecto se atribuye generalmente a la influencia de las membranas de los tejidos naturales así como a las propiedades difusivas del agua y de los solutos, en función de su respectivo peso molar. Se pueden obtener bajos valores de ganancia de sólidos (<10%) utilizando la temperatura y concentración de la solución osmótica en sus niveles más altos. Además, se pudo constatar que las SG en jarabe de glucosa fueron menores que en sacarosa para los ensayos propuestos como lo observado en la bibliografía consultada para fructo-oligosacáridos y jarabe de maíz en condiciones operativas similares (Matusek y col. 2008; Shi y col. 2009).

Es de destacar el comportamiento del hidrogel, que presenta menor ganancia de sólidos en forma individual en jarabe de glucosa que en sacarosa, esto contribuye al comportamiento general del producto recubierto en esta solución (ver Cap. 3).

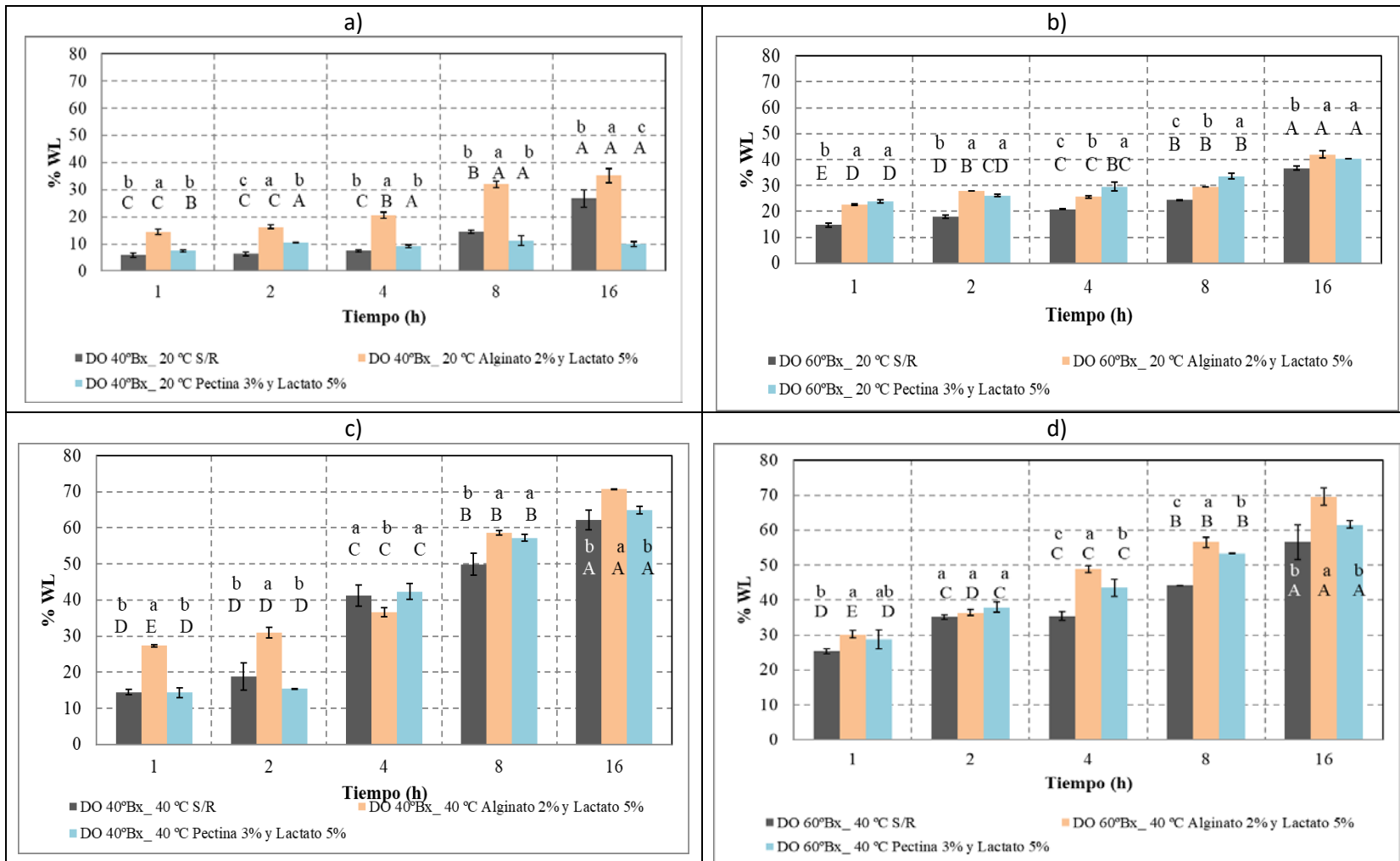
#### **4.1.2.5. Cinéticas de deshidratación osmótica de peras con maltodextrina**

Al igual que se realizó para soluciones de sacarosa y jarabe de glucosa, los cambios en las diferentes cinéticas obtenidas con la utilización de maltodextrina se analizaron estadísticamente para observar la influencia del tiempo y de los recubrimientos adoptados sobre las variables de respuesta en estudio (Ver Anexo Tabla B.3). Para el caso de DO 20°C – 40 °Bx, en las variables pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), sólidos solubles (SS) y eficiencia de la deshidratación (ED) se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05), por otro lado, la ganancia de sólidos (SG) sólo presentó cambios significativos con la presencia de los recubrimientos (valor-p < 0,05) (Anexo Tabla B.3). Bajo estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de WR (31,39 ± 3,49%) se registró en la muestra con Alg al final de la DO (16 h). Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.5a, donde se observa que los porcentajes alcanzados en las condiciones recubiertas con Alg hasta las 16 h de DO, fueron significativamente mayores que S/R y Pec. En este último, la variación de la WL con respecto a los tiempos ensayados

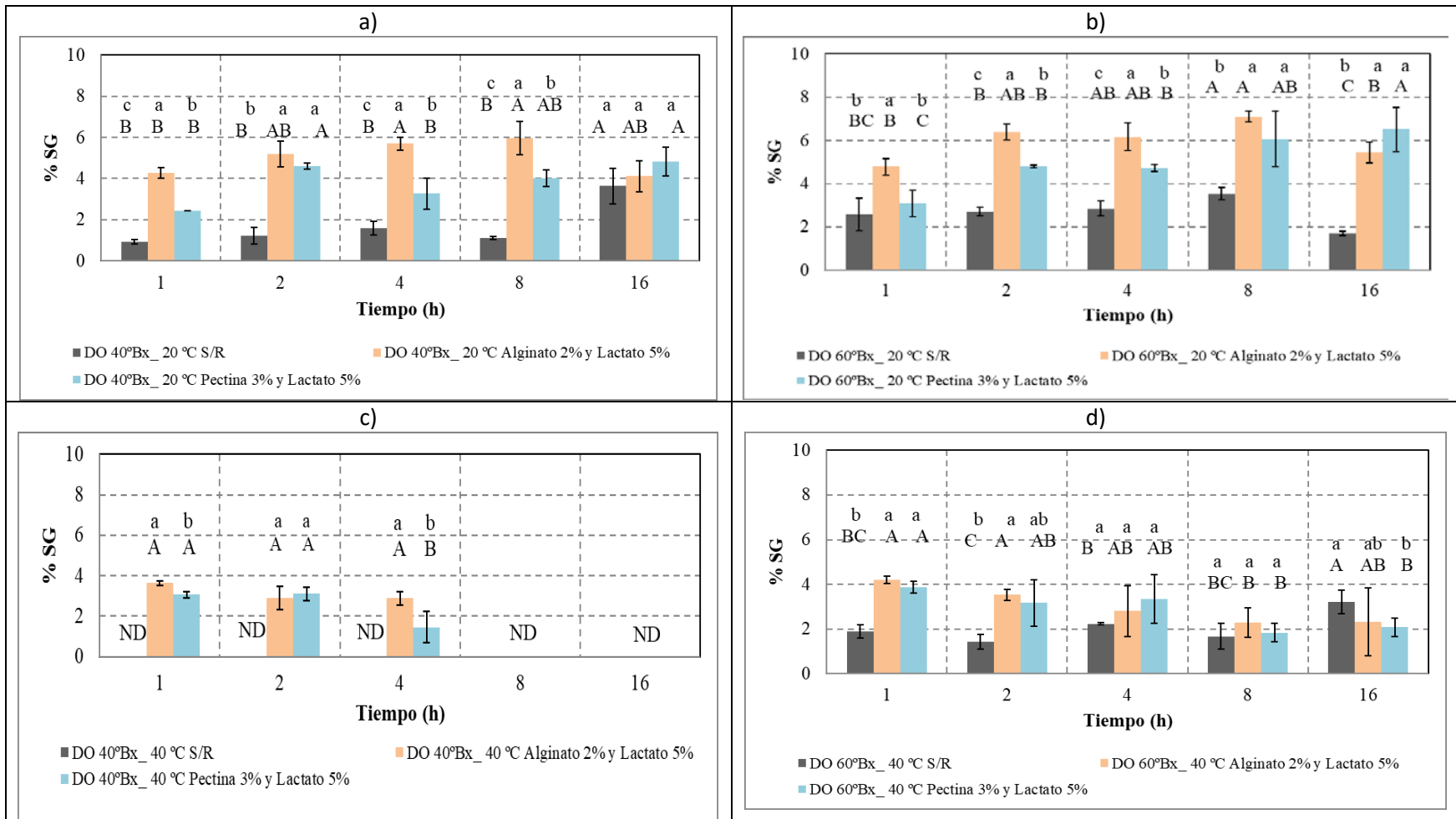
fue baja. El mayor valor de WL alcanzado fue  $35,12 \pm 2,66\%$  para el caso de Alg a 16 h de DO. En cuanto a SG, las tendencias se muestran en la Figura 4.6a, donde se observa un valor significativamente mayor de SG con la presencia de los recubrimientos, en todo el tratamiento de DO y al final del ensayo no se presentaron diferencias significativas en comparación a las muestras S/R. Además, no se registraron altos niveles de SG en las 8 horas de DO para la condición S/R. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, llegando a valores de  $21,05 \pm 0,02\%$  para el caso de Alg a 16 h de DO.

Los valores de ED fueron mayores en las primeras 8 horas de DO en las muestras S/R, debido a la baja tasa manifestada de SG. Sin embargo, al final de la DO (16 h) se obtuvieron valores de  $7,37 \pm 2,74$ ,  $8,54 \pm 2,24$  y  $2,06 \pm 0,50$  para los casos de S/R, Alg y Pec, respectivamente, que presentaron diferencias significativas, lo que estaría indicando que la implementación de los recubrimientos no tiene una buena eficiencia para estas condiciones operativas y a tiempos prolongados. Estos resultados, permiten observar que la maltodextrina genera un bajo grado de deshidratación, principalmente en las muestras recubiertas con Pec (Figura 4.5a), y establecen diferencias entre los niveles de SG en muestras sin y con recubrimiento (Figura 4.6a). No se pudo alcanzar el objetivo barrera bajo estas condiciones y el comportamiento observado fue inverso, ya que se presentó un mayor valor de SG en muestras recubiertas. Esta conducta podría estar asociada a cierta facilidad en la matriz del recubrimiento (principalmente los mono y disacáridos, como glucosa y maltosa) de captar esta solución como se observó en el Capítulo 3, sin embargo, es más difícil su incorporación directa en el producto. Otros autores han estudiado la deshidratación osmótica del damasco en diversas condiciones y para diversos agentes osmóticos, entre los cuales utilizaron maltodextrina, e investigaron los efectos de la concentración y temperatura de la solución, la relación de muestra/solución y la geometría de la muestra sobre la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. Los autores llegaron a la conclusión que la maltodextrina es menos eficaz que la sacarosa y el jarabe de glucosa para la misma concentración (70% p/p, 24 h) (Toğrul & Ispir 2007; Ispir & Toğrul 2009; Ahmed y col. 2016). Otros investigadores han demostrado que maltodextrina a bajas concentraciones y temperatura es relativamente ineficiente (Hawkes & Flink 1978).





**Figura 4.5.** Pérdida de agua (WL) para las DO de maltodextrina a (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, en muestras sin y con recubrimiento. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.



**Figura 4.6.** Ganancia de sólidos (SG) para las DO de maltodextrina a (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, en muestras sin y con recubrimiento. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C) respecto del tiempo.

Para el caso de DO 20°C – 60 °Bx, en todas las variables se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05) (Anexo Tabla B.3). En estos ensayos, el mayor valor de WR fue de  $37,25 \pm 0,47\%$  para Alg luego de 16 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.5b, donde se observa que los porcentajes alcanzados en las condiciones recubiertas fueron mayores a S/R. El mayor valor de WL alcanzado fue  $41,99 \pm 1,37\%$  para Alg luego de 16 h de DO.

En cuanto a SG, las tendencias se muestran en la Figura 4.6b, donde los niveles obtenidos exponen un valor significativamente mayor de SG en muestras con recubrimientos ( $5,45 \pm 0,49\%$  en Alg y  $6,51 \pm 1,02\%$  en Peca 16 h de DO), comparado con la condición S/R ( $1,70 \pm 0,10\%$ ) a 16 h de DO. Además, se observó un rápido y significativo alcance del equilibrio de la SG en los tiempos ensayados. Ispir y Toğrul (2009) obtuvieron resultados similares en cubos de damascos sin recubrir y deshidratados en solución de maltodextrina al 70% (p/p) durante 24 h. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, llegando al valor de  $27,78 \pm 1,01\%$  para el caso de Pec a 16 h de DO. Los valores de ED fueron significativamente mayores para las muestras S/R ( $21,58 \pm 0,87$  a 16 h de DO) en comparación a las muestras recubiertas con Alg y Pec ( $7,71 \pm 0,44$  y  $6,18 \pm 0,45$ ) luego de 16 h de DO. Nuevamente no se pudo alcanzar el objetivo barrera bajo estos medios, puesto que se presentó un mayor valor de SG en muestras recubiertas. Este comportamiento podría estar asociado a la composición del agente osmótico, cuyos compuestos pueden ser absorbidos por la matriz de los recubrimientos con más facilidad, como fue explicado en la condición anterior (20°C – 40 °Bx).

Para el caso de DO 40°C – 40 °Bx, en las variables pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG) y sólidos solubles (SS) se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05), mientras que la eficiencia de la deshidratación (ED) no presentó cambios con el tiempo (valor-p > 0,05) (Tabla B.3). En los experimentos llevados a cabo, se registró el mayor valor de WR ( $73,52 \pm 0,45\%$ ) en muestras con Alg, al final de la DO (16 h). Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.5c, donde se observa que los porcentajes alcanzados en las condiciones recubiertas con Alg fueron significativamente mayores que S/R. El mayor valor de WL alcanzado fue  $70,71 \pm 0,09\%$  para Alg luego de 16 h de DO. En cuanto a SG, los resultados se muestran en la Figura 4.6c, donde los niveles obtenidos representan un mayor valor de SG con la

presencia de los recubrimientos hasta las primeras 4 h de DO ( $2,89 \pm 0,34\%$  en Alg y  $1,46 \pm 0,76\%$  en Pec), y para la condición S/R no se registró ganancia. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, llegando a niveles de  $34,62 \pm 0,45\%$  para el caso de Pec a 16 h de DO. En cuanto a los valores de ED, no se calcularon para las muestras S/R, ya que no se registró SG en ellas. El mayor valor de ED se obtuvo en Pec  $29,09 \pm 19,46$  a 4 h de DO, mientras que en Alg se obtuvo  $12,70 \pm 1,05$  a 4 h de DO sin presentar diferencias significativas respecto de Pec. La caída abrupta de la SG en las muestras recubiertas a partir de las 8 horas se podría relacionar con los efectos abrasivos de la maltodextrina y del tamaño molecular de los azúcares presentes, generando colapsos estructurales de los tejidos y de los recubrimientos que explicaremos más adelante (Figura 4.5c). Un comportamiento similar fue observado, por otros autores, durante la DO de cubos de manzana recubiertos con maltodextrina (Dabrowska & Lenart 2001; Khin y col. 2007b). En el presente estudio, se emplea como solución deshidratante y en estas condiciones operativas se tiene la hipótesis que la maltodextrina forma una barrera en la superficie del producto recubierto y no recubierto, lo cual no impide la salida de agua pero si el ingreso de sólidos. Lazarides y colaboradores (1997) informaron resultados similares. Además, la captación progresiva de sólidos da como resultado la formación de una capa sub-superficial con alto contenido de sólidos, que interfiere con el gradiente de concentración a través de la interfaz producto-solución y actúa como una barrera para la absorción de sólidos (Hawkes y Flink, 1978). Shi y colaboradores (2009) observaron que la maltodextrina podría no ser adecuada para la DO de arándanos, ya que se depositaba fácilmente sobre la superficie de los arándanos y, por lo tanto, inhibía la transferencia de masa entre la fruta y la solución. Después de la DO divisaron una capa de sedimentación de maltodextrina blanca en las bayas azules, y el rendimiento de arándanos deshidratado fue bajo.

Para el caso de DO  $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$ , en las variables pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL) y sólidos solubles (SS) fueron influenciados por los factores recubrimiento y tiempo (valor-p > 0,05). La ganancia de sólidos (SG) no presentó cambios con el tiempo (valor-p > 0,05) y la eficiencia de la deshidratación (ED) no se observó influencia de los recubrimientos (valor-p > 0,05) (Tabla B.3). Bajo estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de WR ( $68,59 \pm 3,91\%$ ) se registró en el caso de Alg a 16 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 4.5d, donde se observa que los porcentajes

alcanzados en las condiciones recubiertas fueron significativamente mayores que S/R, en especial Alg. El mayor valor de WL alcanzado fue  $69,56 \pm 2,48\%$  para el caso de Alg a 16 h de DO. En cuanto a SG (Figura 4.6d), en la primera hora de DO, los valores obtenidos fueron significativamente mayores (valor-p < 0,05) con la presencia de los recubrimientos. Para el resto de los tiempos ensayados, no se presentaron diferencias significativas. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos llegando a valores de  $40,32 \pm 0,21\%$  para el caso de Alg a 16 h de DO.

Los valores de ED fueron mayores en las DO con recubrimientos, el mayor valor calculado se obtuvo en Alg ( $29,89 \pm 25,91$ ) a 16 h de DO, lo que estaría indicando alta eficiencia en su implementación. Estos resultados muestran un comportamiento distinto de la maltodextrina en esta condición, en comparación con las condiciones previas analizadas. De manera similar a lo observado en el caso de DO  $40^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{Bx}$ , la SG fue mayor con la presencia de los recubrimientos hasta las primeras 4 horas y luego se igualan a las condiciones S/R. Otros autores demostraron que la temperatura y la concentración de la solución osmótica tuvieron una gran influencia en la penetración de solutos (fructosa, sacarosa, jarabe de maíz, maltodextrinas) durante la deshidratación osmótica de arándanos. Los investigadores observaron que los solutos con peso molecular más alto (jarabe de maíz, maltodextrina) generaron una ganancia de sólidos más baja con respecto aquellos de peso molecular bajo (dextrosa, fructosa, sacarosa) (Shi y col. 2009).

#### **4.1.2.6. Comparación de resultados en maltodextrina**

De las diferentes condiciones propuestas en maltodextrina, la que mostró menor influencia fue DO a  $20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{Bx}$  que demostró tener el menor alcance en los porcentajes de WL, incluso menores que en sacarosa y jarabe de glucosa. No llegó alcanzarse el objetivo de barrera en la SG con los recubrimientos, aunque los valores alcanzados fueron inferiores comparativamente a sacarosa y jarabe de glucosa. Cuando se aumentó la concentración del agente osmótico, en la DO a  $20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$  se obtuvieron valores de WL más elevados y valores más bajos en SG para el caso de S/R, sucediendo lo contrario en las muestras con Alg y Pec. Esto puede estar asociado a la alta viscosidad y baja temperatura del medio osmótico (Tabla 4.3). Como se obtuvo en la solución de sacarosa, al aumentar la concentración de maltodextrina, su viscosidad se incrementa entre aproximadamente 10-20

veces a 20°C, provocando una disminución en la difusividad de los sólidos solubles y, por ende, explicaría la menor incorporación de estos al producto sin recubrimiento.

**Tabla 4.3.** Valores de viscosidad (cp) de soluciones de maltodextrina a diferentes concentraciones y temperaturas. Datos obtenidos de bibliografía.

Concentraciones (°Bx)	Temperatura (°C)	
	20	40
40	50 <sup>1</sup>	25 <sup>1</sup>
	24,564 <sup>2</sup>	
	24,964 <sup>3</sup>	
60	300,034 <sup>2</sup>	-
	558,738 <sup>3</sup>	

- 1) Valor aproximados extraído de grafica (Dokic y col. 1998).
- 2) Valores promedios estimados de las ecuaciones empíricas (Avaltroni y col. 2004).
- 3) Interpolado de Tabla de viscosidades (Deumier & Bohuon 2005).

El aumento de la temperatura generó, en DO a 40°C - 40 °Bx, un aumento importante en la WL bajo todas las condiciones estudiadas en comparación a las DO descriptas anteriormente, siendo las muestras recubiertas de Alg las que mostraron mayores valores. A su vez, se observó un mayor valor de SG con la presencia de los recubrimientos en las primeras 4 h. Es importante destacar, que no se registró ganancia en muestras S/R y esto mismo sucedió con los recubrimientos a partir de las 8 h. Este comportamiento puede estar asociado a la temperatura y fenómenos superficiales, tales como el desarrollo de una capa de sólidos concentrados bajo la superficie de la fruta, alterando el gradiente de presión osmótica a través de la interfaz fruto-medio y disminuyendo la fuerza motriz para el flujo de agua (Hawkes & Flink 1978).

En muestras no recubiertas, la tasa de penetración de azúcar está directamente relacionada con la concentración de la solución e inversamente relacionada con el tamaño de la molécula de azúcar (Hughes y col. 1958; Lenart & Lewicki 1987; Dermesonlouoglou y col. 2008; Prosapio & Norton 2017). Lazarides y col. (1995) monitorearon el efecto del tamaño

del soluto utilizando sólidos de jarabe de maíz con diferentes grados de polimerización (niveles de dextrosa equivalente (DE) entre 18 y 42). Ellos observaron que el coeficiente de transferencia de masa total (sólidos) disminuyó con el tamaño del soluto osmótico. Los sólidos de jarabe de maíz de mayor tamaño molecular dieron valores negativos de ganancia neta sólida, indicando una captación de azúcar marginalmente inferior a la lixiviación de sólidos de frutas. Además, en otra investigación, se ha demostrado que usando el tamaño correcto de soluto osmótico es posible mantener difusividades satisfactorias de humedad con una absorción neta de soluto casi nula (Lazarides y col. 1997).

En las experiencias de DO a 40°C - 60 °Bx, los recubrimientos demostraron buena eficiencia en su aplicación, donde se obtuvieron valores altos de WL, pero similares a los obtenidos en la DO a 40°C - 40 °Bx. Sin embargo, el comportamiento de SG fue diferente con respecto a estas condiciones. Las eficiencias fueron mayores con la utilización de los recubrimientos, debido a la mayor WL. Otros autores, han constatado que el aumento de la temperatura incrementa la tasa de WL y SG, favoreciendo una pérdida de agua más rápida (mayores relaciones WL / SG) (Lazarides y col. 1995). Por otro lado, la maltodextrina como agente osmótico generó, comparativamente con sacarosa, una disminución marcada de la SG en todas las condiciones estudiadas. Estos resultados son coincidentes con los reportados por Azuara y colaboradores (2002) y Gomes Corrêa y colaboradores (2016).

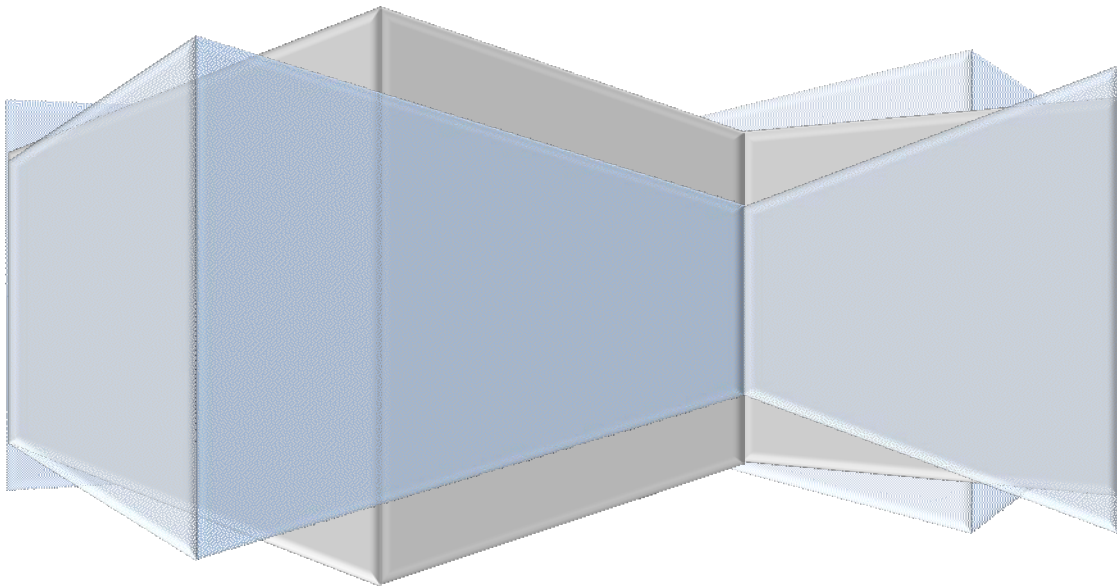
Otros resultados indican grandes tasas de WL y SG dentro de la primera hora de deshidratación osmótica seguido de tasas drásticamente más bajas durante el resto del tiempo (Lazarides y col. 1995).

Es de destacar el rol de los recubrimientos en las experiencias con esta solución. Los productos sin recubrimiento al estar sometidos a estas soluciones de alto peso molecular no tienen tendencia a la incorporación del soluto, sin embargo, la presencia del hidrogel es la que admite la incorporación. En el Capítulo 3 se observa la SG de ambos hidrocoloides cuando son expuestos a esta solución, con lo cual en el sistema fruta – hidrogel, el hidrogel es el responsable de la captura, y el efecto barrera es inexistente. Aunque se observa un aumento de la pérdida de agua, esto se debe a la presencia del hidrogel durante la DO, pero en la mayoría de los casos no se reduce la incorporación de maltodextrina, objetivo del presente estudio.

# Capítulo 5

## ATRIBUTOS DE CALIDAD: ANÁLISIS DE LA TEXTURA Y COLOR

**Edgar Mario Soteras**





## **5.1. Resultados en los atributos de calidad**

### **5.1.1. Generalidades**

En el presente Capítulo se presenta el análisis y la discusión de los parámetros de calidad obtenidos en la deshidratación osmótica (DO) de cubos de peras, siguiendo los cambios de la firmeza representada por la Fuerza Normalizada de Penetración (FNP), la energía para la penetración representada por el Trabajo Normalizado de Penetración (WNP) y el cambio de color (Delta E:  $\Delta E$ ).

Los resultados se analizaron estadísticamente para relacionar las variables dependientes (FNP, WNP, Delta E) con los factores de proceso (tiempo y tipo de recubrimiento). Se observó, en forma general y de manera gráfica, que sucede con los distintos factores de análisis seleccionados, cual fue la significancia estadística (ANOVA) y las diferencias entre los recubrimientos (S/R: Sin Recubrimiento, Alg: Recubrimiento constituido por Alginato de Sodio al 2% y Lactato de Calcio al 5%, Pec: Recubrimiento constituido por Pectina de bajo metoxilo al 3% y Lactato de Calcio al 5%) y entre los diferentes tiempos de DO, mediante la prueba de Tukey a un nivel de confianza de 95%.

## **5.2. Cambios de textura con la deshidratación osmótica**

### **5.2.1. Cambios texturales producidos durante la DO con soluciones de sacarosa**

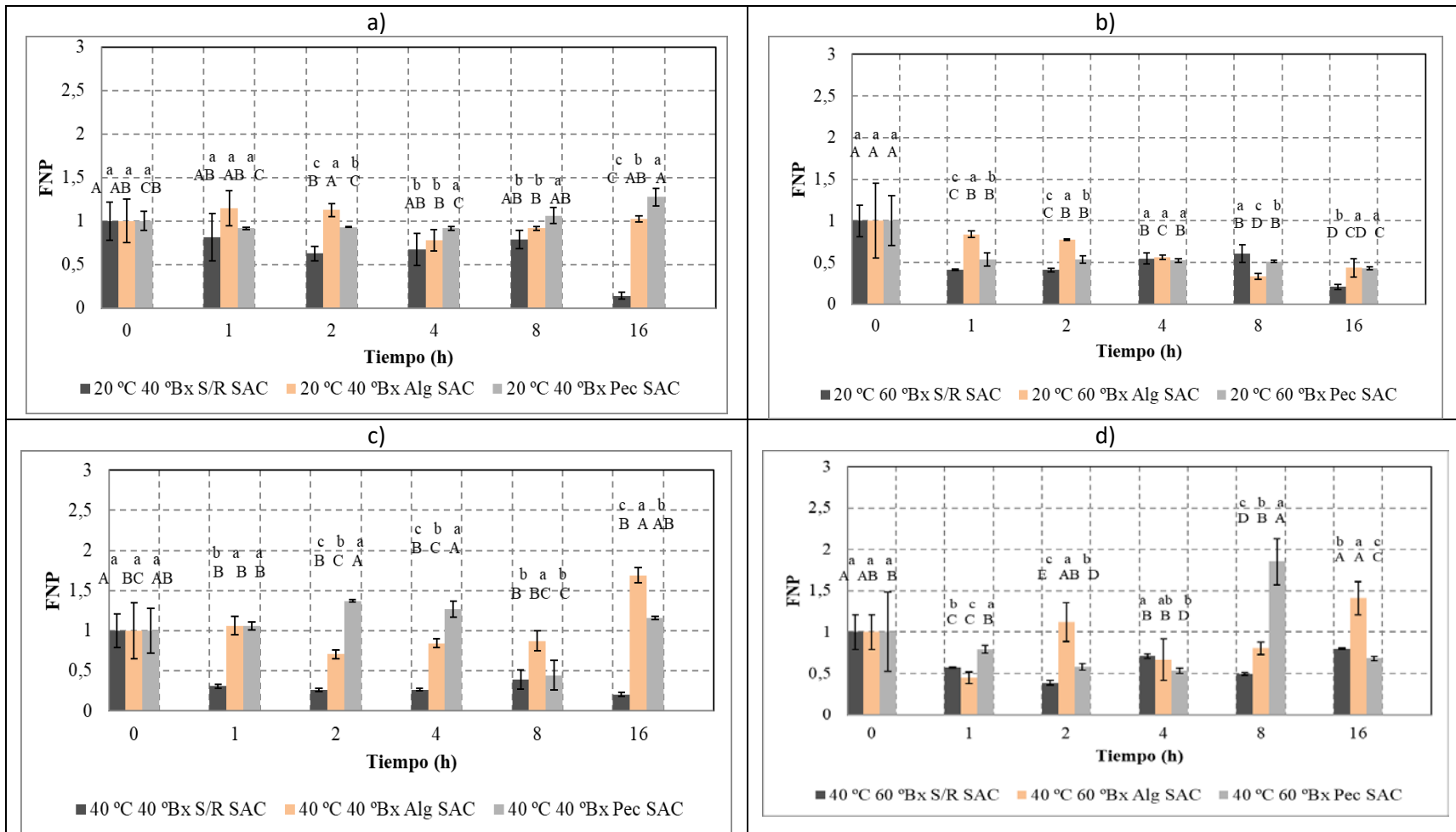
Los cambios en la textura de los cubos de pera fueron analizados a temperatura y concentración constante. Se observó la influencia de los factores tiempo y recubrimiento para cada condición de deshidratación osmótica (DO) utilizando sacarosa (SAC) como agente deshidratante. El análisis estadístico arrojó los valores-p para las variables de respuesta donde se mostró la importancia de cada factor (ver Anexo C).

Para las condiciones de DO 20°C – 40 °Bx, se observó que la aplicación de recubrimientos y el tiempo de DO fueron significativos (valor-p < 0,05) en FNP y WNP. En estas condiciones de procesamiento, como se observó en el Capítulo 4, hubo una baja tasa de deshidratación lo cual provocó leves cambios en la textura. La evolución de los valores de FNP se muestra en la Figura 5.1a. Los mayores cambios en la firmeza fueron acentuados en el caso S/R, mostrando diferencias significativas a partir de 2 h de DO con respecto a su

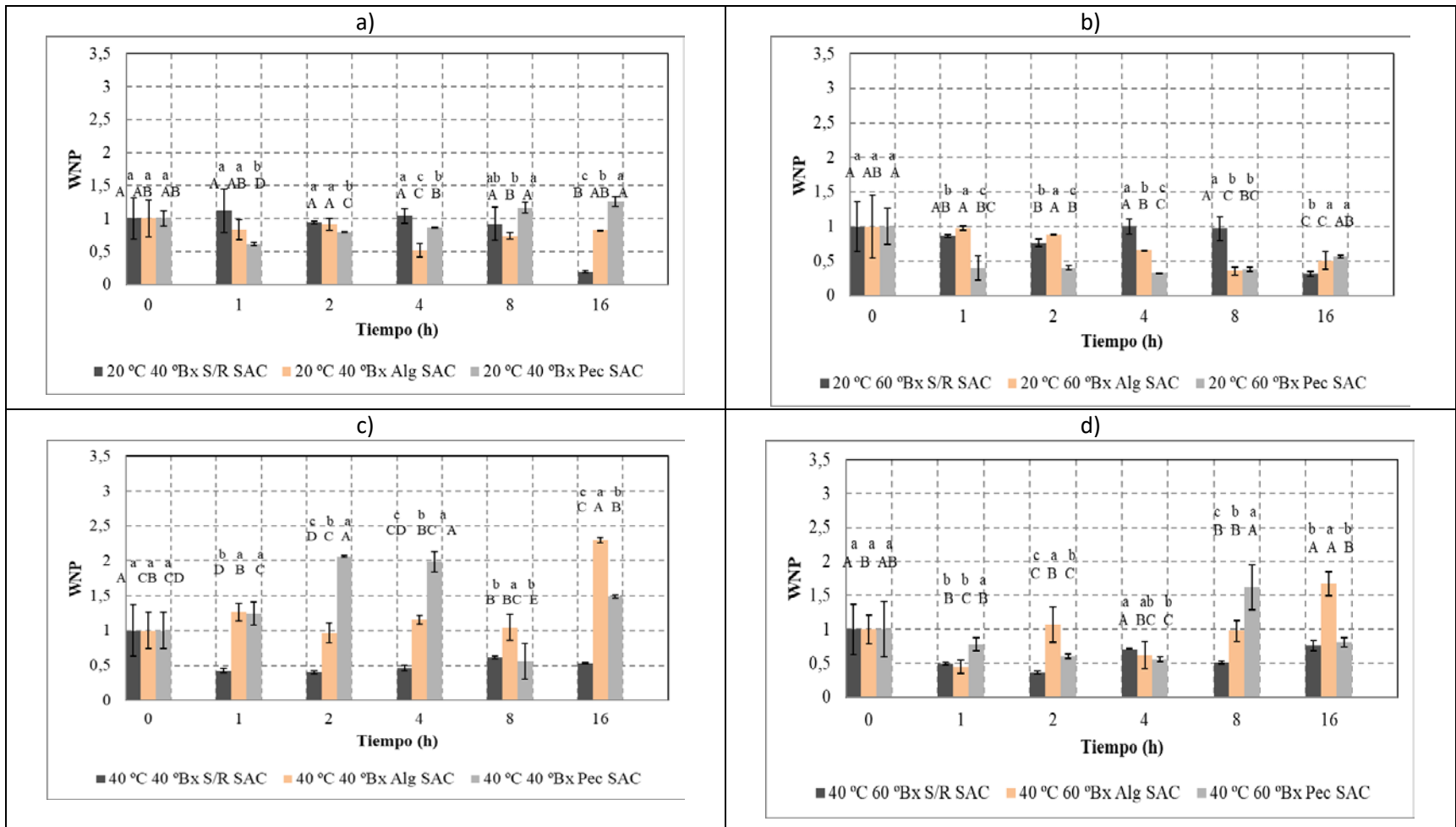
condición de referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,22$  S/R), luego la firmeza permaneció constante hasta las 8 h, cayendo a  $0,14 \pm 0,04$  al final de la DO. Se observó que los recubrimientos permitieron una conservación de la firmeza, donde los niveles de FNP fueron más próximos a la condición de referencia (Fresca recubierta con Alg, FNP:  $1 \pm 0,25$  y con Pec, FNP:  $1 \pm 0,11$ ), obteniéndose valores de FNP de  $1,03 \pm 0,03$  para Alg y  $1,28 \pm 0,10$  para Pec a las 16 h de DO. Ambas muestras demostraron tener diferencias significativas entre ellas y con el tiempo de DO ( $p < 0,05$ ). Se observó que la Pec permitió mejor conservación que el Alg con respecto a este parámetro.

En cuanto al parámetro WNP, en general, todas las condiciones de recubrimiento presentaron diferencias significativas entre ellas ( $p < 0,05$ ) (Figura 5.2a). La energía necesaria para la penetración en las muestras S/R fue muy similar a la condición de referencia respectiva (Fresca,  $1 \pm 0,31$ ), hasta las 8 h de DO y cae hasta  $0,19 \pm 0,02$  a las 16 h de DO. Para el caso de Alg, la energía necesaria para la penetración en las muestras se mantuvo por debajo de la condición de referencia (Fresca recubierta, WNP:  $1 \pm 0,28$  Alg), y los cambios con el tiempo fueron significativos ( $0,82 \pm 0,01$  a las 16 h). En el caso de Pec, WNP fue inferior en un principio y con diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) hasta las 2 h de DO (Fresca recubierta, WNP:  $1 \pm 0,12$  Pec), y luego aumentó hasta superar las condición de referencia a las 16 h de DO ( $1,26 \pm 0,08$ ). Este comportamiento podría deberse a la mayor incorporación de sólidos (SG) lo cual se observó en el Capítulo 4 para esta condición.

En literatura, se presentaron resultados similares. Ferrari y Hubinger (2008), han observado una reducción en la firmeza de cubos de melón tratado con solución de sacarosa a 40 °Brix y 30°C hasta 8 h de DO e informaron que la misma podría estar relacionada con la menor pérdida de agua y una mayor ganancia de azúcar causando un ligero ablandamiento del tejido del melón. Por otro lado, cuando el melón fue recubierto con pectina (1%), los autores observaron una conservación de la firmeza en las muestras, esto se atribuyó a la acción de una sal de calcio sobre la estructura de melón, reforzando la pared celular.



**Figura 5.1.** Fuerza Normalizada de Penetración (FNP) para las DO (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento utilizando como agente osmótico sacarosa. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D) respecto del tiempo.



**Figura 5.2.** Trabajo Normalizado de Penetración (WNP) para las DO (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento utilizando como agente osmótico sacarosa. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.

Para el caso de DO 20°C – 60 °Bx, los valores experimentales de FNP y WNP fueron afectados significativamente (valor-p < 0,05) por los factores tiempo y recubrimiento. En general, en la primer hora de DO, todas las condiciones de recubrimiento (Alg y Pec) y el control (S/R) presentaron una disminución significativa con respecto a su condición de referencia y se mantuvieron constantes a lo largo de la DO. A las 16 h de DO, los niveles de FNP en las muestras Alg y Pec se igualaron (p > 0,05) (Figura 5.1b). El mayor cambio de firmeza ocurrió en el caso S/R, disminuyendo hasta  $0,21 \pm 0,03$  luego de 16 h de DO, siendo significativamente diferente a la condición de referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,19$  S/R). Al final de la DO se observó que con la aplicación de los recubrimientos, se obtuvo una reducción significativa de la firmeza en comparación a la muestra de referencia, manteniéndose en mejores condiciones que las muestras S/R ( $0,43 \pm 0,02$  para Pec y  $0,44 \pm 0,11$  para Alg luego de 16 h de DO).

En cuanto a WNP, el comportamiento se observa en la Figura 5.2b. En general, hasta las 4 h de DO, todas las condiciones de recubrimiento presentaron diferencias significativas; siendo superiores los valores de WNP para las muestras S/R y Alg con respecto a Pec. A las 16 h de DO, los valores de WNP para las muestras recubiertas fueron significativamente mayores que para las muestras S/R. En el caso de S/R, los valores obtenidos fueron más próximos a la condición de referencia (Fresca WNP:  $1 \pm 0,36$ ) durante las primeras 8 h de DO, pero desciende significativamente hasta  $0,31 \pm 0,04$  a las 16 h de DO. Para el caso de Alg, la energía necesaria fue similar a su propia condición de referencia (Fresca recubierta, WNP:  $1 \pm 0,46$  Alg) hasta las 4 h de DO y fue cayendo significativamente a partir de las 8 h hasta el final de la DO ( $0,50 \pm 0,13$  a 16 h de DO).

En el caso de Pec, los valores de WNP fueron menores, presentando diferencias significativas (p < 0,05) respecto a su condición de referencia (Fresca recubierta, WNP:  $1 \pm 0,26$  Pec) y se mantuvieron prácticamente similares hasta el final de la DO ( $0,56 \pm 0,02$  a 16 h de DO). Estas diferencias están muy relacionadas con los cambios sucedidos durante la deshidratación, ya que se observó una mayor pérdida de agua (WL) y menor ganancia de sólidos (SG) con la aplicación de los recubrimientos (Cap. 4, sección 4.1.2.1), dando como resultado una estructura más firme con respecto a las muestras S/R hasta las 2 h de DO. Por consiguiente, para este tiempo de DO, los resultados obtenidos muestran que puede lograrse

una mayor retención de la firmeza superficial de las muestras con la aplicación de recubrimientos comestibles.

En los procesos de deshidratación, la pérdida de agua en el material puede provocar el colapso y la deformación de las paredes celulares, la disminución de la presión de turgencia en las células e incluso la plasmólisis. Mayor y colaboradores (2007) correlacionaron estos efectos con el contenido de humedad, a través de curvas de compresión en cilindros de calabaza fresca y procesada con soluciones de sacarosa a 60 °Bx a 25 °C durante 9 h de DO. Estos autores observaron, a lo largo del proceso de deshidratación, dos zonas con diferente estructura en el material: un frente de deshidratación, que penetra en el tejido durante el tratamiento; y un núcleo sólido, con las mismas características físicas, químicas y estructurales que el material fresco, el cual disminuye a lo largo del tratamiento osmótico. El frente de deshidratación en calabazas, donde las células han perdido su presión de turgencia y las fibras están más compactadas, probablemente tenga características mecánicas similares a las del material deshidratado a las 9 h, mayor tensión o firmeza en comparación con el material fresco. Sin embargo, estos autores afirman que el núcleo sólido tiene las características mecánicas del material fresco. Esto último también fue observado en el presente trabajo cuando se seccionaron por la mitad cubos de peras deshidratados osmóticamente y pudo apreciarse visualmente dichas zonas (ver Capítulo 6). Ferrari y colaboradores (2007), observaron en la deshidratación de rodajas de pera sin recubrimiento, una disminución de los valores de fuerza a partir de las 4 horas de proceso en soluciones de sacarosa de 60 °Bx y a 30°C. Los resultados se atribuyeron a la mayor tasa de pérdida de agua e incorporación de sólidos como así también a factores químicos y enzimáticos, tales como la descomposición de la pectina presente en la pared celular por acción de enzimas responsables del ablandamiento del fruto, como son la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa. Moreno y colaboradores (2011) reportaron que los tratamientos osmóticos (65 °Bx y 30°C) provocaron una disminución de la firmeza de cubos de pera sin recubrir, luego de 5 h de tratamiento. Estos autores lo atribuyeron a los cambios físicos y químicos tales como la transformación de protopectina a pectina soluble y a la difusión de sacarosa en los espacios intercelulares, lo que provocó la pérdida de turgencia. Mavroudis y colaboradores (2012), encontraron en el procesamiento de cilindros de manzanas no recubiertos en solución de sacarosa (50 °Bx, 20°C y tiempo de operación 3 h)

un mayor ablandamiento del tejido. Sin embargo, una ligera modificación del medio osmótico mediante la adición de una cantidad mínima de  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  (0,25%) resultó en un menor ablandamiento del tejido para el mismo grado de eliminación de agua. Los autores observaron que la solubilización de la pectina de la pared celular es la principal responsable del ablandamiento. Independientemente de cuál es el mecanismo exacto responsable del colapso textural, los autores concluyeron que la composición del medio osmótico podría influir en el ablandamiento del tejido cuando el procesamiento osmótico se realiza a temperaturas moderadas. Otros autores, también atribuyeron la pérdida de firmeza a factores químicos y enzimáticos (Ferrari y col. 2007; De Souza Silva y col. 2011; Moreno y col. 2011; Rodriguez y col. 2016).

Con respecto a la aplicación de recubrimientos, Jalaee y colaboradores (2011), en su trabajo de investigación deshidrataron en solución de sacarosa a 60 °Bx y 30°C, anillos de manzana recubierta con pectina de bajo metoxilo y observaron mejoras en las características texturales asociándolo a la presencia de iones calcio presentes en el hidrogel. Rodriguez y colaboradores (2016) han observado una retención de la turgencia en cubos de zapallo recubierto con alginato (1%) después de 180 minutos de inmersión en solución de sacarosa a 60 °Bx y 20°C, observando claramente el efecto barrera del revestimiento de alginato.

Para el experimento de DO 40°C – 40 °Bx, se observó que la influencia de los factores tiempo y recubrimiento fue significativa (valor-p < 0,05). En estas condiciones de procesamiento, se registró una mayor pérdida de la firmeza en el caso S/R desde el inicio de la DO manteniéndose constante hasta el final, donde su valor fue  $0,20 \pm 0,02$  a las 16 h de DO (Figura 5.1c). Los recubrimientos permitieron una conservación de la firmeza en comparación a S/R. En la mayoría de los casos, el valor de FNP fue más próximo a la condición de referencia respectiva (Fresca recubierta, FNP:  $1 \pm 0,35$  Alg y FNP:  $1 \pm 0,28$  Pec). En la etapa final de DO (16 h), se obtuvieron valores de  $1,15 \pm 0,02$  para Pec y  $1,69 \pm 0,09$  para Alg, superiores a la condición de referencia respectiva, donde Alg mostró la mayor diferencia significativa.

En cuanto a WNP, las tendencias se observan en la Figura 5.2c donde en el caso de S/R los valores cayeron por debajo de la condición de referencia (Fresca, WNP:  $1 \pm 0,37$  ) desde el inicio de la DO manteniéndose constante hasta el final (WNP=  $0,54 \pm 0,01$ ). Se observó

que la reducción de energía necesaria para la penetración de los cubos de pera fue significativa para todos los tiempos.

En el caso de Alg, la energía necesaria se mantuvo similar a su condición de referencia (Fresca recubierta, WNP:  $1 \pm 0,26$  Alg) durante las primeras 8 h, alcanzando un valor máximo de  $2,30 \pm 0,04$  a las 16 h de DO y siendo significativamente diferente con respecto a S/R y Pec. En el caso de Pec, el nivel de WNP tuvo un mayor valor con respecto a Alg y S/R en las primeras 4 h, sin embargo, luego de ese tiempo cae alcanzando un valor de  $1,49 \pm 0,02$  al final de la DO.

Estas diferencias tan marcadas están muy relacionadas con los cambios sucedidos en la DO bajo estas condiciones, los cuales presentaron altos valores de WL y una disminución en los valores de SG, lo cual sumado a la aplicación de los recubrimientos, dan como resultado una mayor firmeza estructural.

Abraão y colaboradores (2013), trabajaron con cilindros de calabazas osmodeshidratados sin recubrir en condiciones similares al presente trabajo y observaron que las mismas resultaron más frágiles y menos resistentes cuando el contenido de agua se redujo y el contenido de sólidos se incrementó. Estos autores lo atribuyeron, a los cambios en la elasticidad de la pared celular de los tejidos de calabaza osmodeshidratadas. Silva Paz y colaboradores (2013), deshidrataron cubos de zapallo sin recubrir por 1 h en solución de sacarosa a  $40^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{Bx}$  y observaron que la DO reduce la dureza, la gomosidad, la adhesividad y la masticabilidad y aumenta la elasticidad.

Finalmente, durante el proceso de DO a  $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$  se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa ( $\text{valor-p} < 0,05$ ) en la FNP y WNP. En general, bajo estas condiciones de procesamiento, todas las condiciones de recubrimiento presentaron diferencias significativas para todos los tiempos de DO. El comportamiento de la FNP se muestra en la Figura 5.1d, donde se observa que los valores alcanzados en las muestras S/R fueron inferior a la condición de referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,21$  S/R) en todos los tiempos de DO, cayendo hasta  $0,80 \pm 0,01$  su valor relativo, a 16 h de DO.

Por otra parte, se observó que el recubrimiento Alg, también disminuyó a partir de la primera hora de DO, pero alcanzó un valor de  $1,41 \pm 0,20$  luego de 16 h de DO, superando la condición de referencia respectiva (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,21$  Alg). En el caso de Pec, a partir de la primera hora se observó una disminución, finalizando la DO con un valor de



$0,68 \pm 0,03$ ; siendo significativamente menor con respecto a la condición de la referencia respectiva (Fresca recubierta, FNP:  $1 \pm 0,48$  Pec).

En cuanto a WNP, la tendencia se observa en la Figura 5.2d y al igual que en FNP, las diferentes condiciones de recubrimiento presentaron diferencias significativas a lo largo del tiempo de DO; siendo más evidente al comparar la muestras recubiertas con respecto a las muestras sin recubrir. Durante la DO, en el caso de S/R, los valores fueron menores a la condición de referencia respectiva (Fresca, WNP:  $1 \pm 0,37$  S/R) y se observó un leve incremento a partir de las 4 h llegando hasta  $0,76 \pm 0,07$ , a 16 h de DO. En el caso de las muestras recubiertas con Alg, se observó que la energía necesaria para la penetración presentó fluctuaciones durante la DO, aunque a partir de las 8 h se observó un aumento de la misma hasta el final de la DO. A 16 h de DO, la WNP en las muestras recubiertas con Alg, se incrementó a  $1,67 \pm 0,17$ , siendo significativamente mayor a la muestra de referencia (Fresca recubierta, WNP:  $1 \pm 0,21$  Alg). Para el caso de Pec, a partir de la segunda hora de DO disminuyó significativamente y se mantuvo constante hasta las primeras 4 h. Luego a las 8 h se incrementó a  $1,62 \pm 0,33$ , aunque al final de la DO esta energía resultó menor (WNP:  $0,81 \pm 0,07$  Pec a las 16 h de DO) sin diferencias significativas respecto a la fresca recubierta (WNP:  $1 \pm 0,41$  Pec). Estas diferencias marcadas podrían estar relacionadas con los cambios sucedidos en la DO, dado los altos valores de WL y SG, a la pérdida de turgencia en las células y a una solubilización de la pectina en la estructura celular (Mayor y col. 2007; Mavroudis y col. 2012).

Otros autores presentaron resultados similares. Moreno y colaboradores (2011) han observado en la deshidratación osmótica de cubos de peras ( $65$  °Bx y  $40^{\circ}\text{C}$ ), una disminución de la firmeza y la misma se diferenció significativamente de las muestras frescas.

Abraão y colaboradores (2013) reportaron en la deshidratación osmótica de cilindros de calabazas ( $60$  °Bx y  $40^{\circ}\text{C}$ ), que la firmeza cambia significativamente su comportamiento y lo asociaron con el contenido de humedad, de manera tal, que cuanto menor es el contenido de agua de los tejidos vegetales, más frágil y menos resistente resultan. En general, la deshidratación osmótica causa la pérdida de turgencia en las células, afectando su tamaño y forma, alterando la circunferencia de los espacios intercelulares (Derossi y col. 2008).

Por otro lado, Akbarian y colaboradores (2015) investigaron la deshidratación del membrillo en una solución formulada con fructosa 47,68%, cloruro de calcio 3,99% y ácido cítrico 3,49%; las muestras se recubrieron con pectina de bajo metoxilo – carboximetil celulosa (1,5 – 1,5%, respectivamente), se deshidrataron osmóticamente y finalmente se secaron con aire caliente. Los resultados de la prueba de compresión, mostraron que las muestras sin recubrimiento causaron una disminución significativa ( $p < 0,05$ ) de la firmeza respecto del control, lo que podría atribuirse al efecto plastificante de los ingredientes de bajo peso molecular que son absorbidos de las soluciones osmóticas. Los compuestos plastificantes, mejoran la movilidad de las cadenas de biopolímeros en la estructura del alimento y reducen la rigidez mecánica. En cuanto al recubrimiento utilizado, el mismo permitió una conservación de la firmeza luego de la DO.

Jansrimanee y Lertworasirikul (2017), observaron en la DO (70 °Bx, 30°C y 12 h) de cubos de calabaza, que las muestras recubiertas con alginato de sodio tuvieron valores de dureza significativamente más altos que las muestras no recubiertas. Los valores de dureza también aumentaron cuando las muestras de calabaza se recubrieron con una concentración mayor de alginato de sodio, logrando una película más dura alrededor de las muestras. A su vez, observaron a través de imágenes SEM, que las muestras recubiertas tuvieron una menor cantidad de soluto absorbido dentro de la pared celular.

### **5.2.2. Comparación de la textura en sacarosa**

La variación de la firmeza y el trabajo realizado para la penetración tuvieron diferentes comportamientos bajo las condiciones estudiadas. En las condiciones S/R, se observó que valores de pérdida de agua (WL) superiores al 20% con ganancias de sólidos (SG) superiores al 8%, generan una significativa pérdida de la firmeza. No obstante, cuando la WL supera el 50% y la SG supera el 12%, de manera simultánea, hay una leve recuperación de la firmeza de las muestras. Estos comportamientos fueron observado también por otros autores y lo atribuyeron a la compactación celular producida durante la deshidratación (Mayor y col. 2007; Ferrari y Hubinger 2008). Para el caso DO a 20°C - 40 °Bx, se obtuvieron las menores diferencias en la firmeza respecto a las muestras controles respectivas (fresca), en comparación a los demás tratamientos debido al menor grado de deshidratación observado en el Capítulo 4. Los niveles de FNP y WNP en las muestras

recubiertas, mantuvieron sus valores más próximos a la condición de referencia para todos los tiempos; lo cual podría atribuirse a que los recubrimientos permiten conservar la turgencia de las células. A su vez, la presencia de iones calcio al unirse con la pectina de la pared celular, dan resistencia y refuerzan la estructura celular, dado que parte del calcio utilizado en la formación de los recubrimientos puede difundir, unirse a las células dañadas en el corte de los cubos de pera e incluso permanecer en la estructura del recubrimiento o espacios intercelulares y generar un efecto doble de protección. Los iones calcio reaccionan con la pectina de la pared celular formando pectato de calcio, otorgando mayor firmeza a las muestras (Ferrari y col. 2013). En calabaza se ha demostrado que cuando son sumergidas en solución de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) previo al tratamiento osmótico, esto contribuye a la retención de la firmeza (Rodríguez y col. 2016).

Por otra parte, con el aumento de la concentración del agente osmótico (60 °Bx), se generó un ablandamiento de las muestras a 2 h de DO. Sin embargo, a mayores tiempos de DO la firmeza resultante fue mayor debido a una alta WL y con respecto a los recubrimientos, los mismos permitieron una conservación de la estructura del fruto para estas condiciones.

Con el aumento de la temperatura, en la DO a 40°C - 40 °Bx, la condición S/R presentó una reducción de la firmeza significativa durante toda la DO. Bajo estas condiciones, se observó un claro efecto protector de los recubrimientos sobre las células superficiales de las muestras, evitando el daño generado por la solución hipertónica y el aumento de la temperatura. En la DO a 40°C - 60 °Bx, no se observaron tendencias claras sobre el efecto de las diferentes condiciones de recubrimientos durante el proceso. Sin embargo, entre los recubrimientos, el Alg proporcionó la mayor firmeza en comparación con Pec, al final de la DO. Esto podría estar asociado a que los geles de alginato son termoestables, por lo que tendría mayor resistencia al tratamiento de DO y prolongar su efecto protector. Se ha observado en la práctica que los geles de alginato pueden tratarse térmicamente sin fundirse (Draget 2000; Calvo 2005).

Las propiedades mecánicas de los tejidos biológicos dependen de las contribuciones de los diferentes niveles de estructura: el nivel molecular (es decir, los elementos químicos y las interacciones entre los polímeros constituyentes), el nivel celular (es decir, la arquitectura de las células y sus interacciones) y el nivel del órgano (es decir, la disposición de las células en los tejidos). A nivel celular, los tres principales aspectos estructurales que

contribuyen a las propiedades texturales de los alimentos vegetales son la turgencia (la fuerza ejercida sobre la membrana celular por el fluido intracelular), la rigidez de la pared celular y la adhesión célula-célula, determinada por la integridad de la lamela media y el plasmodesmo (García Loredó y col. 2013). Estas propiedades claramente se ven modificadas en la DO, lo cual induce a las respuestas observadas en los experimentos del presente trabajo.

A partir de todos estos resultados y observaciones de otros autores (Jalaei y col. 2011; Ferrari y col. 2013; Rahimi y col. 2013; Rodríguez y col. 2016; Jansrimanee & Lertworasirikul 2017), la aplicación de recubrimientos comestibles permitiría disminuir el daño de los tejidos vegetales por DO y aumentar la firmeza de las muestras por la presencia de iones calcio contrarrestando el efecto de ablandamiento generado por la DO con soluciones de sacarosa.

### **5.2.3. Cambios texturales producidos durante la DO con soluciones de jarabe de glucosa**

Los cambios en la textura obtenidos con la utilización de jarabe de glucosa se analizaron siguiendo el mismo orden aplicado a sacarosa.

Para el caso de DO a 20°C – 40 °Bx, se observó que la influencia de los factores recubrimiento y tiempo fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05) en FNP y WNP (Anexo C).

Para estas condiciones de procesamiento, los niveles de FNP se muestran en la Figura 5.3a, donde la pérdida de firmeza se observó en el caso S/R, mostrando diferencias significativas con respecto a su respectiva condición de referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,17$  S/R) y disminuyendo hasta  $0,69 \pm 0,05$  su valor relativo, al final de la DO. Entre los recubrimientos, se observó que Pec tuvo una mayor firmeza respecto de Alg en las primeras 8 h de DO. A su vez, las muestras recubiertas con Alg mantuvieron prácticamente la firmeza con respecto a su respectiva condición de referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,25$  Alg), en este lapso del tratamiento DO.

Por otra parte, luego de 16 h de DO, se observó que los valores alcanzados en las condiciones recubiertas fueron mayores que S/R, obteniéndose una FNP de  $0,99 \pm 0,06$

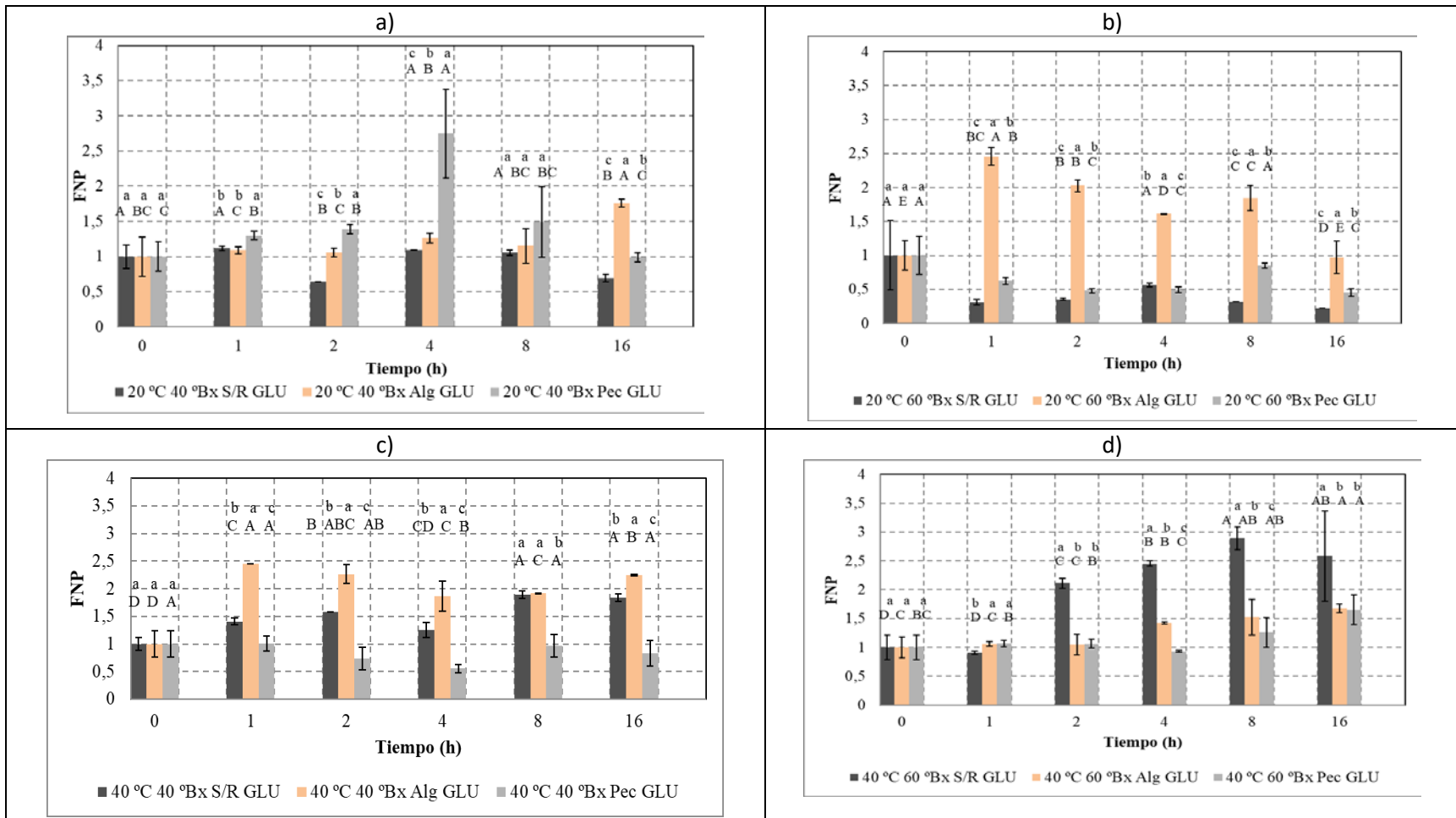
para Pec y  $1,76 \pm 0,06$  para Alg, siendo significativamente diferentes entre ellos y con la condición S/R ( $p < 0,05$ ).

En cuanto a los niveles WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.4a. Se puede observar que para la mayoría de los tiempos de procesamiento existen diferencias significativas entre las muestras recubiertas y S/R. Por otra parte, la energía necesaria para la penetración en S/R fue aumentando levemente hasta las 8 h y luego disminuyó significativamente, alcanzando nuevamente el valor de la condición de referencia (WNP:  $1,18 \pm 0,09$  S/R a las 16 h de DO).

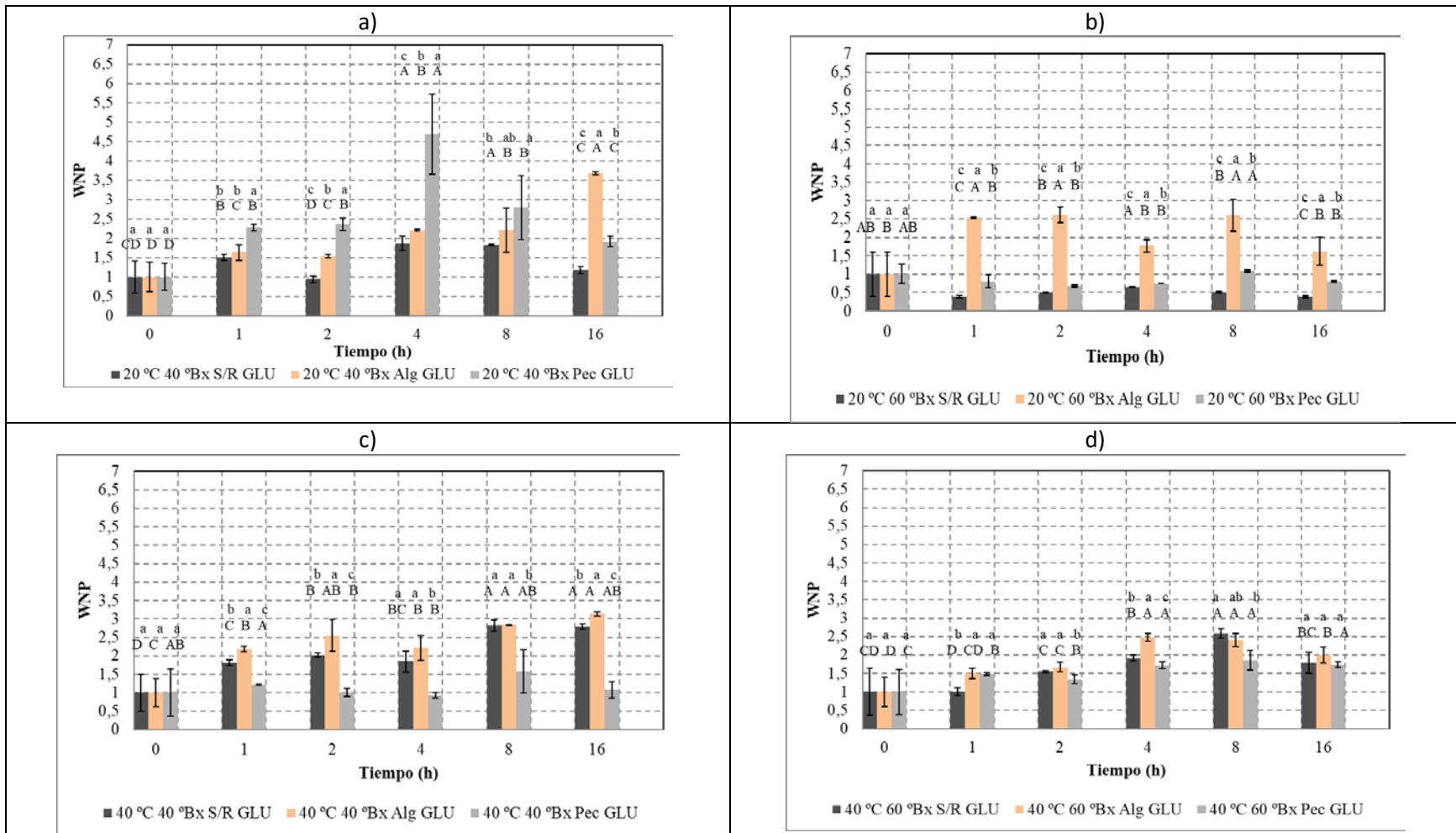
En las muestras de Alg, se observó un aumento significativo de los niveles de WNP triplicándose el valor a las 16 h de DO (WNP:  $3,68 \pm 0,04$  Alg). En el caso de Pec se incrementó hasta las 4 h, pero luego disminuyó significativamente aunque su valor final fue superior a la muestra de referencia (WNP:  $1,92 \pm 0,13$  Pec a las 16 h de DO).

En bibliografía se reportan diversos productos tratados con soluciones de glucosa. Castelló y colaboradores (2009) deshidrataron rodajas de manzana sin recubrir con solución de glucosa a 30 °Bx, 30°C durante 5 a 6 h de DO y encontraron que los tratamientos osmóticos no afectaron la fuerza máxima de las muestras respecto del control. Simultáneamente, se estudio la adición de calcio (1%) a la solución de glucosa, demostrando que la concentración de calcio incrementó significativamente la fuerza.

Rodriguez y col (2016) observaron en cubos de zapallos con y sin recubrimiento de alginato, utilizando soluciones de sacarosa y glucosa a 40 °Bx y a 20 °C, que las muestras deshidratadas con glucosa presentaron mayor firmeza, tanto en las muestras recubiertas como sin recubrir. Estos autores lo atribuyeron a la diferencia de peso molecular de los solutos. Estos resultados estan en concordancia con los encontrados en el presente trabajo de tesis.



**Figura 5.3.** Fuerza Normalizada de Penetración (FNP) para las (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento en jarabe de glucosa. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.



**Figura 5.4.** Trabajo Normalizado de Penetración (WNP) para las DO (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento en jarabe de glucosa. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.

Para el caso de DO 20°C – 60 °Bx, se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05) en FNP y WNP. La variación de los valores de FNP se muestra en la Figura 5.3b. En estas condiciones de procesamiento, se registró una mayor caída de la firmeza en las muestras S/R y Pec. En el caso de S/R, se registró un valor final de  $0,22 \pm 0,01$ , siendo significativamente menor con respecto a su condición de referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,51$  S/R). Los valores alcanzados en las condiciones recubiertas fueron significativamente mayores que S/R y esto fue más relevante en el caso de Alg, donde los valores fueron superiores a su condición de referencia (Fresca recubierta, FNP:  $1 \pm 0,22$  Alg) hasta las 8 h de DO, alcanzando luego un valor de  $0,97 \pm 0,24$  a 16 h de DO. Este comportamiento en Alg podría estar asociado a los altos valores de WL y los menores valores de SG generados por el tratamiento de DO en comparación con S/R y Pec (Capítulo 4, sección 4.1.2.3) y al efecto protector del recubrimiento. Para el caso de Pec, la firmeza disminuyó significativamente a partir de 1 h de DO, manteniéndose constante a lo largo de la DO. El valor final de FNP fue de  $0,45 \pm 0,06$ , siendo significativamente superior al valor de S/R.

En cuanto a WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.4b. Se puede observar que las mismas son similares a las observadas en FNP. En el caso de Alg, los valores de WNP fueron significativamente mayor que en el resto de las condiciones y con su respectiva condición de referencia (Fresca recubierta, WNP:  $1 \pm 0,60$  Alg), obteniéndose a las 16 h de DO un valor de  $1,63 \pm 0,38$ . Para el caso de Pec, el valor de WNP fue igual significativamente a su respectiva condición de referencia (Fresca, WNP:  $1 \pm 0,34$  Pec), consiguiendo a la 16 h de DO; un valor de  $0,80 \pm 0,06$ . La misma fue significativamente superior a S/R.

Comportamientos similares se observaron en estudios con cubos de zapallo recubiertos con alginatos y deshidratados osmóticamente con solución de glucosa, los cuales fueron atribuidos a la baja absorción de azúcares y a la presencia de calcio en el recubrimiento, que provocaría un menor daño tisular y un aumento en la firmeza, respectivamente (Rodríguez y col. 2016).

Zhao y colaboradores (2014) investigaron el efecto del pretratamiento osmótico (30, 45 y 60 °Bx a 30°C durante 2h) en los atributos de calidad de bastones congelados de mango y los resultados revelaron que los productos pretratados con glucosa mostraron una mayor



firmeza en comparación a los tratados con sacarosa. Los mismos se atribuyeron a la incorporación de azúcares, lo que aumenta la dureza de la muestra. Por otra parte, los mismos autores estudiaron la adición de cloruro de calcio en la solución osmótica y observaron que el mismo contribuyó al aumento de la dureza debido a la interacción del calcio con los componentes de la matriz celular.

Para el caso de DO 40°C – 40 °Bx, tanto en los valores de FNP como en los niveles de WNP se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05). En estas condiciones de procesamiento, se registró una mayor caída del valor de FNP durante la DO para el caso de Pec; obteniéndose un valor final de  $0,83 \pm 0,23$  a 16 h de DO (Figura 5.3c).

En el caso de S/R y Alg, los valores de FNP fueron significativamente superiores a sus respectivas condiciones de referencia (Frescas, FNP:  $1 \pm 0,11$  S/R y FNP:  $1 \pm 0,24$  Alg) como se muestra en la Figura 5.3c. Al final del tratamiento de DO se obtuvieron los valores de FNP de  $1,84 \pm 0,07$  y  $2,25 \pm 0,01$  para S/R y Alg, respectivamente. Bajo estas condiciones, el Alg fue significativamente superior a S/R.

En cuanto a WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.4c donde los valores obtenidos para Pec fueron próximos a su respectiva condición de referencia (Frescas, WNP:  $1 \pm 0,64$  Pec). Sin embargo, para S/R y Alg los valores fueron superiores a sus mismas condiciones de referencia (Frescas, WNP:  $1 \pm 0,50$  S/R y WNP:  $1 \pm 0,38$  Alg), alcanzándose  $2,78 \pm 0,07$  y  $3,13 \pm 0,06$  a 16 h de DO, respectivamente.

Las altas tasas de WL y bajas de SG producidas en estas condiciones de DO y en particular para S/R, (Capítulo 4, sección 4.1.2.3), podrían explicar los altos valores de FNP. En el caso de Alg, su comportamiento es similar a las condiciones de DO anteriormente analizadas (DO con jarabe de glucosa 20°C - 60 °Bx).

En cuanto a la condición DO 40°C – 60 °Bx, se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05) para FNP y WNP. En estas condiciones de procesamiento, las muestras S/R tuvieron un aumento significativo de los valores de FNP a partir de las 2 h de DO.

En cuanto a las muestras recubiertas, este aumento se observó a partir de las 4 h de DO para Alg y 8 h de DO para Pec. Al final de la DO, se registró un mayor valor ( $2,58 \pm 0,79$ ) de FNP para el caso de S/R, significativamente diferente a su respectiva condición de

referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,21$  S/R). En el caso de Alg y Pec, los valores de FNP fueron  $1,68 \pm 0,08$  y  $1,65 \pm 0,26$ , a 16 h de DO, respectivamente y significativamente superiores a sus condiciones de referencia (Fresca, FNP:  $1 \pm 0,18$  Alg y FNP:  $1 \pm 0,21$  Pec), como se muestra en la Figura 5.3d.

Al igual que lo observado en las condiciones operativas anteriormente analizadas, el comportamiento de FNP en S/R está asociado a los altos niveles de WL y bajos ingresos de sólidos (menor SG) producidos bajo estas condiciones de DO. Lo mismo ocurre con las muestras recubiertas con Alg y Pec, en cuanto al aumento de la FNP y el sostenimiento de los valores respecto a sus condiciones de referencias.

En cuanto a los niveles de WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.4d, donde los valores obtenidos fueron superiores a la condición de referencia, alcanzando para S/R, Alg y Pec con valores de  $1,78 \pm 0,28$ ,  $2,00 \pm 0,21$  y  $1,74 \pm 0,09$  a 16 h de DO, respectivamente. Salvatori y Alzamora (2000) investigaron los cambios estructurales provocados durante los tratamientos osmóticos sobre rodajas de manzanas sin recubrir. Los análisis mediante microscopía SEM, mostraron una plasmólisis extensa de las membranas celulares, aunque las células mantuvieron la turgencia y su forma redondeada similar al testigo control. Las paredes celulares también se mostraban intactas y los espacios intercelulares aumentaron su tamaño. Los autores atribuyeron este comportamiento, a la distribución de agua y glucosa en los volúmenes extracelular y celular del tejido, lo que conserva el tamaño de las células. Por otro lado, Nieto y colaboradores (2004), reportaron que la deshidratación promueve la plasmólisis y la deformación de la pared celular, lo que implicaría un estrés mecánico que se manifestaría en un aumento de la firmeza.

#### **5.2.4. Comparación de la textura en jarabe de glucosa**

A partir de los resultados obtenidos en base a las condiciones propuestas en jarabe de glucosa, particularmente en las condiciones S/R, se observó al igual que en sacarosa, que pérdidas de agua (WL) superiores al 20% con ganancias de sólidos (SG) superiores a 8% generan una significativa pérdida de firmeza (condiciones DO 20°C – 40 °Bx y 20°C – 60 °Bx). No obstante, cuando el valor de WL supera el 30% y el valor de SG es inferior al 5% hay una recuperación de la dureza de las muestras.

La operación de DO a 20°C - 40 °Bx demostró tener buen efecto en la conservación de la firmeza (valores más próximos a la referencia), incluso superiores que los obtenidos en sacarosa. Los mayores valores de FNP con la presencia de los recubrimientos respecto a sus referencias podrían deberse a los menores valores de SG comparativamente con sacarosa (que generarían menor daño a los tejidos) y a la presencia de calcio.

Cuando se aumentó la concentración del agente osmótico, se presentaron mayores cambios en la firmeza de las muestras. Durante la DO a 20°C - 60 °Bx se observó que Alg conservó la firmeza por encima de la condición de referencia, como consecuencia de los altos valores de WL y bajos en SG. Sin embargo, en Pec se presentaron reducciones significativas de la firmeza y coincidentes con una mayor SG (aprox. al 8%). Este comportamiento diferencial se observó en el Capítulo 3, el hidrogel Alg mostró tener menor afinidad hacia los azúcares (glucosa y maltosa) que el hidrogel Pec.

En cuanto al aumento de la temperatura, la DO a 40°C - 40 °Bx presentó un aumento de la FNP en S/R y Alg, y en Pec se conservó próxima a su condición de referencia. Bajo estas condiciones, las SG no superaron el 8% con lo cual los cambios en FNP pueden estar asociados a la WL y presencia de calcio. En las DO a 40°C - 60 °Bx, la condición S/R tuvo los más altos valores de FNP. Aquí se presentaron los menores valores de WL y mayores valores de SG en comparación a las muestras recubiertas. Para los recubrimientos, los valores fueron superiores a la condición de referencia a partir de las 4 h para Alg y las 8 h para Pec, y permitió una conservación de la estructura. Dicha respuesta podría deberse a que la presencia de calcio que contrarresta la alteración de la temperatura. La utilización de jarabe de glucosa como agente osmodeshidratante, presentó un sostenimiento de la firmeza con la aplicación de los recubrimientos, debido a que se consiguieron mayores valores de WL y se obtuvieron menores valores de SG en comparación con sacarosa.

Al igual que lo observado en sacarosa, los resultados obtenidos en este trabajo y por otros autores (Khin y col. 2007a; Castelló y col. 2009; Rodríguez y col. 2016) demuestran que, gracias a la presencia de los recubrimientos, el daño en los tejidos vegetales osmodeshidratados disminuye considerablemente debido básicamente a la presencia de iones calcio, independientemente de las condiciones de proceso utilizadas.

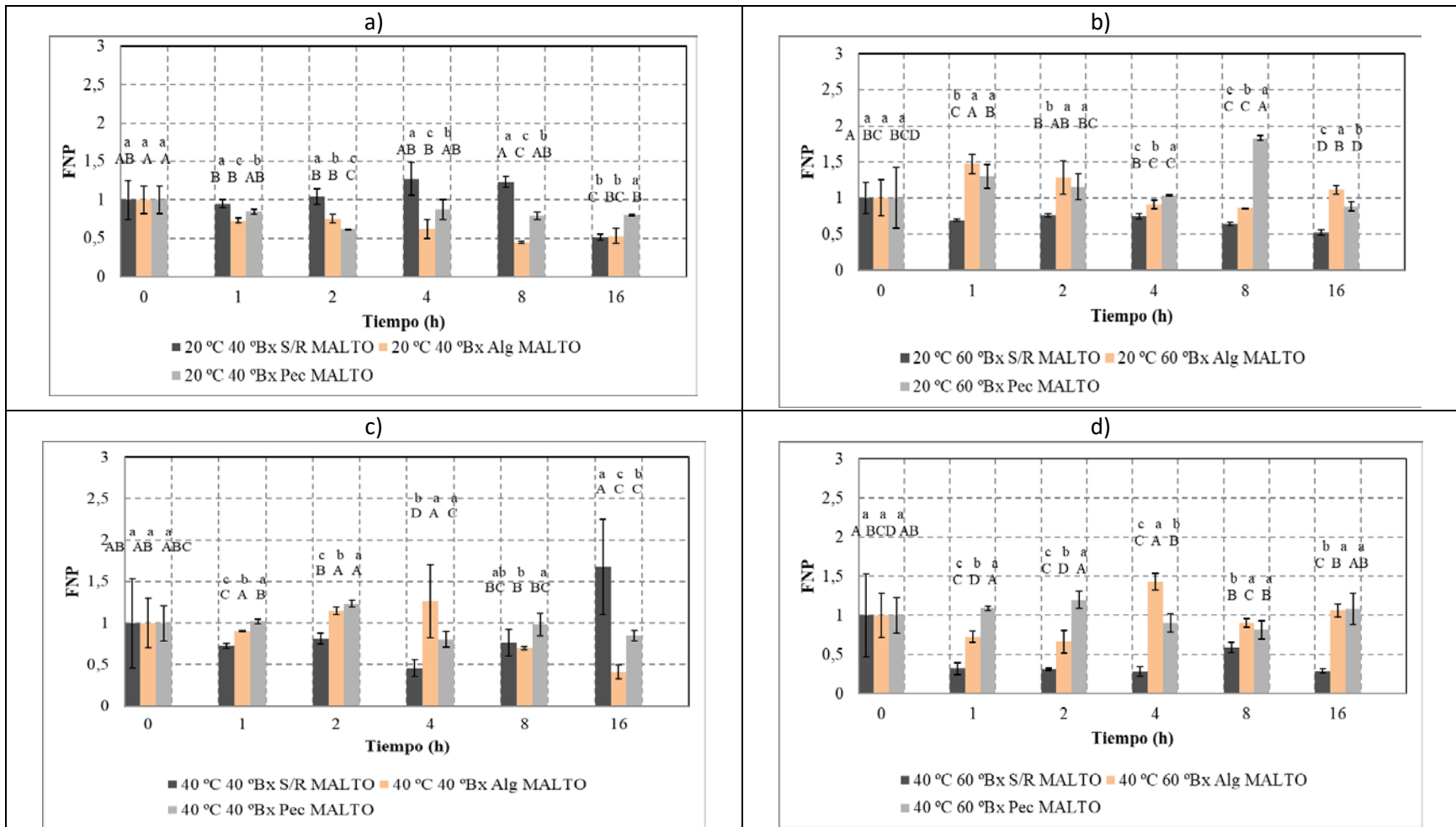
### **5.2.5. Cambios texturales producidos durante la DO con soluciones de maltodextrina**

Los cambios texturales obtenidos con la utilización de maltodextrina se analizaron de la misma manera que en sacarosa y jarabe de glucosa.

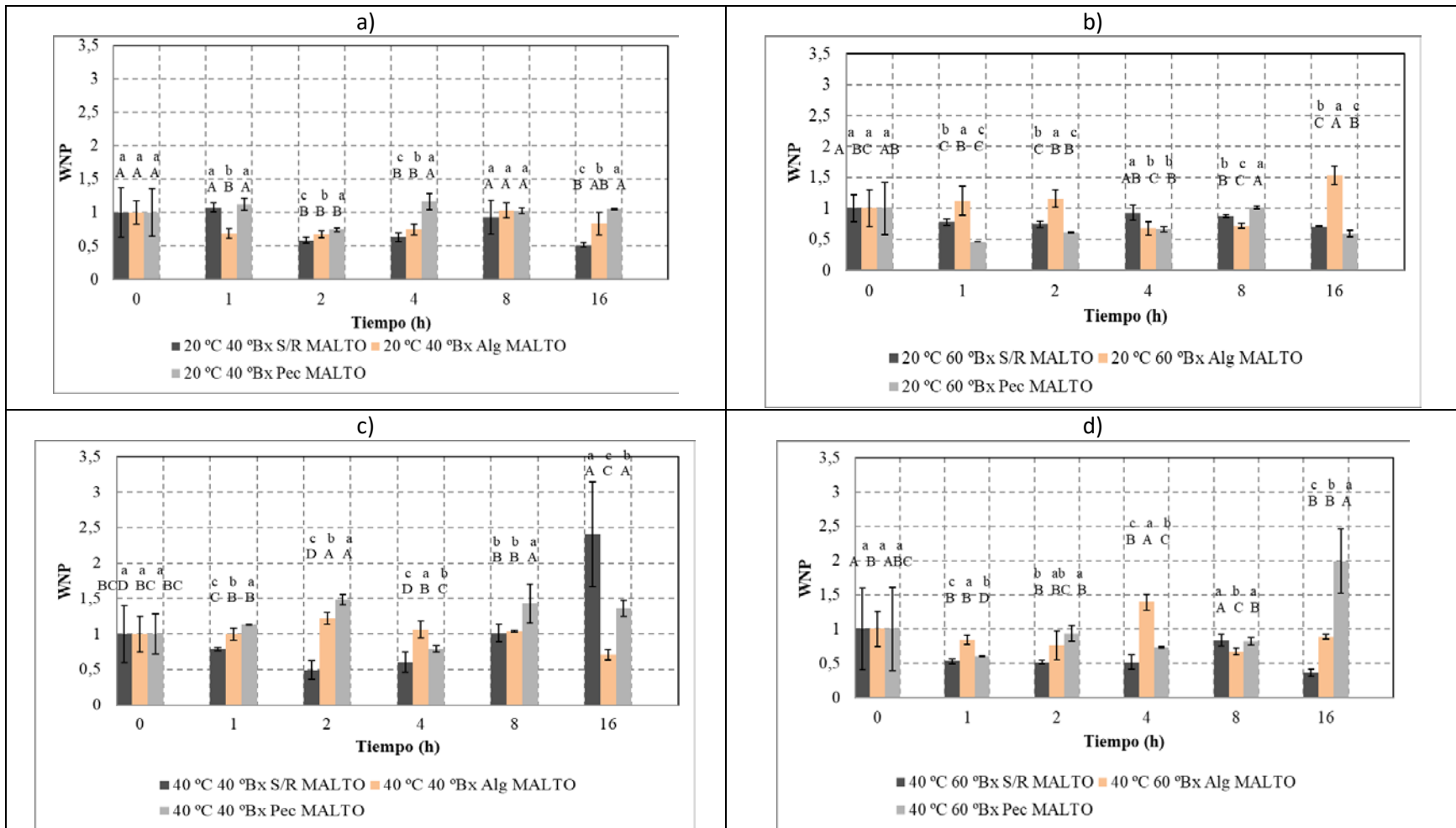
Para el caso de DO 20°C – 40 °Bx, se observó que la influencia de los factores fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05) en los valores de FNP y WNP. En estas condiciones de procesamiento, la FNP registrada en las muestras S/R fue significativamente constante hasta las 8 h de DO, con respecto a su condición de referencia. Finalmente, disminuye a  $0,52 \pm 0,04$ , a 16 h de DO (Figura 5.5a). Para las muestras recubiertas, los valores fueron significativamente inferiores a su respectiva condición de referencia desde la primera hora de DO, alcanzando para Alg  $0,53 \pm 0,10$  y Pec  $0,80 \pm 0,01$  a 16 h de DO.

En cuanto a los niveles de WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.6a, donde los valores obtenidos para S/R y Alg fueron significativamente inferiores a la condición de referencia, a partir de 2 h y 1 h de DO, respectivamente. En el caso de Pec, se obtuvieron valores más próximos a su condición de referencia. Estos leves cambios en la firmeza y energía de penetración acompañan las observaciones realizadas en el Capítulo 4 Sección 4.1.2.5 para estas condiciones de DO, lo cual resultaron en una baja deshidratación e incorporación de sólidos solubles.

En la condición de DO 20°C – 60 °Bx, se observó que la influencia de los recubrimientos y del tiempo fue estadísticamente significativa (valor-p < 0,05) para FNP y WNP. Para estas condiciones de procesamiento, los niveles de FNP se muestran en la Figura 5.5b, donde se observó que los valores alcanzados en las condiciones recubiertas fueron mayores significativamente que S/R ( $0,52 \pm 0,04$ ), obteniéndose  $1,12 \pm 0,06$  para el caso de Alg y  $0,88 \pm 0,06$  para Pec, luego de 16 h de DO. Las tendencias mostraron en el caso de Alg, que la firmeza superó la condición de referencia hasta las 2 h de DO, luego muestra un comportamiento variable. Mientras que en Pec, si bien el comportamiento es similar, a 8 h de DO se produjo un aumento significativo respecto de la condición de referencia y al final cae por debajo de la misma.



**Figura 5.5.** Fuerza Normalizada de Penetración (FNP) para las DO (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento en maltodextrina. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.



**Figura 5.6.** Trabajo Normalizado de Penetración (WNP) para las DO (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento en maltodextrina. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.

En cuanto a WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.6b, donde los valores obtenidos al final de la DO para S/R y Pec ( $0,71 \pm 0,01$  y  $0,59 \pm 0,05$ , respectivamente) fueron menores significativamente a la condición de referencia ( $1,00 \pm 0,22$  y  $1,00 \pm 0,42$ , respectivamente). En tanto, en las muestras con Alg se obtuvieron valores más próximos a la condición de referencia ( $1,00 \pm 0,30$ ), incluso significativamente superiores a la misma ( $1,53 \pm 0,15$  al final de la DO).

Dermesonlouoglou y colaboradores (2008) investigaron la firmeza de discos de pepino pretratados osmóticamente, con una solución de maltodextrina en condiciones similares ( $56,5$  °Bx,  $15^{\circ}\text{C}$  y hasta 6 h) y observaron que la firmeza fue mayor que las muestras no tratadas osmóticamente; este aumento en la firmeza lo atribuyeron al efecto de la absorción de azúcar. Otros autores han informado que la firmeza se correlacionó significativamente con la captación de azúcar y se ha afirmado que las células protegidas por los azúcares presentaban menor daño en la lámina media y una disminución menos severa del contenido celular (Torreggiani & Bertolo 2001). Es de destacar que en los experimentos con maltodextrina del presente trabajo se logra una menor ganancia de sólidos comparativamente a sacarosa y jarabe de glucosa. Por otro lado, en las muestras recubiertas, el calcio proveniente de los recubrimientos también contribuyó a aumentar la firmeza debido a la interacción del calcio con los componentes de la pared celular de la matriz vegetal (Gras y col. 2003).

En el caso de DO  $40^{\circ}\text{C} - 40$  °Bx, tanto en los valores de FNP como en WNP se observó que los factores afectaron significativamente (valor-p < 0,05). Para estas condiciones de procesamiento, los niveles de FNP se muestran en la Figura 5.5c, donde se observa que los valores alcanzados en las condiciones recubiertas fueron significativamente superiores a S/R y próximos a la condición de referencia, en las primeras 4 h de DO para Alg y Pec.

Al final de la DO, se observó un valor de  $1,68 \pm 0,57$  para S/R significativamente superior respecto de las condiciones recubiertas,  $0,41 \pm 0,09$  para el caso de Alg y  $0,85 \pm 0,06$  para Pec. Por otra parte, las muestras recubiertas con Alg presentaron diferencias significativas con sus respectivas condiciones de referencia a las 16 h de DO. En el caso de Alg, la firmeza se mantuvo constante hasta las 8 h de DO, luego cae hacia el final. Mientras que, en el caso de Pec, se muestra un mantenimiento de la firmeza durante toda la DO y a valores próximos a su condición de referencia. A partir de estos resultados, se puede

determinar que el recubrimiento Pec permitió mantener la firmeza durante todo el proceso. Por otra parte, el valor máximo obtenido para las muestras S/R puede indicar un colapso de la estructura de los tejidos por efecto de la temperatura e inmersión en la solución con un agente osmótico de alto peso molecular.

En cuanto a los valores de WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.6c. Los valores de WNP obtenidos para las muestras recubiertas fueron superiores a los obtenidos por aquellas S/R hasta las primeras 4 h en el caso de Alg y 8 h de DO para Pec. Por otra parte, durante todo el proceso de DO, las tendencias demuestran que las muestras con Alg mantuvieron su firmeza cercana a los valores de su condición de referencia, mientras que las muestras con Pec los superaron significativamente. Cabe aclarar, que en esta condición de DO, la condición S/R no registró ganancia de sólidos solubles en toda la DO. Por lo tanto, los cambios en la firmeza observados en las muestras S/R bajo estas condiciones pueden asociarse a la pérdida de agua (WL).

Mayor y colaboradores (2007) también observaron un aumento en los valores de firmeza de las calabazas durante el proceso osmótico. Según los autores, las propiedades mecánicas de las frutas osmodeshidratadas dependen del contenido de humedad de las muestras y disminuyen inicialmente durante el proceso de deshidratación.

Para el caso de DO 40°C – 60 °Bx, en los valores de FNP y WNP se observó que la influencia de los factores fue significativa (valor-p < 0,05) para estas variables. En estas condiciones de procesamiento, los niveles de FNP se muestran en la Figura 5.5d, donde se observa que los valores alcanzados en las condiciones recubiertas fueron significativamente mayores que S/R durante la DO.

Además, los valores para las muestras recubiertas se conservaron más próximos a su condición de referencia, obteniéndose  $1,06 \pm 0,09$  en Alg y  $1,08 \pm 0,20$  en Pec al final de la DO. Las tendencias para el caso de Alg, mostraron que la firmeza disminuyó en las 2 h de DO, luego aumentó a 4 h de DO por encima de su condición de referencia y cae hacia el final; hasta igualar la misma. Mientras que, para el caso de Pec, se observa un sostenimiento de la firmeza a lo largo de la DO.

En cuanto a los niveles de WNP, las tendencias se muestran en la Figura 5.6d, donde los valores obtenidos para las muestras con recubrimiento fueron significativamente mayores a



S/R y más próximos a la condición de referencia, obteniéndose un valor de  $0,36 \pm 0,05$  en S/R,  $0,89 \pm 0,04$  en Alg y  $1,99 \pm 0,46$  en Pec al final de la DO .

Estos resultados se pueden asociar a las altas tasas de WL y baja SG producidas en esta condición de DO, como se demostró en el Capítulo 4, lo cual podrían explicar que la pérdida de agua generada causó la baja significativa de FNP obtenida con el tratamiento en las peras S/R. En el caso de Alg y Pec, su comportamiento es similar a la condición anterior (DO con maltodextrina 40 °Bx – 40°C) en cuanto a la conservación de la FNP respecto a sus condiciones de referencias durante la mayor parte del tratamiento.

### **5.2.6. Comparación de la textura en maltodextrina**

De las diferentes condiciones propuestas en maltodextrina, particularmente en las condiciones S/R, se observó que niveles de pérdida de agua (WL) superiores al 20% y/o ganancia de sólidos (SG) superiores a 4% generan una significativa pérdida de firmeza. No obstante, cuando la WL supera el 40% y la SG es inferior al 4% hay una recuperación de la dureza de las muestras, similar comportamiento observado por otros autores (Mayor y col. 2007). La condición de DO a 20°C - 40 °Bx, con la utilización de recubrimientos, generó cambios significativos en la firmeza de las muestras manteniéndose por debajo de su condición de referencia durante todo el proceso. En el caso de S/R, la firmeza se conservó y esto podría atribuirse a los bajos valores de SG y de WL observados bajo estas condiciones. Cuando se aumentó la concentración del agente osmótico (40 °Bx a 60 °Bx), las muestras S/R presentaron menores cambios de firmeza en comparación a las muestras tratadas con sacarosa y jarabe de glucosa. No obstante, con la utilización de los recubrimientos, se obtuvieron valores de FNP mayores que para el caso de S/R e incluso superiores a la condición de referencia. El aumento de la temperatura generó, en DO a 40°C - 40 °Bx, mayor firmeza en las condiciones recubiertas en las primeras dos horas. En la DO a 40°C - 60 °Bx, se demostró que los recubrimientos permitieron buena conservación de la firmeza, probablemente debido a la acción del calcio que contrarresta el efecto de la temperatura. Los resultados indicaron que la utilización de maltodextrina como agente osmodeshidratante provoca valores más bajos de SG y altos niveles de WL comparativamente con sacarosa y jarabe de glucosa. La utilización de los recubrimientos con este sustrato redujo los cambios en la textura para las condiciones de DO a 20°C – 60

$^{\circ}\text{Bx}$ ,  $40^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{Bx}$  y  $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$ . En algunos casos se ha observado que la maltodextrina forma una capa superficial, lo que genera como resultado una mayor firmeza (Khin y col. 2007b).

Al igual que en sacarosa y glucosa, los resultados volvieron a demostrar la importancia de la aplicación de recubrimientos para conservar la textura de muestras osmodeshidratadas.

### **5.3. Cambio de color**

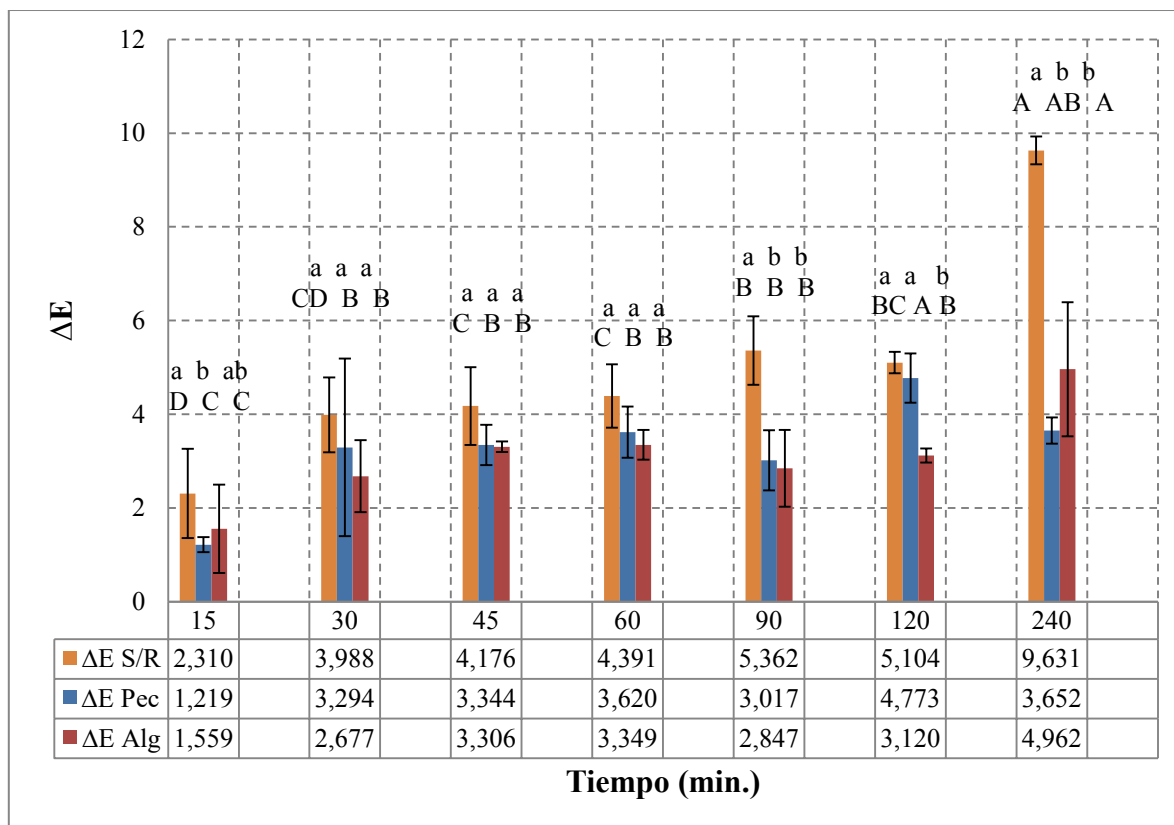
#### **5.3.1. Cambio de color antes de la DO en muestras frescas y recubiertas**

El pardeamiento de frutas crudas es un problema importante en la industria alimentaria y puede causar cambios significativos en la apariencia y propiedades organolépticas de los alimentos, en el valor de mercado y, en algunos casos, la exclusión total del producto alimenticio en los mercados. El control del pardeamiento de la superficie de corte es fundamental para mantener la calidad y la seguridad de los productos recién cortados y/o procesados (Quevedo y col. 2009; Vargas y col. 2009; Galaffu y col. 2015). El pardeamiento es el resultado de la oxidación de compuestos fenólicos a o-quinonas catalizada por la enzima polifenoloxidasa (PPO) que posteriormente se polimerizan para formar pigmentos de color oscuro (Khin y col. 2005; Chong y col. 2013; Moreno y col. 2014).

Para seguir los cambios de color en las peras recién cortadas, en primer lugar, se estudió la cinética de cambios de color de muestras de peras sin recubrimiento y recubiertas expuestas al aire ambiente del laboratorio. Los cambios en el color manifestados a través de la variación de los parámetros de la escala CieLab:  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (grado de componente rojo o verde) y  $b^*$  (grado de componente amarillo o azul), los cuales se analizaron calculando la magnitud de la diferencia de color ( $\Delta E$ ), que engloba los cambios de apariencia que se producen en las muestras recién cortadas. El análisis comparativo se realizó a temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ) y durante un tiempo de 4 h, observando la influencia del tiempo y de los recubrimientos adoptados sobre la pulpa expuesta al aire ambiente del laboratorio.

La evolución de los valores de  $\Delta E$  se muestran en la Figura 5.7, donde se puede observar que los mayores cambios ocurrieron en el caso de muestras S/R, dado que los valores

fueron significativamente superiores a las condiciones recubiertas, desde los 15 min hasta los 240 min de exposición, cuyo valor final fue de  $9,63 \pm 0,29$ . Por otro lado, se observó que los recubrimientos permitieron una conservación del color, los valores finales de las muestras recubiertas fueron  $3,65 \pm 0,28$  para Pec y  $4,96 \pm 1,43$  para Alg, luego de 240 min de exposición.



**Figura 5.7.** Diferencia de color ( $\Delta E$ ) para las diferentes condiciones de recubrimiento expuestas al aire ambiente de laboratorio. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.

Cabe destacar, que si bien las diferencias presentadas entre las condiciones no fueron ampliamente significativas hasta después de los 120 min, permiten inferir que los recubrimientos aportan en buena medida a la conservación del color, luego de los primeros minutos de exposición de la pulpa después del corte. Es importante aclarar que el inicio de los ensayos de DO nunca fueron demorados mas allá de 30 min, después de cortar el fruto y

aplicar los recubrimientos, y este ensayo verifica las buenas prácticas aplicadas antes de la DO para disminuir los cambios provocados por la manipulación.

### **5.3.2. Cambio de color después de la DO en soluciones de sacarosa**

Los cambios en el color manifestados en la deshidratación osmótica (DO) se analizaron calculando la diferencia de color ( $\Delta E$ ) a través de los parámetros de la escala CieLab mencionados anteriormente. El análisis comparativo se realizó a temperatura y concentración constante, observando la influencia del tiempo y de los recubrimientos adoptados para cada DO, utilizando sacarosa como agente deshidratante. El análisis estadístico general arrojó los valores-p para la variable de respuesta en estudio, en donde se demostró la importancia de cada factor (Anexo D).

Desde el análisis estadístico, se observó que la influencia de los recubrimientos y el tiempo fue significativa en el cambio de color (valor-p < 0,05).

En las condiciones de procesamiento de 20°C – 40 °Bx, la evolución de los valores de la diferencia de color ( $\Delta E$ ) se muestra en la Figura 5.8a.

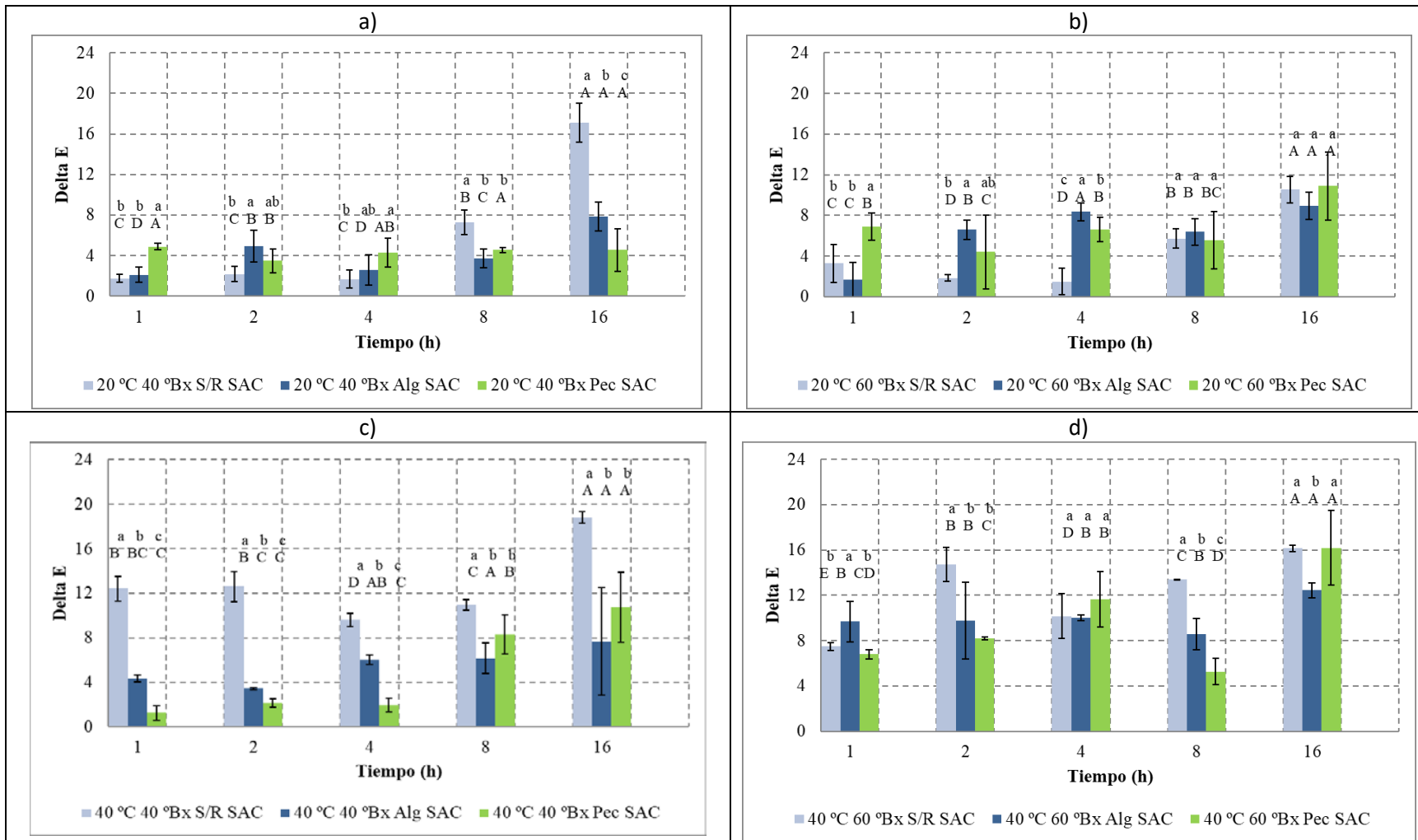
Se puede ver que los valores de  $\Delta E$  para la condición S/R son bajos y se sostienen hasta las 4 h de DO, luego aumenta de manera significativa. En el caso de los recubrimientos, para Alg se presentó un comportamiento similar hasta las 8 h y luego aumentó significativamente hacia el final de la DO (16 h). En el caso de Pec, se mantuvo constante a lo largo de la DO. A partir de las 8 h de DO y hasta el final, se observa un importante efecto protector de los recubrimientos ( $4,54 \pm 2,12$  para Pec y  $7,85 \pm 1,41$  para Alg a 16 h de DO).

En la DO a 20°C – 60 °Bx, los valores de  $\Delta E$  se muestran en la Figura 5.8b, donde se observa que los recubrimientos se comportan significativamente diferente en cuanto a la conservación del color. Las muestras S/R presentaron bajos valores de  $\Delta E$  hasta las primeras 4 h de DO y aumentaron significativamente a partir de las 8 h hasta el final de la DO. Las muestras con el recubrimiento de Pec, mostraron que los valores de  $\Delta E$  fueron significativamente superiores en la primera hora en comparación a S/R y Alg, luego los valores se mantuvieron constante a lo largo de la DO, aumentando a las 16 hs de DO. Por otra parte, se pudo observar que a las 8 h de DO, las diferencias de las muestras S/R con

respecto a las muestras con recubrimientos no fueron significativas. Los valores alcanzados de  $\Delta E$  para las muestras S/R fueron menores que los mismos para la DO 20°C – 40 °Bx, llegando a obtenerse  $10,54 \pm 1,30$ , y para los recubrimientos se obtuvieron  $10,89 \pm 3,35$  para Pec y  $8,94 \pm 1,37$  para Alg a las 16 h de DO. Ningún recubrimiento logró una mejor conservación del color hacia el final de la DO, bajo estas condiciones.

En las condiciones de procesamiento de 40°C – 40 °Bx, la evolución de los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.8c. Se puede observar que en el caso S/R, a partir de 4 h de DO, presentó un menor valor de  $\Delta E$ . Sin embargo, a las 16 h se generó un aumento de estos valores, llegando a alcanzar un valor de  $18,78 \pm 0,52$ , a 16 h de DO. Los recubrimientos permitieron una significativa conservación del color en la DO. Los valores obtenidos en las condiciones recubiertas al final de la DO, fueron significativamente diferentes e inferiores respecto a S/R, alcanzándose  $10,7 \pm 3,13$  para Pec y  $7,67 \pm 4,80$  para Alg.

En la DO a 40°C – 60 °Bx, los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.8d, donde se puede observar que los cambios de color en el caso S/R fueron mayores significativamente con respecto a las muestras recubiertas durante la mayor parte del tratamiento de DO, sin observarse una clara tendencia de su comportamiento. Por otro lado, los recubrimientos permitieron una conservación del color hasta las 8 h de DO, luego los niveles de  $\Delta E$  aumentaron hacia el final de la DO. Los valores entre Alg y Pec fueron diferentes significativamente, obteniéndose  $16,14 \pm 0,28$  para S/R,  $16,20 \pm 3,31$  para Pec y  $12,45 \pm 0,67$  para Alg, a las 16 h de DO. El recubrimiento Alg manifestó mejor conservación del color hacia el final de la DO.



**Figura 5.8.** Diferencia de color ( $\Delta E$ ) para las DO (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento en sacarosa. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.

### 5.3.3. Comparación del $\Delta E$ en sacarosa

De las diferentes condiciones propuestas en sacarosa, la variación del color se presentó en todas las muestras. A partir de los resultados obtenidos se puede observar que, a bajas temperaturas (condiciones más suaves), en la mayoría de los casos, los valores de  $\Delta E$  manifestaron un aumento cuando los tiempos fueron superiores a 4 h de DO. Cuando se aumenta la temperatura, en la condición de 40 °Bx, se observó un incremento importante de los cambios de color para las muestras S/R y un efecto conservador de los recubrimientos. A 60 °Bx, los recubrimientos disminuyen su acción.

En concordancia con los resultados del presente trabajo, Djendoubi Mrad y colaboradores (2013) reportaron en la deshidratación osmótica de cubos de peras sin recubrir, que el parámetro Croma, definido como  $((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$ , reveló intensificación del color a lo largo de la misma. Silva y colaboradores (2014) deshidrataron osmóticamente rodajas de ananá o piña sin recubrir, y observaron que los valores de Croma mostraron un aumento al aumentar la concentración de sacarosa, y que tales variaciones sólo fueron significativas después de cuatro horas de procesamiento. Además, estos autores informaron que un aumento en la concentración de sacarosa resultó en una mayor pérdida de agua, lo que pudo aumentar la concentración de pigmentos en el tejido.

Ferrari y colaboradores (2013) obtuvieron en muestras de cubos de melón recubiertas con pectina (1%) y osmodeshidratadas en solución de sacarosa (40 °Bx y 30°C durante 30 min) e informaron que los valores de Croma fueron más altos en comparación con la muestra control, lo que indica una mayor intensificación del color, como consecuencia de la concentración de pigmentos durante el tratamiento osmótico.

Jalae y colaboradores (2011) deshidrataron anillos de manzana en solución de sacarosa a 50 y 60 °Bx a una temperatura de 30°C durante 3 h, utilizando pectina de bajo metoxilo (LMP, 3%) como recubrimiento, y observaron que las muestras recubiertas con LMP y deshidratadas en solución de sacarosa a 50 °Bx mostraron mayor tasa de cambio en el color en comparación a las muestras deshidratadas en solución de sacarosa a 60 °Bx. Según estos autores, este comportamiento se debe a que el recubrimiento actúa como una barrera en la superficie de la muestra y controla el intercambio de gases entre las muestras y los alrededores. Además, la presencia de  $Ca^{2+}$  y la concentración de la solución osmótica tienen un efecto positivo significativo en el pardeamiento de la muestra, en cuanto a la

disminución de la solubilidad del oxígeno que conduce a limitar la reacción enzimática de pardeamiento.

Jansrimanee y Lertworasirikul (2017), observaron en el tratamiento osmótico de cubos de calabaza, que las muestras recubiertas con alginato de sodio (SA) con diferentes porcentajes de SA afectó el color de las muestras. Los autores informaron que recubrir las muestras de calabaza con un mayor porcentaje de SA resultó en una disminución de los valores de  $L^*$  y  $b^*$ , pero en el valor  $a^*$  se observó un aumento después del proceso de DO.

#### **5.3.4. Cambios de color después de la DO en soluciones de jarabe de glucosa**

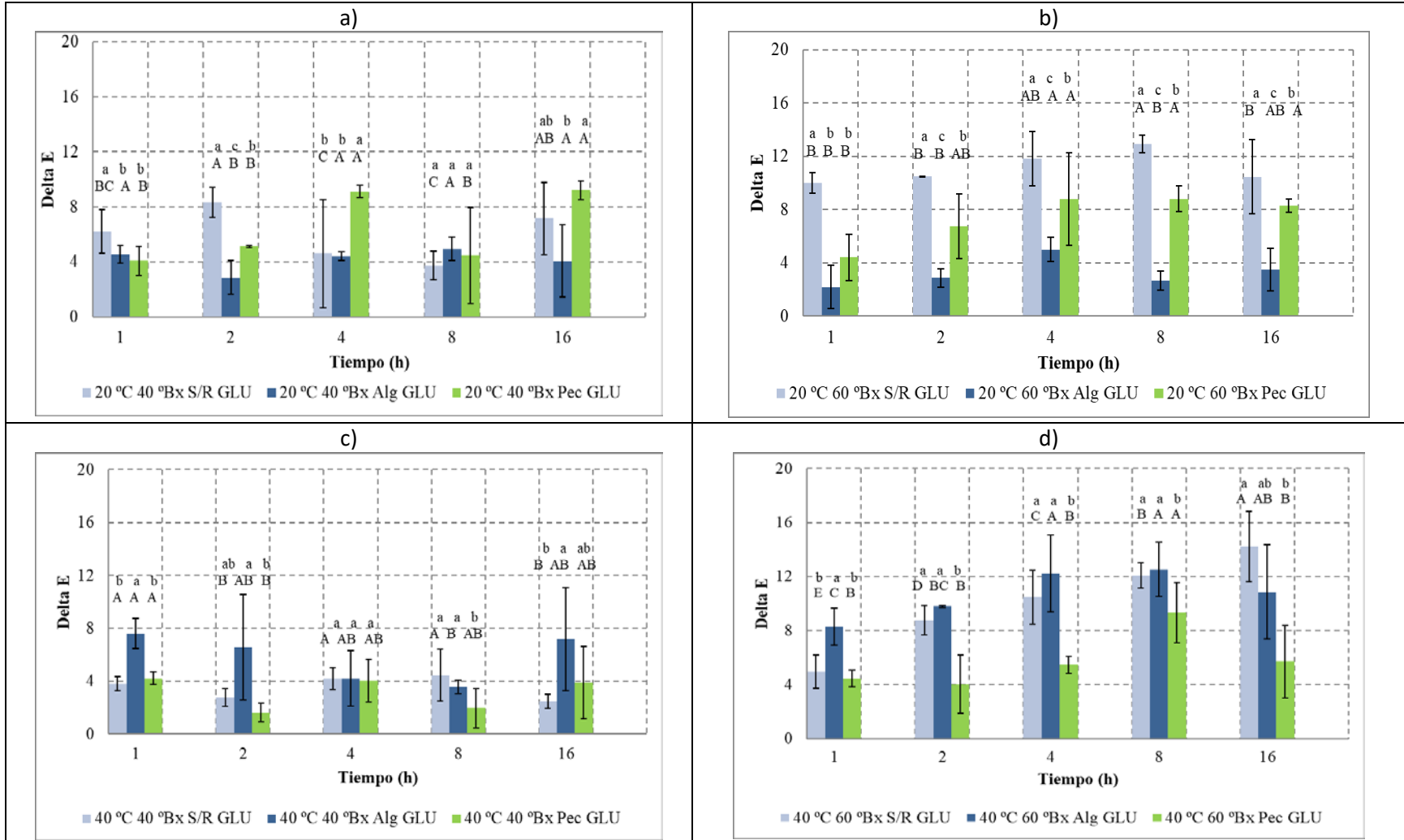
Los cambios en el color utilizando jarabe de glucosa como agente deshidratante se analizaron de la misma forma que en el caso de sacarosa. El análisis estadístico general arrojó los valores-p para las variables de respuesta en estudio a diferentes condiciones, en donde se muestra la importancia de cada factor. A partir de este análisis se observó que el cambio de color ( $\Delta E$ ) para todas las DO fue afectado de manera significativa (valor-p < 0,05) por los factores tiempo y recubrimiento (Anexo D).

En las condiciones de procesamiento de 20°C – 40 °Bx, la evolución de los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.9a. En el caso de S/R, los valores fueron mayores hasta las 2 h de DO con respecto a las muestras recubiertas. Por otro lado, los recubrimientos permitieron una significativa conservación del color hasta las 2 h de DO en el caso de Pec y prácticamente en todo el proceso para el caso de Alg. Los valores de  $\Delta E$  al final del tratamiento fueron  $7,15 \pm 2,64$ ,  $4,07 \pm 2,61$  y  $9,20 \pm 0,67$  para S/R, Alg y Pec, respectivamente.

Las muestras con recubrimiento de Alg manifestaron una conservación del color hacia el final de la DO como lo observado en sacarosa. Esto podría atribuirse a que las muestras tratadas bajo esta condición, presentaron mayor SG con respecto a S/R y Pec (Capítulo 4 sección 4.1.2.3), generando mayor luminosidad en las mismas y menor valor de  $\Delta E$ .

En la DO a 20°C – 60 °Bx, los valores de  $\Delta E$  se muestran en la Figura 5.9b, donde se observó una buena y significativa conservación del color por parte de los recubrimientos, dado que en el transcurso de la DO los valores obtenidos fueron menores a las muestras S/R, siendo  $10,47 \pm 2,77$  para S/R,  $8,31 \pm 0,49$  para Pec y  $3,50 \pm 1,61$  para Alg a las 16 h de DO.





**Figura 5.9.** Diferencia de color ( $\Delta E$ ) para las DO (a) 20°C – 40 °Bx, (b) 20°C – 60 °Bx, (c) 40°C – 40 °Bx y (d) 40°C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento en jarabe de glucosa. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.

Bajo estas condiciones, nuevamente el Alg arrojó los menores valores a lo largo de la DO e incluso sostenidos a partir de las 2 h del proceso.

En las condiciones de procesamiento de 40°C – 40 °Bx, la evolución de los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.9c. Se observó que a lo largo de la DO, en las muestras S/R, los cambios tuvieron una disminución en las 2 h de DO, luego aumentaron y fueron sostenidos significativamente hasta las 8 h, llegando a alcanzar un valor de  $2,48 \pm 0,55$  a 16 h de DO. Entre los recubrimientos, Pec tuvo un mayor efecto conservador del color y Alg presentó los mayores valores de  $\Delta E$  desde el comienzo de DO. Al finalizar se obtuvo  $7,17 \pm 3,90$  para Alg y  $3,89 \pm 2,72$  para Pec.

En la condición de operación a 40°C – 60 °Bx, los valores de  $\Delta E$  se muestran en la Figura 5.9d. Se observó para Alg, que a lo largo de la DO, los cambios aumentan paulatinamente hasta las 4 h y luego permanecen constantes hasta el final. Para el caso de Pec, se sostiene desde el comienzo hasta la 4 h de DO, luego el comportamiento es fluctuante. Para el caso de las muestras S/R, los valores fueron aumentando significativamente hasta el final de la DO. Los valores de  $\Delta E$  finales fueron  $14,22 \pm 2,60$  para S/R,  $5,71 \pm 2,68$  para Pec y  $10,86 \pm 3,49$  para Alg. Al igual que la condición anterior, Pec presentó mayor conservación de color.

### **5.3.5. Comparación del $\Delta E$ en jarabe de glucosa**

A lo largo de la DO a 20°C - 40 °Bx, las muestras recubiertas con Alg presentaron mejor conservación del color. Con el aumento de la concentración del agente osmótico, se observó una buena influencia de los recubrimientos (valores  $\Delta E < S/R$ ) y los menores cambios fueron apreciados en Alg. Con el aumento de la temperatura (40°C - 40 °Bx), se observaron mayores cambios con la aplicación de Alg, los cuales fueron aumentando a lo largo del tiempo de DO. En la DO a 40°C - 60 °Bx se observó una buena conservación del color con la aplicación de los recubrimientos, siendo Pec quien tuvo mejor comportamiento. Esta diferencia entre los recubrimientos se podría atribuir a que en la DO con Alg se observaron mayores valores de tasas de pérdida de agua, con el consecuente aumento en la concentración de pigmentos y, por lo tanto, una mayor variación del color con respecto a Pec.

### 5.3.6. Cambios de color después de la DO en soluciones de maltodextrina

El cambio de color se analizó de la misma manera que en sacarosa y jarabe de glucosa.

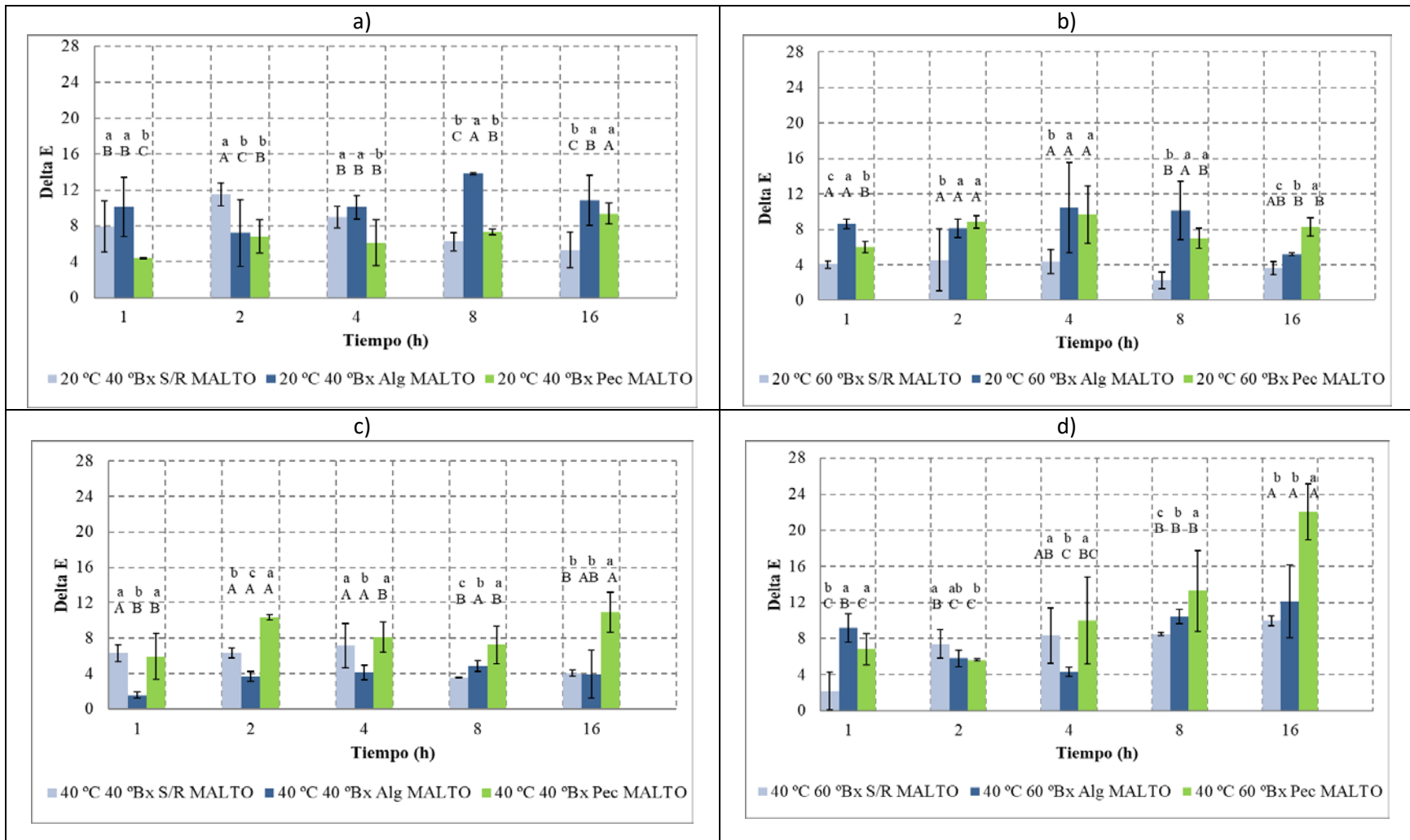
Desde el análisis estadístico, se observó que las influencias de los recubrimientos y del tiempo fueron estadísticamente significativas (valor-p < 0,05) en el cambio de color (Anexo D).

En las condiciones de procesamiento de 20°C – 40 °Bx, la evolución de los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.10a, donde se observa que los cambios de color producidos a tiempos cortos aumentaron hasta las 2 h de DO para los casos S/R y luego fueron disminuyendo paulatinamente.

En el caso de Pec, se observó una variación similar en las primeras dos horas de DO, luego un sostenimiento del valor de  $\Delta E$  hasta las 8 h y hacia el final de la DO un aumento del valor de  $\Delta E$ . En el caso de Alg, los valores son fluctuantes. Los valores finales fueron  $5,31 \pm 2,00$  para S/R,  $10,82 \pm 2,77$  para Alg y  $9,37 \pm 1,15$  para Pec a 16 h de DO, presentando diferencias significativas en las distintas condiciones. El mayor efecto conservador se manifestó en Pec para estas condiciones de tratamiento hasta las 4 h de DO.

En la DO a 20°C – 60 °Bx, los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.10b. Se observó que desde la primera hora de DO se presentaron los mayores valores de  $\Delta E$  para los casos de las muestras recubiertas. Las muestras S/R prácticamente se mantuvieron sin variación de color a lo largo de la DO y los valores fueron significativamente inferiores a las muestras recubiertas. Al final de la DO, los valores obtenidos fueron de  $3,63 \pm 0,74$  para S/R,  $8,27 \pm 1,04$  para Pec y  $5,21 \pm 0,16$  para Alg a las 16 h de DO. Bajo esta condición, los recubrimientos no tuvieron un efecto protector.

En las condiciones de procesamiento de 40°C – 40 °Bx, la evolución de los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.10c. Se observan los mayores cambios en los primeros tiempos de DO (4 h) en las muestras S/R y Pec. Luego hay un descenso de los valores de  $\Delta E$  para las muestras S/R, mientras que Pec sostuvo el aumento durante el resto del proceso. En Alg, se observó un buen efecto en la conservación del color hasta las 4 h de DO. Hacia el final del proceso, Alg presentó un valor final de  $3,94 \pm 2,72$ , Pec alcanzó un valor de  $10,92 \pm 2,27$  y S/R alcanzó un valor de  $4,02 \pm 0,34$ .



**Figura 5.10.** Diferencia de color ( $\Delta E$ ) para las DO (a) 20 °C – 40 °Bx, (b) 20 °C – 60 °Bx, (c) 40 °C – 40 °Bx y (d) 40 °C – 60 °Bx, con diferentes condiciones de recubrimiento en maltodextrina. Las letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las letras minúsculas (a, b, c) entre los recubrimientos utilizados. Las letras mayúsculas (A, B, C, D, E) respecto del tiempo.

En la DO a 40°C – 60 °Bx, los valores de  $\Delta E$  se muestra en la Figura 5.10d. En el caso de S/R,  $\Delta E$  aumentó levemente a las 2 h de DO, luego se mantuvo constante hasta las 8 h para luego aumentar otra vez hacia el final de la DO. En el caso de Alg, los valores de  $\Delta E$  disminuyeron a partir de las 2 h de DO pero luego de 8 h comenzó a incrementarse significativamente. En el caso de Pec, los valores de  $\Delta E$  fueron aumentando significativamente hasta el final de la DO. Los valores finales de  $\Delta E$  fueron  $9,97 \pm 0,56$  para S/R,  $22,03 \pm 3,11$  para Pec y  $12,14 \pm 4,02$  para Alg, a las 16 h de DO. Bajo estas condiciones, resultó evidente que los recubrimientos no resultaron capaces de conservar el color de la fruta.

### **5.3.7. Comparación del $\Delta E$ en maltodextrina**

De las diferentes condiciones ensayadas en soluciones de maltodextrina, en la DO a 20°C - 40 °Bx se generaron los mayores cambios ( $\Delta E$ ) durante las 4 primeras horas de DO en comparación con los sustratos sacarosa y jarabe de glucosa. Esto puede asociarse a la baja deshidratación observada en estas condiciones (Cap. 4 Sección 4.1.2.5) lo cual generaría la posibilidad de mayor pardeamiento enzimático debido a una mayor actividad de agua. En la DO a 20°C - 60 °Bx no se observó una buena influencia de los recubrimientos. Los menores cambios de color fueron apreciados en la condición S/R.

Con el aumento de la temperatura se observó que para las muestras tratadas a 40 °Bx los valores de  $\Delta E$  disminuyeron, mientras que las muestras tratadas a 60 °Bx presentaron un comportamiento inverso. Esto puede asociarse nuevamente a un mayor efecto de la concentración de pigmentos coloreados en esta última condición debido a los mayores valores de WL, lo cual generaría mayor apreciación en el cambio de color. Para todas las condiciones, se observó que la aplicación de los recubrimientos tuvo poco o ningún efecto sobre la conservación del color.

Wais (2011) en su tesis doctoral sobre deshidratación osmótica de cubos de manzanas sin recubrimiento en solución de jarabe de maíz de alto peso molecular (69 °Bx – 30°C durante 24 h) observó que los cambios de color en esta solución fueron menores que los obtenidos con solución de sacarosa a la misma concentración, y este comportamiento fue atribuido a la pérdida de la luminosidad que estaría afectada por la eliminación de agua, la ganancia de sólidos y la naturaleza de los solutos.

Las reacciones de cambio de color en frutas están fundamentalmente relacionadas con el pardeamiento enzimático, aunque pueden presentarse reacciones de Maillard y caramelización. El proceso de pardeamiento se desencadena cuando, tras la operación de corte se produce una pérdida de la integridad celular en las superficies de las frutas. Esto provoca una destrucción de la compartimentación de enzimas y substratos, con lo que se catalizan las reacciones y se produce la formación de metabolitos secundarios no deseados. Para que el fenómeno de pardeamiento enzimático tenga lugar, se requiere de la presencia de cuatro diferentes compuestos: el oxígeno molecular, substratos apropiados, la enzima polifenoloxidasas (PPO) y la presencia de cobre en el centro activo de la enzima. Estos factores determinan la velocidad de pardeamiento, que puede tener lugar muy rápidamente. Esta velocidad dependerá de factores tales como la concentración y actividad de la enzima, la cantidad y naturaleza de los compuestos fenólicos, pH, temperatura, actividad del agua y de la cantidad de oxígeno disponible en el entorno del tejido vegetal, además de otros factores intrínsecos que influyen en la intensidad del pardeamiento: la especie, la variedad y el estado fisiológico de los frutos (Pérez Cabrera 2003; Garcia Loredó y col. 2013).

El pardeamiento enzimático está mayoritariamente asociado con la acción de la enzima polifenol oxidasa (PPO), sin embargo, existen otras enzimas responsables en menor grado. La misma se puede hallar de dos formas distintas, unida a la membrana, como a la membrana tilacoidal de los cloroplastos, o bien en forma soluble.

El empleo de recubrimientos sobre la superficie de las frutas podría operar como contenedor de las enzimas que actúan en el pardeamiento enzimático o puede producirse una fijación de las mismas, lo cual puede generar un mayor pardeamiento.

La captación de azúcares es superficial durante la DO y el hidrogel puede tener un efecto de fijación de los azúcares que ingresaron, además de fijar la PPO y los pigmentos generados por el pardeamiento enzimático.

Según los resultados del presente trabajo, las muestras recubiertas (Alg y Pec) en algunos casos presentaron mayor cambio de color que en el caso de muestras sin recubrimiento, porque en este último caso, la PPO, además de estar disponible para la reacción, puede lixiviarse hacia la solución de la misma manera que los pigmentos generados por la reacción de pardeamiento. Otra causa de esta diferencia puede asociarse a la presencia de

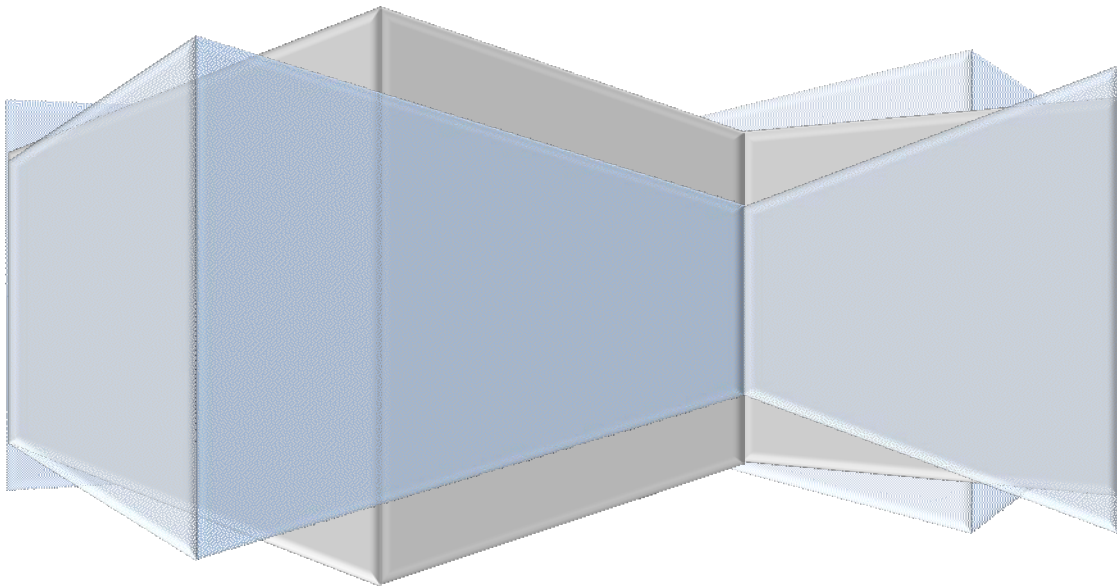
mayor cantidad de agua en la superficie de las muestras recubiertas que generarían mayor actividad de agua para el accionar de la enzima.

Si bien se ha observado que los cambios de color producidos en las DO fueron, en algunos casos, favorables con la aplicación de recubrimiento (sacarosa 20°C – 40 °Bx, 40°C – 40 °Bx y 40°C – 60 °Bx; jarabe de glucosa 20°C – 40 °Bx, 20°C – 60 °Bx y 40°C – 60 °Bx) se recomiendan más estudios para desarrollar modelos que tengan en cuenta todos los factores que contribuyen a las reacciones de pardeamiento en sistemas con recubrimiento y, que además, con la aplicación de compuestos antipardeantes; podrían arrojar mejores resultados respecto a la conservación del color (Forni y col. 1997; Garcia Loredo y col. 2013).

# Capítulo 6

ANÁLISIS DE LA  
MICROESTRUCTURA,  
COMPUESTOS FUNCIONALES,  
EVALUACIÓN SENSORIAL Y  
PRUEBAS EN OTRA MATRIZ

**Edgar Mario Soteras**



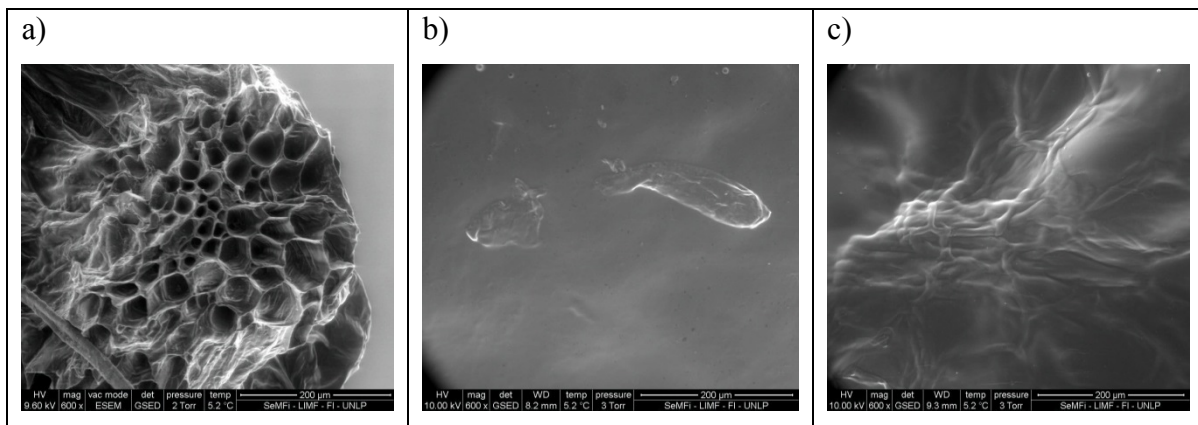


## **6.1. Microestructura**

Las características microestructurales, tales como la adhesividad y los cambios de espesor, de los recubrimientos seleccionados en los tejidos de pera se analizaron con un Microscopio Electrónico subtipo ESEM, antes y después del procesamiento (DO). En estas últimas, se seleccionaron las condiciones de operación de mayor impacto en el sistema hidrogel-fruto, para observar los mayores cambios texturales.

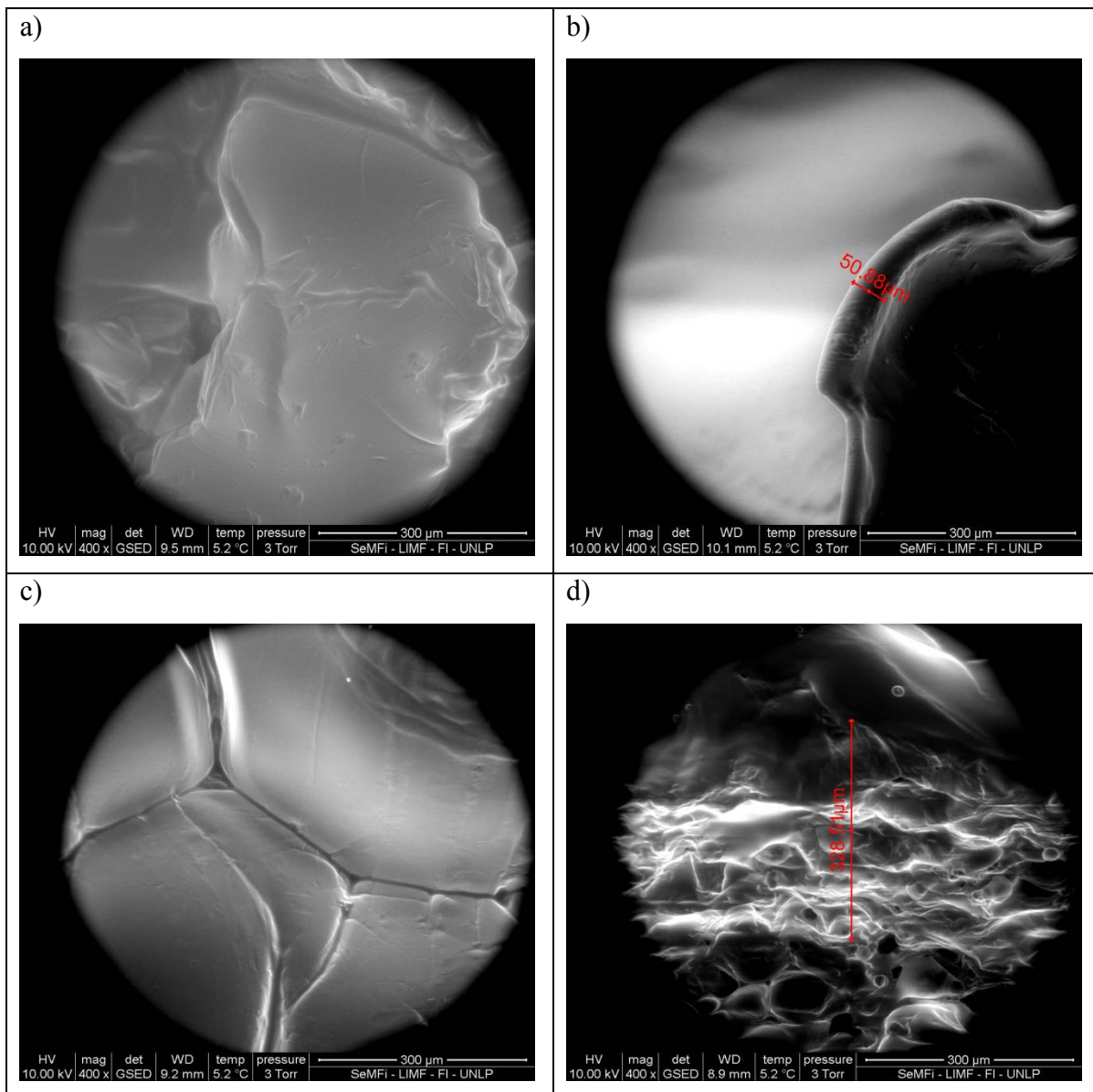
Las secciones superficiales de las muestras frescas sin recubrir y recubiertas se muestran en la Figura 6.1. La Figura 6.1a, muestra la microestructura de las peras sin recubrimiento en donde puede observarse parte de la estructura vegetal y la forma que la caracteriza (redes reticulares de células hexa o pentagonales). Las Figura 6.1b y 6.1c, muestran la superficie de los cubos de pera recubierta con Alg y Pec, respectivamente, antes del proceso de DO. En las mismas, se puede ver la integridad de los recubrimientos sin grietas ni poros, aunque la superficie recubierta con Alg se mostró más homogénea y lisa comparada con Pec. En general, esto puede atribuirse a que las redes de hidrogeles de Pec son menos organizadas que las de Alg (Galus & Lenart 2013).

A través del empleo de ESEM se pudo estimar el tamaño de los recubrimientos. El espesor de los mismos antes de la DO resultó ser para el caso de Alg 460,43 micrones y para Pec 573,03 micrones. Esta diferencia de tamaño, también fue observada en el Capítulo 3, donde los hidrogeles de alginato generaron discos más compactos que los de pectina, (Sección 3.2). En literatura, se ha constatado que las películas con mayor contenido de alginato tienen menor espesor que aquellas confeccionadas con pectina y es debido al mayor ordenamiento de las moléculas de alginato (Altenhofen da Silva y col. 2009; Galus y Lenart 2013).



**Figura 6.1.** Micrografías de la superficie de la pera sin recubrir (a) y recubiertas con Alg (b) y con Pec (c) antes de las DO.

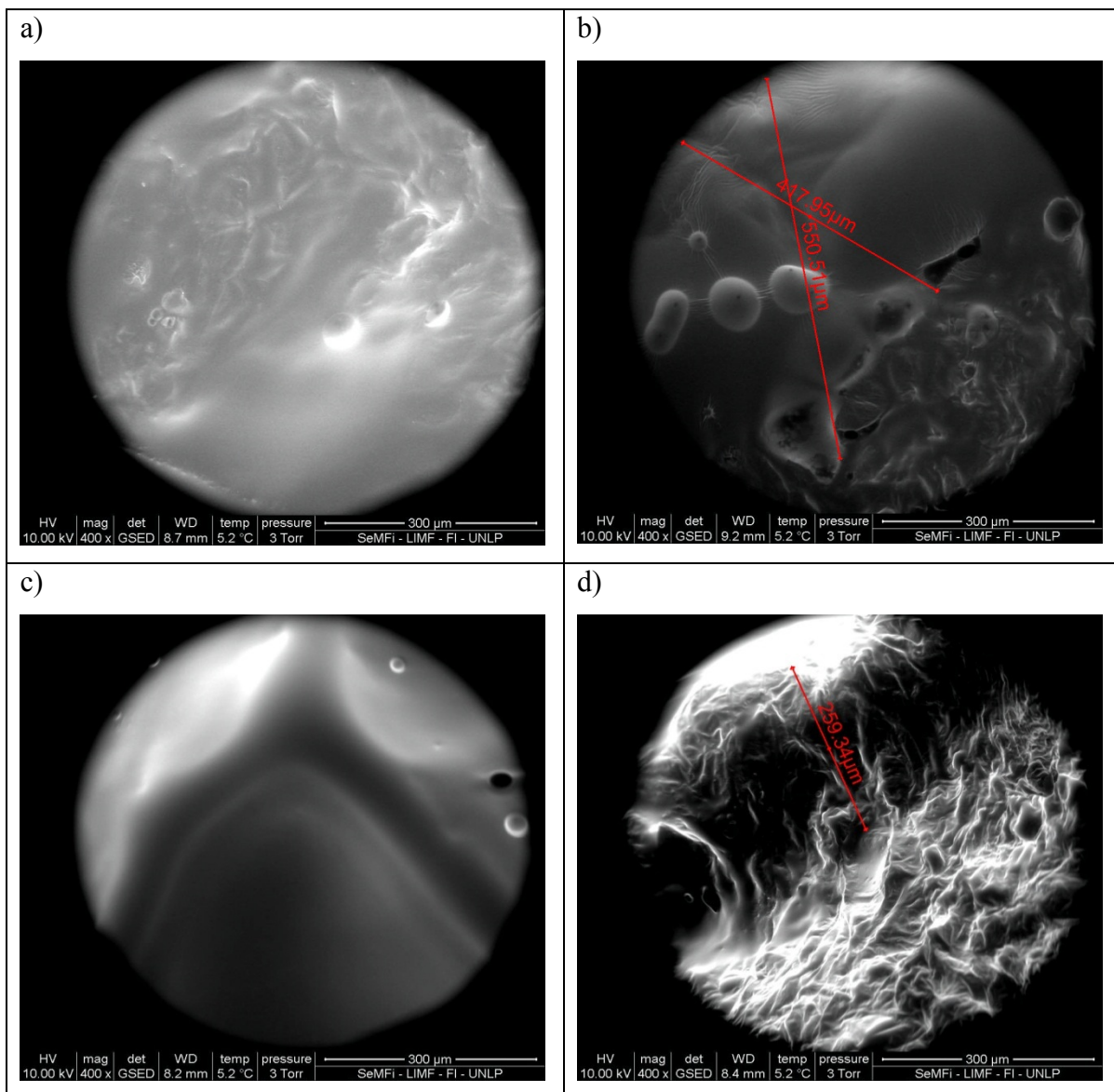
La Figura 6.2, muestra las superficies y las secciones transversales de las peras recubiertas después de la DO con sacarosa (40°C - 60 °Bx a 16 h). En la Figura 6.2a, se puede constatar la presencia del recubrimiento de Alg sobre los cubos deshidratados y observar cómo se modificó su integridad debido a la presencia de grietas. En la Figura 6.2b, se muestra como el espesor del recubrimiento disminuyó a 50,88 micrones aproximadamente luego de la DO. En la Figura 6.2c, se puede constatar la presencia del recubrimiento de Pec sobre los cubos deshidratados y observar cómo se modificó su integridad, donde se constató la presencia de grietas de mayor tamaño y mayor colapso estructural. En la Figura 6.2d se muestra la estimación del espesor del recubrimiento de Pec luego de la DO, que se aproximó a 328,5 micrones. En el Capítulo 3 se pudo cuantificar la deshidratación de los hidrogeles cuando fueron sometidos a DO con sacarosa y se observó que los geles de Alg sufrían mayor deshidratación que los de pectina en estas condiciones operativas, lo cual finalmente se traduce en un menor tamaño (Tabla 3.3). A pesar de esta reducción del espesor, ambos recubrimientos se mantuvieron adheridos a la superficie del cubo de pera, como fue observado en otro trabajo de investigación (Rodríguez y col. 2016).



**Figura 6.2.** Micrografías obtenidas a partir de peras recubiertas y DO en sacarosa. Fotos a) y b) Alg, c) y d) Pec.

La Figura 6.3, muestra cortes transversales y la superficie de las peras recubiertas después de la DO con jarabe de glucosa (40°C - 60 °Bx a 16 h). En la Figura 6.3a, se puede constatar la presencia del recubrimiento de Alg sobre los cubos deshidratados y observar que las modificaciones bajo estas condiciones fueron menores que en el caso de sacarosa, probablemente debido a la menor incorporación de sólidos solubles constatada en el Capítulo 4. En la Figura 6.3b, se muestra la estimación del espesor del recubrimiento de Alg luego de la DO que se aproximó a 417,95 micrones, aquí se observó una menor

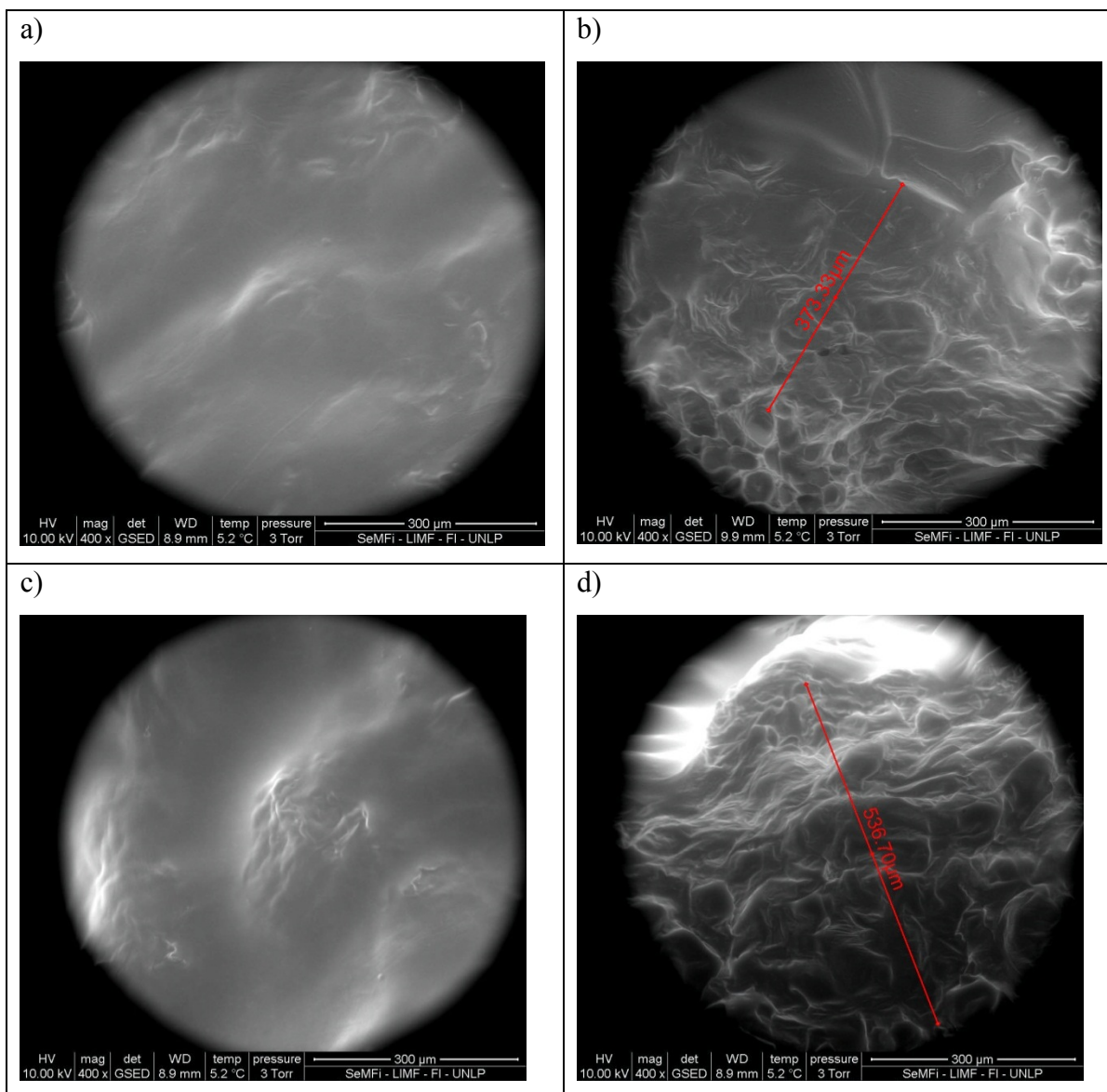
disminución del tamaño en comparación a sacarosa. En la Figura 6.3c, se puede constatar la presencia del revestimiento de Pec sobre los cubos deshidratados y observar cómo se modificó su integridad presentando grietas en la superficie del recubrimiento deshidratado. En la Figura 6.3d se muestra la estimación del espesor de recubrimiento de Pec luego de la DO, que se aproximó a 259,34 micrones. En este caso, Pec presentó una mayor reducción en comparación con sacarosa.



**Figura 6.3.** Micrografías obtenidas a partir de peras recubiertas y DO en jarabe de glucosa. Fotos a) y b) Alg, c) y d) Pec.

La Figura 6.4, muestra las superficies y las secciones transversales de las peras recubiertas con Alg y Pec después de la DO con Maltodextrina (40°C - 60 °Bx a 16 h). En la Figura 6.4a, se puede verificar la presencia del recubrimiento de Alg sobre los cubos deshidratados y observar una menor modificación de su integridad inicial en comparación a los otros agentes osmóticos utilizados. En la Figura 6.4b, se muestra la estimación del espesor del recubrimiento de Alg luego de la DO, que se aproximó a 373,33 micrones. En la Figura 6.4c, se muestra la presencia del recubrimiento de Pec sobre los cubos deshidratados y al igual que en Alg, se observa una menor modificación de su integridad inicial. A partir de la micrografía que se muestra en la Figura 6.4d se estimó el espesor del recubrimiento de Pec luego de la DO, que se aproximó a 536,70 micrones. Las menores modificaciones con la utilización de maltodextrina podrían estar relacionadas con la baja deshidratación y ganancia de sólidos solubles producida en la DO (Cap. 4 sección 4.1.2.5). Además, como han observado otros autores (Hawkes & Flink 1978; Lazarides y col. 1995; Khin y col. 2007b), la maltodextrina es un polisacárido de alto peso molecular, el cual forma una película en el exterior del producto durante la deshidratación y podría tener un efecto protector de la microestructura del recubrimiento.

Khin y colaboradores (2007a) analizaron la microestructura de cubos de manzanas no recubiertas y recubiertas con alginato de sodio y pectina de bajo metoxilo. Los investigadores observaron que el tamaño molecular de los agentes osmóticos fue uno de los factores que influyó de manera importante para prevenir el colapso celular. Las muestras revestidas tratadas con solución de sacarosa (65% p/v) mostraron una mejor estructura de la célula sin colapso celular en comparación con aquellos tratados con solución de dextrosa. Según los autores, esto podría deberse a que un agente osmótico de mayor tamaño molecular tiene menos probabilidad de ingresar a través de los recubrimientos, lo que lleva a un mejor mantenimiento de la estructura de la pared celular.



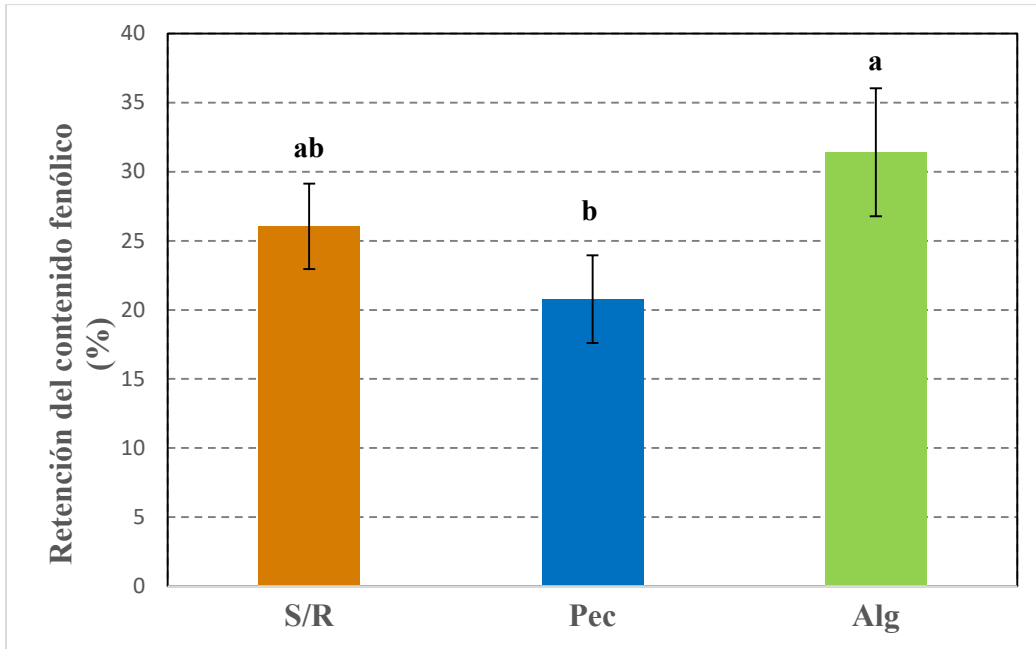
**Figura 6.4.** Micrografías obtenidas a partir de peras recubiertas y DO en Maltodextrina. Fotos a) y b) Alg, c) y d) Pec.

## 6.2. Compuestos funcionales

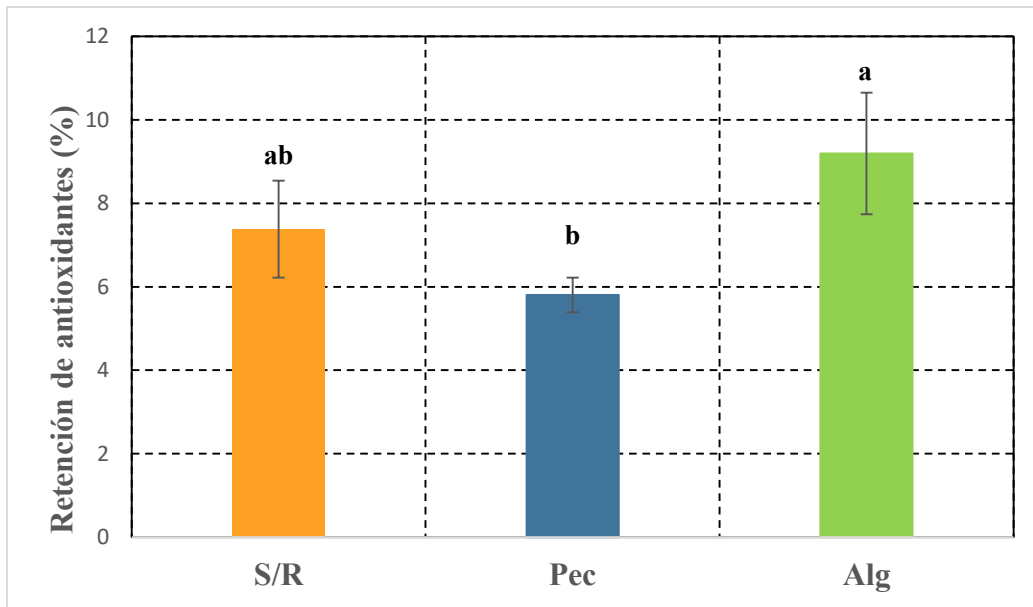
Los cambios de los compuestos funcionales en los cubos de peras generados por los tratamientos aplicados se analizaron a través de la determinación de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante. Las muestras escogidas para este análisis fueron las tratadas en DO a 40°C – 60 °Bx con solución de sacarosa, dado que esta condición fue una de las más severas.

El contenido de polifenoles se muestra en la Figura 6.5, donde puede observarse la cantidad asociada a la muestra fresca ( $51,58 \pm 7,76$  mg. Eq. Ac. Gálico/100 g de MS) para cada tratamiento. Valores similares han sido reportados en pulpa de pera por Robards y col. 1999, Oms-Oliu y col. 2008, Salta y col. 2010 y Kolniak-Ostek 2016, y se asocian a la presencia de compuestos como arbutina, ácido gálico, (+) - catequina, ácido gentísico, ácido clorogénico, ácido cafeico, procianidina, ácido sirínico, (-) - epicatequina, o-toluenetiol, ácido cumárico y ácido ferúlico que se encuentran comúnmente en esta fruta. Se observó que las muestras tratadas presentaron una reducción significativa de alrededor del 70 – 80% del contenido de polifenoles, lo cual se puede asociar a la lixiviación de sustancias propias del alimento junto con la eliminación del agua durante la DO (Knoche y col. 2015; Ciurzynska y col. 2016; Ahmed y col. 2016). Las muestras S/R presentaron un 26,04% de retención de estos compuestos, con respecto a la muestra fresca. Las muestras con Alg presentaron la mayor conservación de polifenoles (31,40% de retención) respecto a Pec (20,77% de retención) pero no fueron significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) a las muestras S/R.

En la Figura 6.6, se muestran los resultados de la retención de la capacidad antioxidante de las diferentes muestras. La capacidad antioxidante en la muestra fresca fue de  $79,83 \pm 8,08$   $\mu$ L de  $EC_{50}$  / 100 g de MS. En las muestras tratadas, los porcentajes de retención de la capacidad antioxidante fueron 7,38% para S/R; 9,19% para Alg y 5,80 para Pec. El recubrimiento de Alg permitió una mayor conservación ( $p < 0,05$ ) de la capacidad antioxidante con respecto a Pec. En el presente trabajo, el contenido de polifenoles encontrado en las muestras de pera fue correlacionado a la capacidad antioxidante medida por DPPH y se pudo observar un buen ajuste lineal ( $R^2 = 0,99$ ) entre la disminución del contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante (Figura 6.7), lo que indicaría que la capacidad antioxidante depende de los polifenoles presentes.

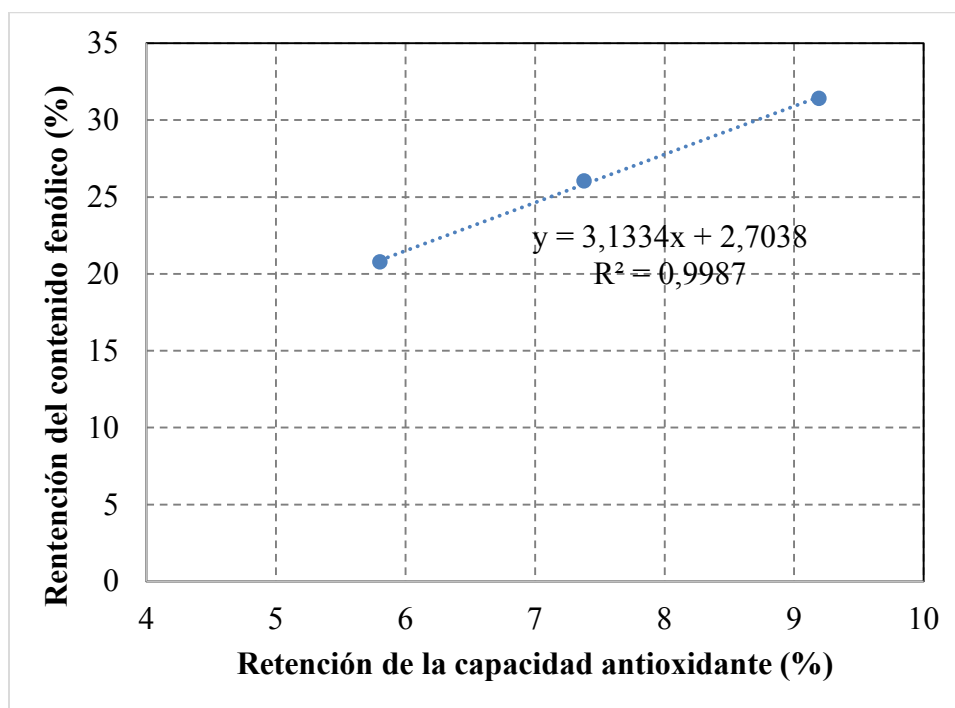


**Figura 6.5.** Contenido fenólico de diferentes muestras de peras con DO en Sacarosa (S/R, Pec, Alg). Letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 6.6.** Porcentaje de retención de antioxidantes luego de la DO para muestras S/R, y recubiertas con Pec y Alg. Letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).





**Figura 6.7.** Correlación entre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante. Recta de regresión (y) y coeficiente de correlación ( $R^2$ ).

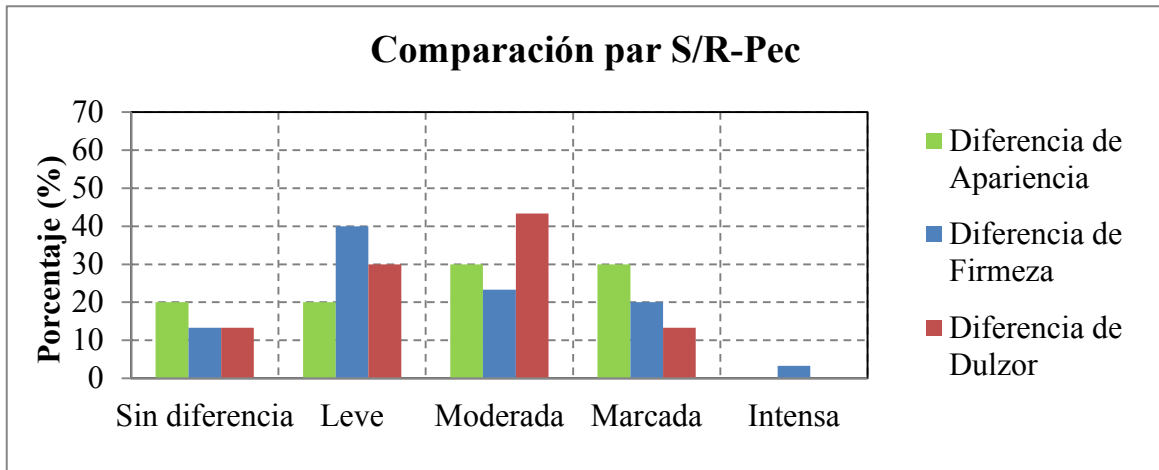
### 6.3. Análisis sensorial

Los resultados obtenidos para el análisis sensorial de comparación de pares realizado a las muestras finales S/R y con recubrimiento de Pec y Alg se muestran en la Figura 6.8. Las muestras escogidas para este análisis fueron tratadas igual que las muestras utilizadas en el ensayo de compuestos funcionales (Sección 6.2).

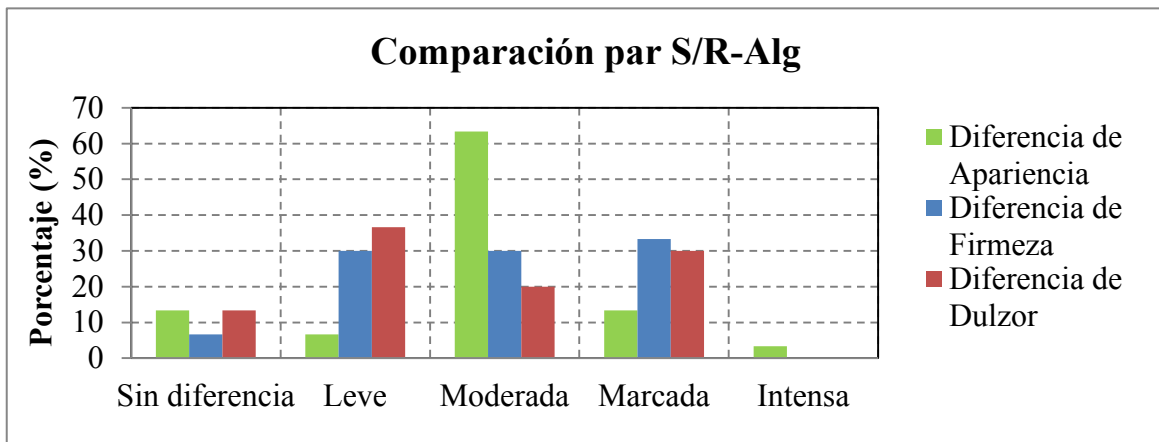
La Figura 6.8 muestra los resultados arrojados por los panelistas. El 50% consideraron que la diferencia en apariencia fue leve y moderada para el par S/R-Pec (Figura 6.8a), mientras que para el par S/R-Alg (Figura 6.8b) fue el 70% de los panelistas.

En cuanto a la diferencia en la firmeza, se observó que los panelistas optaron en un 63,33% y un 60% por una diferencia leve y moderada para el par S/R-Pec y S/R-Alg, respectivamente. Para el caso de la diferencia de dulzor, los panelistas notaron en un 73,33% y un 56,67%, una diferencia leve y moderada para el par S/R-Pec y S/R-Alg, respectivamente. Es de destacar que no se presentaron casos de diferencias intensas en el dulzor como si sucedió en la firmeza y apariencia.

(a)



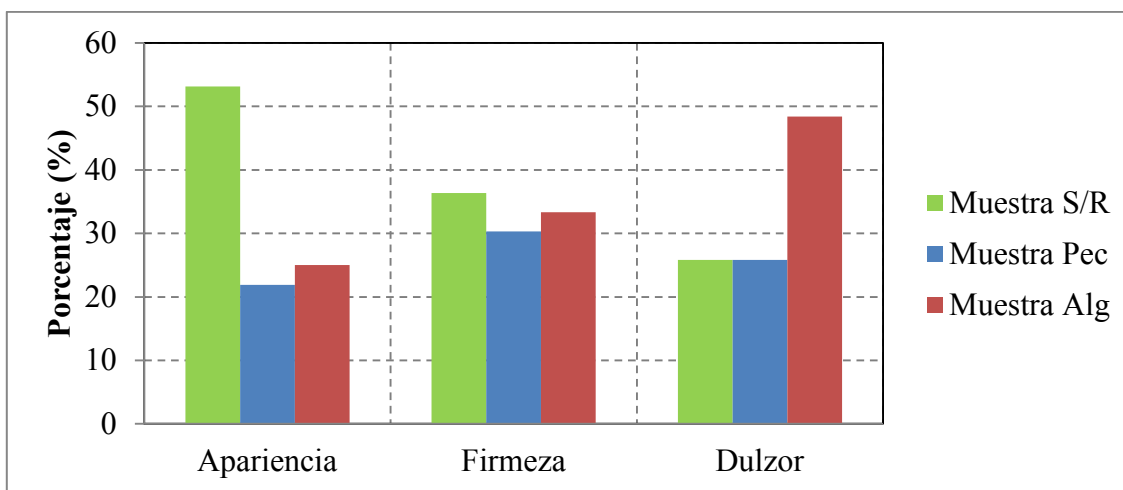
(b)



**Figura 6.8.** Comparación de a pares entre las muestras S/R, Pec y Alg para los diferentes atributos definidos.

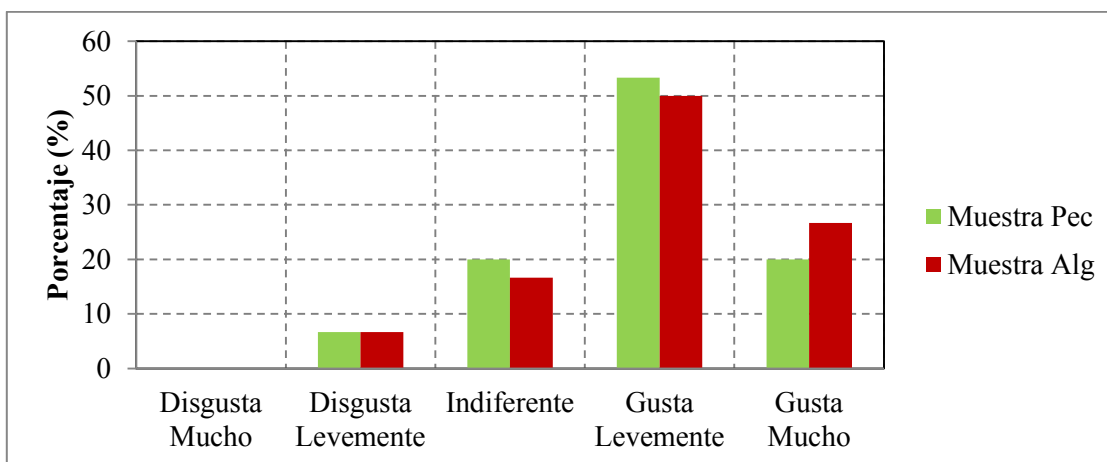
En cuanto al análisis de la preferencia por atributos, los resultados se muestran en la Figura 6.9. Se observó que para el atributo apariencia, el mayor porcentaje de preferencia se presentó en S/R con un 53,13%. Para el atributo dulzor, el mayor porcentaje de preferencia fue para Alg con un 48,39%. En cuanto a la firmeza, no presentó grandes diferencias entre las muestras, siendo el mayor valor 36,36% para S/R, en tanto que para Pec y Alg se obtuvieron 30,30% y 33,33%, respectivamente. Los resultados obtenidos por Perez-Cabrera y col. (2011) a partir de una evaluación sensorial en peras impregnadas con sacarosa isotónica (14 °Brix) con y sin calcio, revelaron que los panelistas no detectaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la firmeza de las diferentes muestras. La presencia de lactato de

calcio en las muestras impregnadas, no modificó significativamente ( $p < 0,05$ ) el aroma o sabor de la fruta. En el presente trabajo, utilizamos lactato de calcio con esta misma premisa, concordando con el resultado obtenido en la firmeza.



**Figura 6.9.** Preferencia de los panelistas a través de los atributos entre las muestras S/R, Pec y Alg.

Cuando se analizó la aceptabilidad general para las muestras recubiertas, se encontró un porcentaje global del 73,33% y 76,67%, en Gusta Levemente y Gusta Mucho para las muestras de Pec y Alg, respectivamente (Figura 6.10), lo que demuestra una buena aceptación de los panelistas para las muestras recubiertas tratadas con DO.



**Figura 6.10.** Aceptabilidad general de las muestras Pec y Alg.

Ferrari y col. (2013) reportaron que la combinación de DO y recubrimiento con pectina en melón promovió un brillo atractivo en la superficie del producto, lo que probablemente contribuyó a que las muestras recubiertas tuvieran el puntaje más alto. Además, no encontraron diferencias en la textura, y las puntuaciones de sabor y de apariencia general fueron significativamente más altas ( $p < 0,05$ ) para las muestras recubiertas.

Taghizadeh y colaboradores (2016) demostraron que la DO de láminas de manzanas recubiertas con CMC (0,25 – 1,5%) tuvo un efecto positivo en algunos parámetros sensoriales, como la astringencia, el sabor a manzana y la aceptación general.

#### **6.4. Estudios en otra matriz: Frutilla**

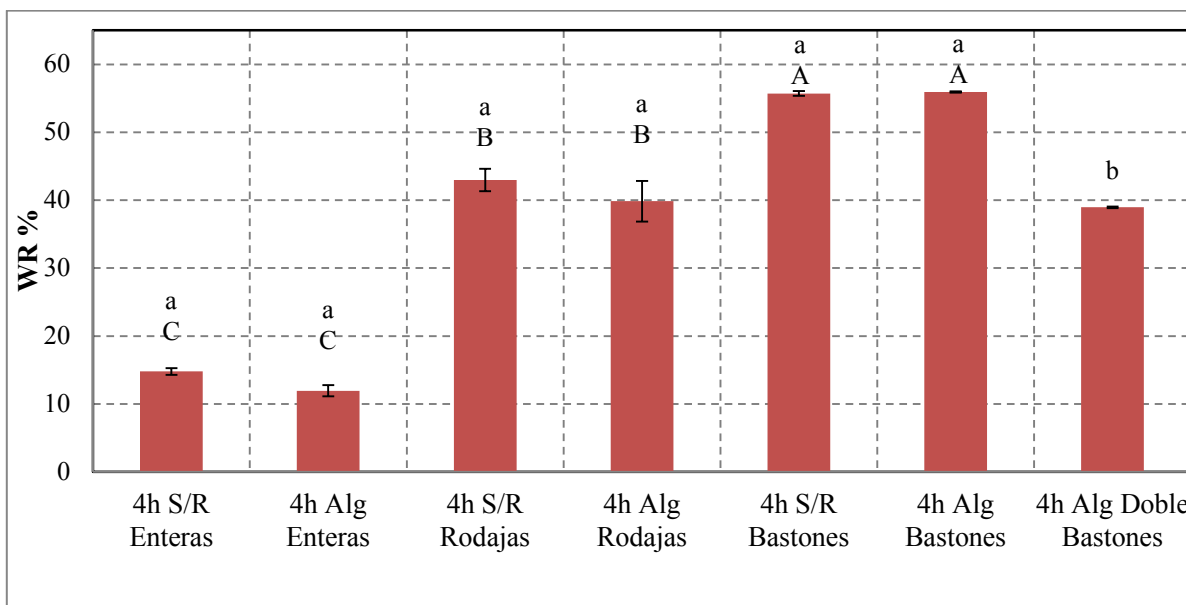
##### **6.4.1. Deshidratación osmótica de frutillas: efecto de forma**

A partir de los resultados obtenidos en pera, se decidió realizar los ensayos en otra matriz: frutillas. La selección de la misma se realizó en función de diferentes patrones como: valor en mercado, diferencia estructural con las peras, valor nutricional, forma de consumo, entre otros.

En primer lugar, se analizó la influencia de la forma del producto en los parámetros de DO (WR, SS, WL y SG). Se realizaron experiencias de DO en frutillas enteras, en rodajas y en bastones recubiertas con Alg, este último fue seleccionado debido a los menores cambios observados en la microestructura comparado con Pec. Las muestras se trataron en solución de sacarosa con concentración de 60 °Bx y temperatura de 40°C durante 4 horas. La selección de la condición de DO se realizó básicamente teniendo en cuenta los resultados previos obtenidos en peras con respecto a la captación de sólidos y la eliminación del agua. Durante los experimentos, se cuantificó la pérdida de peso (WR), sólidos solubles (SS), pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG), que permitieron observar el efecto de la forma.

La influencia de la forma sobre los valores de WR se observa en la Figura 6.11. Los datos de WR muestran que el menor valor encontrado fue  $11,95 \pm 0,82\%$  para el caso de frutillas enteras recubiertas con Alg. Los mayores valores se encontraron para bastones de frutillas con y sin recubrimiento,  $55,94 \pm 0,09\%$  y  $55,72 \pm 0,37\%$ , respectivamente. No se presentaron diferencias significativas entre las muestras sin recubrir y recubiertas para cada

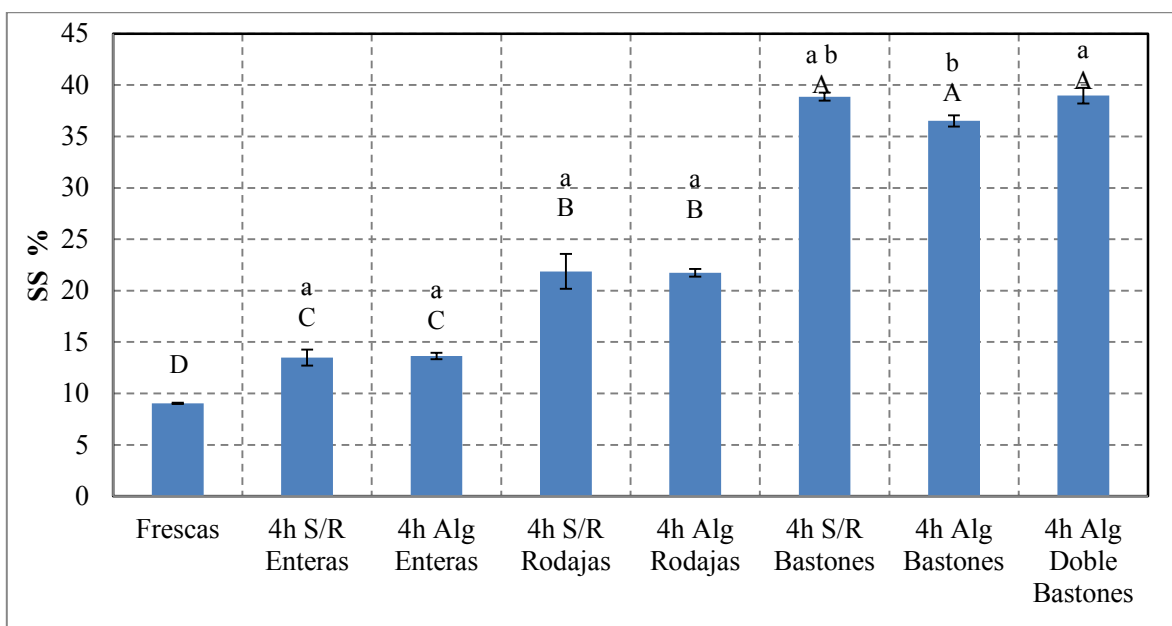
una de las formas respectivas. Por lo tanto, a partir de estos resultados, se estudió el recubrimiento Alg (Alginato 2% y Lactato de Calcio 5%) en dos configuraciones: recubrimiento simple (RS) y recubrimiento Doble (RD). Este último se aplicó con el objetivo de obtener una mayor intensidad de deshidratación y con la intención de probar otra variante de aplicación del recubrimiento (Matuska y col. 2006). A su vez, los mayores valores de WR generados en bastones permitieron seleccionar esta forma para la implementación posterior del RD.



**Figura 6.11.** Pérdida de peso (WR) para las diferentes formas y condiciones de recubrimiento en la DO de frutillas a 40°C – 60 °Bx en 4 h. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre las configuraciones de recubrimiento utilizado, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la misma forma de muestra. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C) representan diferencias significativas entre las diferentes formas adoptadas, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de recubrimiento utilizada, el doble recubrimiento no posee sus pares comparables.

Para los bastones de frutillas, el recubrimiento doble provocó una menor pérdida de peso con respecto al simple y a la muestra no recubierta (Figura 6.11).

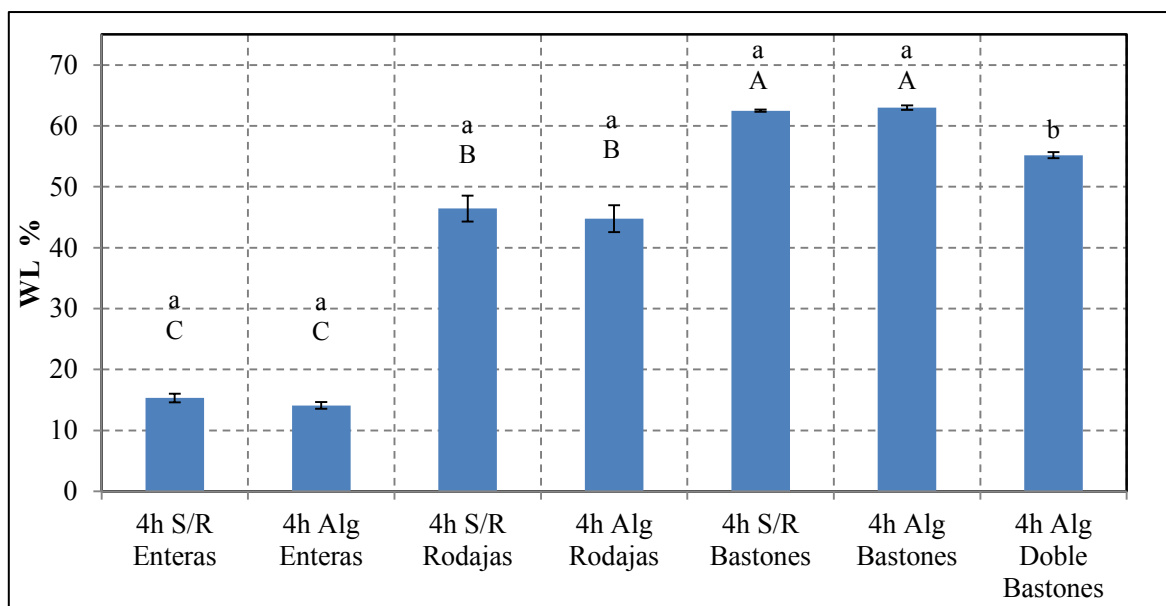
Los valores de SS medidos experimentalmente se muestran en la Figura 6.12. Los mayores valores se obtuvieron para todos los casos de bastones de frutillas, donde las muestras sin recubrimiento y con RS presentaron,  $38,87 \pm 0,38\%$  y  $36,52 \pm 0,54\%$ , respectivamente, y para el caso de RD fue de  $38,97 \pm 0,75\%$ . Todos los valores obtenidos presentaron diferencias significativas respecto de las muestras frescas.



**Figura 6.12.** Sólidos solubles (SS) para las diferentes formas y condiciones de recubrimiento en la DO de frutillas a  $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{Bx}$  en 4 h. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre las configuraciones de recubrimiento utilizado, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la misma forma de muestra. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C, D) representan diferencias significativas entre las diferentes formas adoptadas, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de recubrimiento utilizada, el doble recubrimiento se compara con la fresca solamente.

En el análisis de la pérdida de agua (WL), los mayores valores se obtuvieron en bastones de frutilla y se observó que al aplicar el RD, el valor de WL se vió disminuido (Figura 6.13). Los valores encontrados fueron  $62,48 \pm 0,18\%$  para los bastones de frutillas S/R y  $62,99 \pm 0,36\%$  para los bastones de frutilla con RS de Alg. A medida que la forma de la muestra fue

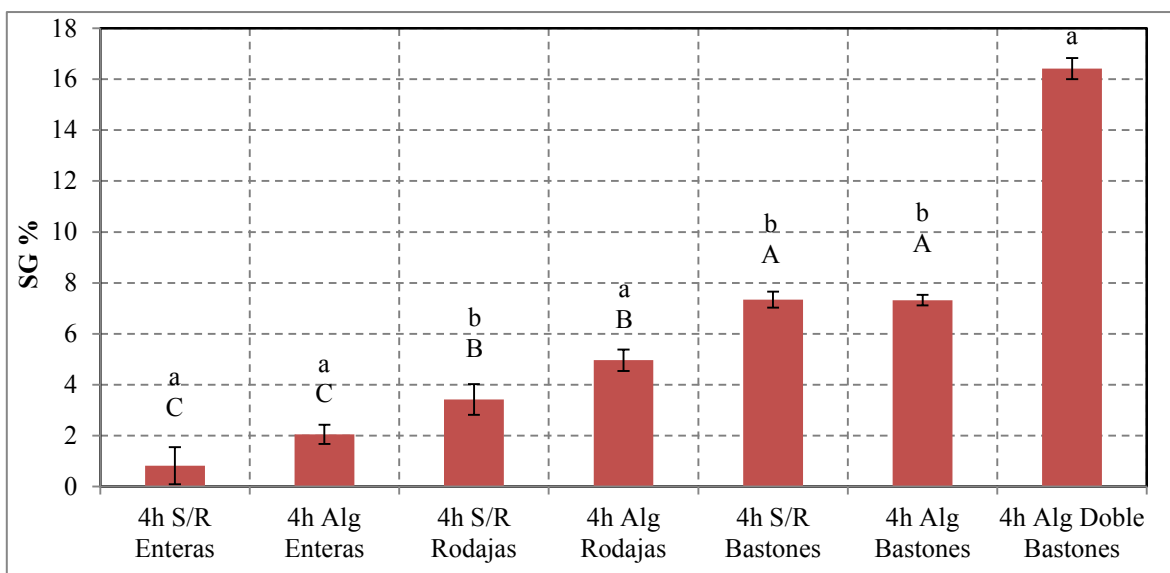
de menor tamaño, se observaron mayores niveles de WL y que el recubrimiento no tuvo incidencia. Para frutillas en rodajas, S/R obtuvo un valor de WL de  $46,42 \pm 2,12\%$ , valor similar al obtenido por Allali y col. (2010) cuando deshidrataron frutillas en mitades (WL 50%), para un tiempo de 4 h en solución de sacarosa a 70 °Bx y 37°C.



**Figura 6.13.** Pérdida de agua (WL) para las diferentes formas y condiciones de recubrimiento en la DO de frutillas a 40°C – 60 °Bx en 4 h. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre las configuraciones de recubrimiento utilizado, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la misma forma de muestra. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C) representan diferencias significativas entre las diferentes formas adoptadas, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de recubrimiento utilizada, el doble recubrimiento no posee sus pares comparables.

La ganancia de sólidos (SG) aumentó a medida que la forma de la muestra paso de enteras a rodajas y, por último, a bastones y, las muestras recubiertas no presentaron diferencias significativas con respecto a las muestras sin recubrir, independientemente de la forma utilizada (Figura 6.14). El menor valor encontrado fue  $0,83 \pm 0,73\%$  para el caso de frutillas enteras S/R. Los menores valores de SG y WL encontrados en estas muestras se podrían asociar a la presencia de todo el epicarpio de la frutilla, la cual ofrece una

resistencia al transporte de materia. En literatura es conocido que el cortado o pelado de la fruta optimiza el contacto entre la fruta y la solución osmótica y de esta forma se mejora la transferencia de masa durante la ósmosis (Ramya & Jain 2017). Otras investigaciones han reportado valores aproximados de SG en similares condiciones de DO (Blanda y col. 2009).



**Figura 6.14.** Ganancia de Sólidos (SG) para las diferentes formas y condiciones de recubrimiento en la DO de frutillas a 40°C – 60 °Bx en 4 h. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre las configuraciones de recubrimiento utilizado, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la misma forma de muestra. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C) representan diferencias significativas entre las diferentes formas adoptadas, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de recubrimiento utilizada, el doble recubrimiento no posee sus pares comparables.

El recubrimiento generó mayor SG en el caso de frutillas enteras en comparación a la muestra S/R, pero sin diferencias significativas ( $2,05 \pm 0,38\%$ ), esta tendencia se podría asociar a la presencia misma del recubrimiento que genera la captación adicional de los sólidos solubles. Cuando se utilizaron rodajas de frutillas, la SG se incrementó con respecto a frutillas enteras. Para el caso de frutillas con recubrimiento de Alg se obtuvo  $4,97 \pm 0,42\%$ , con diferencias significativas respecto a las muestras S/R ( $3,42 \pm 0,60\%$ ). Este último valor es coincidente con lo reportado en bibliografía, donde frutillas en rodajas de 1



cm de espesor se sometieron a deshidratación osmótica utilizando sacarosa al 60% (p/p) y 30°C con diferentes tiempos de ósmosis: 1, 2, 4 y 6 h (Rizzolo y col. 2007). En el caso de las frutillas bastones, la SG se incrementó con respecto a frutillas enteras y en rodajas. El valor obtenido para el caso de frutillas en bastones con recubrimiento de Alg fue de  $7,32 \pm 0,21\%$ , sin observarse diferencias respecto a S/R. Con respecto al doble recubrimiento, se observó un valor aún mayor, el cual puede deberse al desprendimiento del recubrimiento de la frutilla lo que generó una mayor incorporación de solución osmótica.

De los resultados obtenidos se pudo observar que la exposición de la pulpa de frutilla genera un mayor valor de WL y un aumento en la SG (frutilla bastón). Los mayores valores de ED se presentaron en rodajas (9,06 Alg - 13,72 S/R), en comparación a los bastones y las muestras enteras. No obstante, aunque se logró obtener un valor de ED de alrededor de 31,13 para muestras enteras S/R, este presentó amplias desviaciones y no fue representativo de una buena eficiencia de deshidratación debido al bajo valor de WL obtenido. La aplicación del recubrimiento no tuvo efectos positivos en cuanto al aumento de WL y a la reducción de la SG. El doble recubrimiento no generó el mayor efecto barrera esperado, ya que se observaron desprendimientos del mismo en el fruto y la generación de cavidades entre el recubrimiento y el fruto, que luego se inundó con solución osmótica y alteró el efecto del recubrimiento. Por lo tanto, a partir de estos resultados se decidió continuar los ensayos cinéticos con frutilla en forma de rodajas, ya que se produjeron los mayores valores de WL/SG, lo que indicaría una mejor conservación y efecto barrera del recubrimiento en la fruta.

#### **6.4.2. Cinéticas de deshidratación osmótica de frutillas con sacarosa**

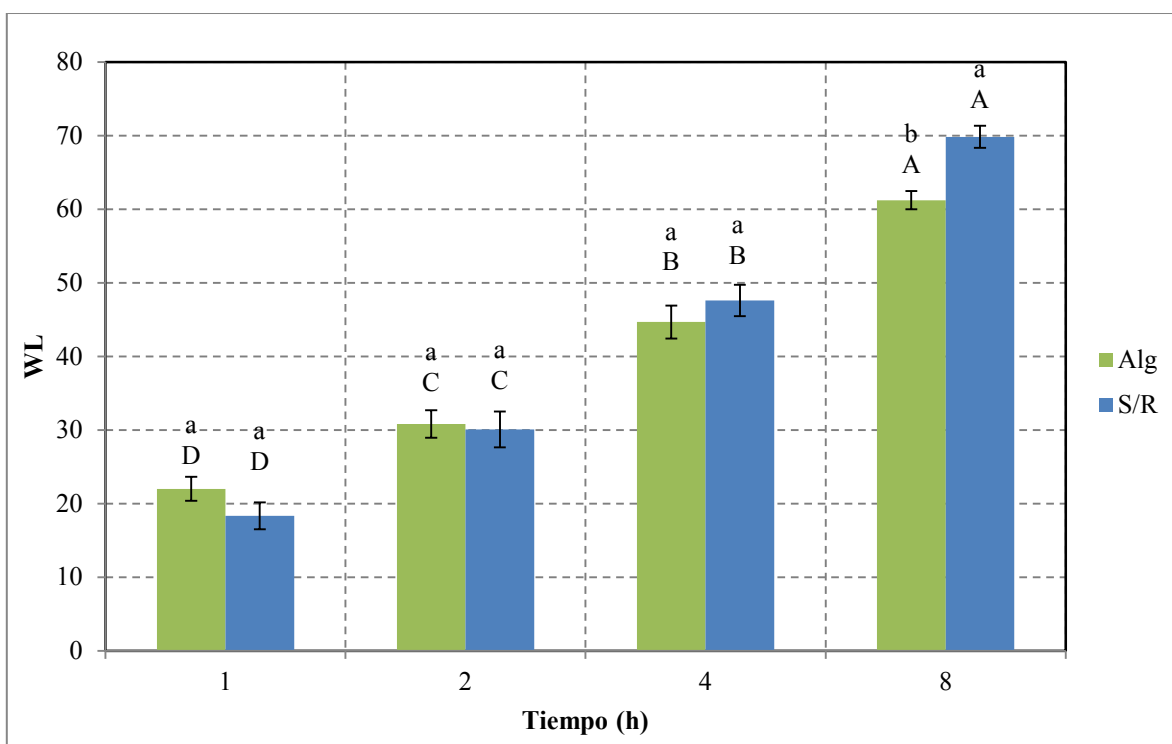
Las cinéticas de deshidratación osmótica (DO) obtenidas experimentalmente para frutillas en rodajas de 1 cm de espesor, con el empleo de sacarosa como agente deshidratante, se estudiaron a 40°C de temperatura y 60 °Bx de concentración, por tiempos de 1, 2, 4 y 8 h, tiempos reportados en bibliografía (Rizzolo y col. 2007; Allali y col. 2010). El recubrimiento Alg (Alginato 2% y Lactato de Calcio 5%) fue aplicado bajo la configuración simple (RS), debido a que generó mejores resultados en comparación a la configuración doble estudiada en la sección anterior. La influencia del tiempo y del recubrimiento fue analizada para observar la importancia de estos factores sobre la pérdida

de peso (WR), pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (SG), sólidos solubles (SS) y eficiencia de la deshidratación (ED).

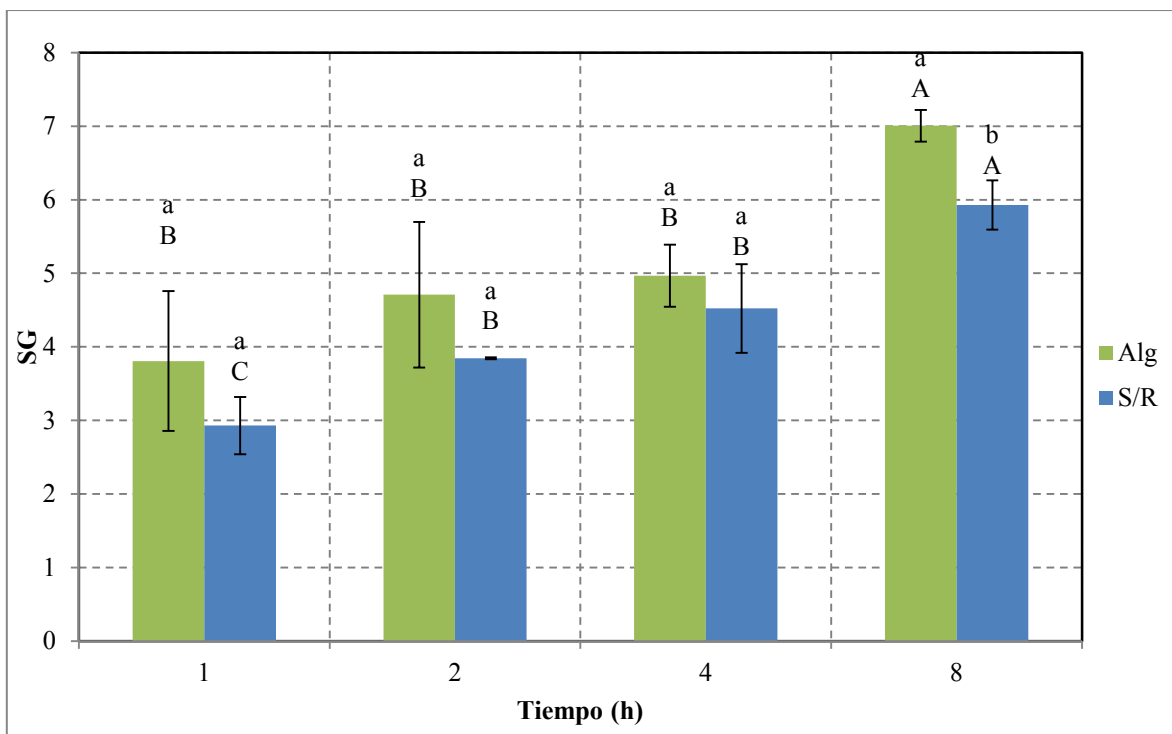
En estas condiciones de procesamiento, el mayor valor de WR fue de  $63,60 \pm 1,42\%$  y se registró en el caso de S/R a 8 h de DO. Las cinéticas de WL se muestran en la Figura 6.15, donde se observa que los valores para las muestras con recubrimiento fueron levemente superiores a las muestras S/R en la 1 h de DO, pero al final de la DO el valor para las muestras S/R resultó mayor significativamente a Alg. Todas las muestras presentaron tendencias similares. El mayor valor de WL alcanzado fue de  $69,83 \pm 1,51\%$  para el caso de S/R a 8 h de DO, y fue significativamente diferente a Alg ( $61,24 \pm 1,23\%$ ). En cuanto a los niveles SG, las tendencias se muestran en la Figura 6.16, sin observarse una gran diferencia entre las muestras con recubrimiento y las muestras S/R. Los valores obtenidos en las muestras recubiertas no marcan un efecto barrera del recubrimiento sobre la SG, ya que no presentaron diferencias significativas respecto a S/R. Los niveles alcanzados fueron  $7,01 \pm 0,22\%$  en Alg y  $5,93 \pm 0,33\%$  en S/R a 8 h de DO. El aumento de la concentración de SS se registró en todos los casos, presentando las muestras S/R un valor de  $38,13 \pm 2,40\%$ , mayor al observado en las muestras recubiertas ( $33,10 \pm 0,85\%$  en Alg) luego de 8 h de DO. El parámetro ED fue significativamente menor cuando se utilizó el recubrimiento, lo que estaría indicando poca eficiencia del mismo, alcanzando el valor de  $8,75 \pm 0,44$  para el caso de Alg y  $11,79 \pm 0,41$  en el caso de S/R, luego de 8 h de DO.

Resultados obtenidos por Matuska y colaboradores (2006), demostraron bajo condiciones similares, que la eficiencia de la deshidratación (ED) en muestras de frutillas enteras congeladas no recubiertas fue menor que en muestras recubiertas con Alginato de Sodio (concentración 0,5%). En ese trabajo, los autores emplearon sacarosa al 61,5 °Bx, 30°C y 3 h de proceso y la diferencia fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ), aunque es de destacar que dichos autores obtuvieron valores de 3,91 para ED y en el presente trabajo se llegó a superar este valor en la primera hora de tratamiento ( $5,92 \pm 1,05$  en el caso de Alg). Esto podría atribuirse al estado inicial de las frutillas (congelado). Sin embargo, los autores obtuvieron un efecto barrera, lo cual podría asociarse a que se partió de una muestra congelada y entera, donde hay más epicarpio de la fruta y por lo tanto obstaculiza el ingreso de sólidos (Matuska y col. 2006). Allali y col. (2010) utilizaron frutillas en mitades cortadas a lo largo del eje de la fruta y se trataron con solución de sacarosa al 70 °Bx, 37°C

y durante 4 h. Estos autores encontraron valores de ED próximos a 7 y nuevamente, comparando con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se constató que la presencia de mayor cantidad de epicarpio genera niveles bajos de SG y altos valores de ED. A partir de los resultados obtenidos y las observaciones encontradas en la literatura, se sostiene que la aplicación de recubrimientos en frutilla quizás se vea limitada por la presencia de epicarpio y que mejores resultados podrían obtenerse con la aplicación de otras tecnologías como la congelación previa a la deshidratación. No obstante, se requieren de más estudios para evaluar dicho comportamiento e incluso probar otros tipos de recubrimientos.



**Figura 6.15.** Pérdida de agua (WL) para las DO de sacarosa de rodajas de frutillas a 40°C – 60 °Bx con y sin recubrimiento. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre las muestras con y sin recubrimiento, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B, C, D) representan diferencias significativas respecto del tiempo, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de recubrimiento utilizada.

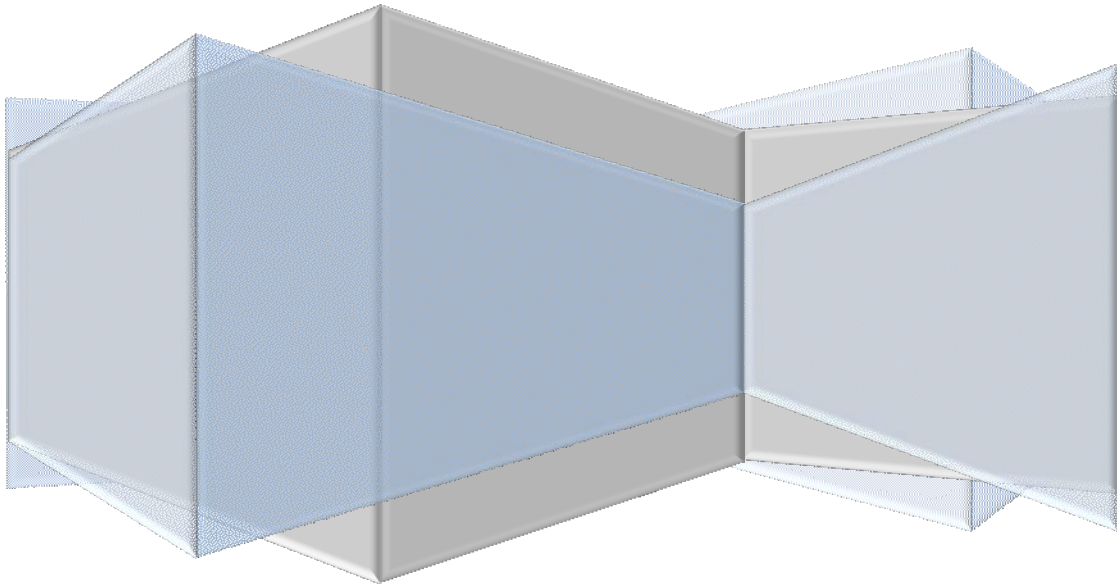


**Figura 6.16.** Ganancia de Sólidos (SG) para las DO de sacarosa de rodajas de frutillas a 40°C – 60 °Bx con y sin recubrimiento. Las letras minúsculas diferentes sobre las columnas (a, b) representan diferencias significativas entre las muestras con y sin recubrimiento, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para el mismo tiempo. Las letras mayúsculas diferentes sobre las columnas (A, B) representan diferencias significativas respecto del tiempo, basado en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para la condición de recubrimiento utilizada.

# Capítulo 7

## CONCLUSIONES GENERALES

**Edgar Mario Soteras**



### 7.1. Conclusiones

A partir de los resultados encontrados en la presente Tesis, se pueden obtener las conclusiones siguientes:

- A partir de la caracterización mecánica de los hidrogeles comestibles (HC) la mayor resistencia mecánica (firmeza) se presentó para los HC cuya configuración es la siguiente: Pectina de bajo metoxilo (PBM) al 3% - Lactato de Calcio 5% y Alginato de Sodio (AS) al 2% - Lactato de calcio 5%. Dichas configuraciones permitieron la estabilidad y resistencia de los mismos durante la deshidratación osmótica (DO).
- Los resultados obtenidos de las cinéticas de pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) de los hidrogeles comestibles (HC), actuando como sistema único, demostraron que poseen comportamientos similares con respecto a la pérdida de agua, para todos los agentes osmóticos utilizados. Entre ellos, el HC compuesto por Pectina de bajo metoxilo (PBM) al 3%-Lactato de Calcio 5% presentó mayor tasa de pérdida de agua. Además, para las condiciones ensayadas, se observó que ambos hidrogeles generaron un rápido estancamiento de la SG, prometiendo un comportamiento barrera. El aumento de la concentración del agente osmótico, no solo mejoró el nivel de deshidratación de los HC, sino también la eficiencia del proceso. En cuanto a los niveles SG, maltodextrina presentó los valores más bajos seguidos de jarabe de glucosa y sacarosa. Los resultados obtenidos aquí, sugieren que la maltodextrina es un agente osmótico útil para incrementar la eficiencia de la DO cuando se utilizan hidrogeles de alginato de sodio y pectina como recubrimientos comestibles, reduciendo el ingreso de sólidos sin afectar la pérdida de humedad.
- En la aplicación de los recubrimientos sobre cubos de pera, utilizando como agente osmótico la sacarosa, se observó que de todas las condiciones de procesamiento estudiadas, el efecto barrera de los recubrimientos fue significativo con el aumento de la concentración del agente osmodeshidratante (60 °Bx), independientemente de la temperatura. Se recomienda la utilización del recubrimiento Pec para lograr una menor ganancia en soluciones de sacarosa, lo que se ve favorecido por el aumento de la concentración y la temperatura en este sustrato.
- En la deshidratación osmótica con jarabe de glucosa aplicada a los cubos de pera recubiertos, se observó un comportamiento similar al caso de sacarosa. Al utilizar la

mayor concentración de agente osmótico se pudo observar un grado apreciable de deshidratación del sistema y un comportamiento eficaz de los recubrimientos como barrera. Para este sustrato se recomendaría la utilización del recubrimiento Pec para lograr una menor ganancia, lo que se ve favorecido por la aplicación de altas concentraciones y temperaturas.

➤ Para el caso de maltodextrina, los recubrimientos no fueron tan eficaces con la SG como se observó en sacarosa y jarabe de glucosa. El aumento de la temperatura generó un incremento importante en la WL, en este sentido se recomienda la utilización de Alg que presentó mayores valores de esta variable. No se recomendaría la utilización de estos recubrimientos para la búsqueda de un efecto barrera sobre la SG en maltodextrina. No obstante, para este sustrato se recomendaría la implementación de bajas concentraciones de agente osmótico y altas temperaturas debido a que se generan bajas o prácticamente nulas SG y un alto grado de deshidratación.

➤ En el análisis de la textura, para todos los agentes osmóticos estudiados, se observó que las pérdidas de agua (WL) superiores al 20% generan una significativa pérdida de firmeza, particularmente en las muestras sin recubrir. Por otro lado, la conservación de la firmeza más próxima a la condición fresca en las muestras recubiertas, se atribuyó al menor ingreso de sólidos solubles por el accionar de los HC. Además, la presencia de iones calcio generó mayor resistencia como consecuencia de la unión de estos iones con la pectina de la pared celular, lo que permitió mayor refuerzo de la estructura celular. A partir de todos estos resultados, se concluye que la aplicación de recubrimientos comestibles permitiría preservar los tejidos vegetales, debido a la presencia de iones calcio que contrarrestan el efecto de ablandamiento generado por la DO.

➤ La evolución de los valores de  $\Delta E$  para las muestras de peras sin y con recubrimiento expuestas al ambiente, demostraron que la implementación de los recubrimientos permitió la conservación del color en los primeros minutos de exposición de la pulpa.

➤ La variación de color se presentó en todas las condiciones propuestas en sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina. En la aplicación de los recubrimientos se observaron mayores cambios en los niveles de  $\Delta E$ . Por otro lado, para bajas temperaturas, los valores de  $\Delta E$  aumentaron cuando los tiempos de DO fueron superiores a 4 h. Con el aumento de

la temperatura, en la menor concentración implementada (40 °Bx, sacarosa) se observó un incremento importante de los cambios de color en muestras S/R y un efecto conservador de los recubrimientos. Por otra parte, cuando se utilizó jarabe de glucosa se observó una buena influencia de los recubrimientos y los menores cambios de color fueron apreciados en Alg. Con el aumento de la temperatura se apreció un comportamiento similar, sin embargo, en éste caso Pec tuvo un mejor comportamiento. Por último, en maltodextrina no se observó influencia de los recubrimientos con respecto a la conservación del color. En general se observó que los recubrimientos no permitieron una amplia conservación del color. De los resultados obtenidos, se recomiendan más estudios para desarrollar modelos que tengan en cuenta todos los factores que contribuyen a las reacciones de pardeamiento en sistemas con recubrimiento teniendo en cuenta la aplicación de compuestos antipardeantes.

➤ Desde el análisis microestructural, se pudo constatar la presencia del recubrimiento de alginato y pectina sobre los cubos deshidratados con soluciones de sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina. Además, se observó la presencia de grietas de mayor tamaño y mayor colapso estructural para el caso Pec en sacarosa. Para las DO con jarabe de glucosa, se observó que Alg presentó menores modificaciones que en el caso de sacarosa. En Pec se pudo constatar la presencia de grietas en la superficie del recubrimiento deshidratado. Para el caso de DO con maltodextrina, se pudo constatar una baja modificación de su integridad debido a la menor deshidratación observada. En cuanto al espesor del recubrimiento, a pesar de su reducción, el recubrimiento se mantuvo unido al cubo de pera en todos los casos de DO. Del análisis se decidió seguir con el recubrimiento Alg para posteriores ensayos en otra matriz, debido a las menores alteraciones sufridas por este recubrimiento en la DO.

➤ Los cambios a nivel nutricional generados por los tratamientos aplicados, presentaron una reducción significativa del contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante, comportamiento que se pudo asociar a la lixiviación de estas sustancias propias del alimento producida en la DO. Las muestras con Alg, presentaron mayor conservación de polifenoles y de la capacidad antioxidante respecto a Pec. Se recomienda la utilización del recubrimiento Alg para obtener una buena conservación de nutrientes.



- Del análisis sensorial de comparación de pares, las diferencias en apariencia, firmeza y dulzor fueron leves y moderadas en más de un 50% para los pares estudiados. Esto permite concluir que los recubrimientos no generan diferencias sensorialmente apreciables. La aceptabilidad general para las muestras recubiertas fue superior a un 70% en gusta levemente y gusta mucho para las muestras de Pec y Alg. Estos resultados demostraron una buena aceptación de los panelistas hacia las muestras recubiertas por lo que podrían ser aplicados sin problemas de rechazo sensorial.
- Al probar la aplicación de recubrimientos sobre otra matriz, en este caso frutilla, se observó que a menor tamaño de la muestra genera mayores valores de WR, WL y SG. Sin embargo, cuando se aplicó el doble recubrimiento no se observó un efecto superador. De los resultados obtenidos se pudo apreciar que la exposición de la pulpa de frutillas genera una mayor WL y consecuentemente un aumento en la SG, por otra parte, los mayores niveles de ED se presentaron en rodajas. La aplicación del recubrimiento no tuvo efecto positivo en cuanto al aumento de WL y a la reducción de la SG, los valores no fueron mejorados y no se observó la misma respuesta con respecto a lo obtenido en pera. En cuanto a la forma no se observaron diferencias con la aplicación del recubrimiento. Se recomiendan más estudios para encontrar mejores técnicas y recubrimientos para esta matriz.
- Por lo tanto, la aplicación de Pec y Alg como recubrimiento tiene ventajas considerables en las cinéticas de DO, como así también en la conservación de parámetros texturales y sensoriales de cubos de peras procesadas osmóticamente. Finalmente y en resumen, este trabajo de Tesis tuvo el siguiente alcance:
  - ✓ Se evaluó la capacidad de los HC para impedir o reducir la incorporación de solutos durante el proceso de inmersión, de acuerdo con los objetivos planteados.
  - ✓ Se observó la factibilidad de emplear recubrimientos comestibles (alginato y pectina) para revestir peras variedad Packham's Triumph y frutillas variedad Fragaria Ananassa, productos que son sometidos a deshidratación osmótica (DO).
  - ✓ Se estudiaron las características físicas de dichos recubrimientos como la adhesividad y cambios de espesor debido al contacto con soluciones deshidratantes de sacarosa, jarabe de glucosa y maltodextrina.

- ✓ Se determinaron experimentalmente cinéticas de deshidratación e incorporación de medio deshidratante durante la DO con distintas condiciones de operación (temperaturas de 20 y 40°C, concentración del medio de 40 y 60 °Brix) de productos sin recubrimiento y con recubrimiento.
- ✓ Se evaluaron las características particulares de los productos (con y sin recubrimiento) sometidos a DO tales como cambios de color, cambio de textura a través de la firmeza, observación de microestructura, valor nutricional (capacidad antioxidante y fenoles totales) y análisis sensorial.
- ✓ Se estudió la capacidad barrera de los recubrimientos comestibles para cada producto fruti-hortícola, en las distintas DO con diferentes condiciones de operación.

## 7.2. Proyecciones futuras

- Como continuación del presente trabajo se propone realizar el secado por aire de los frutos osmodeshidratados teniendo, en cuenta los estudios cinéticos realizados, para alcanzar producto de alta calidad y la humedad del 25% en base húmeda requerida por el Código Alimentario Argentino.
- Realizar más estudios para desarrollar modelos que tengan en cuenta todos los factores que contribuyen a los cambios de color en sistemas con recubrimiento aplicando compuestos antipardeantes.
- Efectuar más estudios para encontrar mejores técnicas y recubrimientos para matrices como frutillas y similares.
- Por último, sería interesante identificar la potencialidad del recubrimiento comestible como herramienta de fortificación y enriquecimiento de compuestos nutricionales en frutas sometidas a deshidratación osmótica.

### Nomenclatura

ABTS <sup>+</sup>	2,2'-azino-bis (3-thylbenzthiozoline-6-sulphonic acid)
a*	Enrojecimiento
b*	Amarillamiento
Cl <sub>2</sub> Ca	Cloruro de calcio
CMC	Carboximetilcelulosa
DE	Dextrosa equivalente
DPPH	2,2-Difenil-1-picrilhidrazil
ED	Eficiencia de la deshidratación
FNP	Fuerza Normalizada de Penetración
F <sub>máx</sub>	Fuerza máxima (N)
F <sub>o</sub>	Fuerza máxima del fresco (N)
L*	Luminosidad
m <sub>iDO</sub>	Masa total de muestra sin tratar (g)
m <sub>fDO</sub>	Masa final de las muestras luego de la DO (g)
PPO	Enzima polifenoloxidasas
SS	Sólidos solubles (°Brix)
W	Potencia (Watts)
WC	Contenido de agua (%)
WCo	Contenido de agua del fruto fresco (%)
WNP	Trabajo Normalizado de Penetración

## Nomenclatura

---

### Unidades

Å	Angstrom
cm	Centímetros
cm <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
h	hora o horas según corresponda
gr	Gramos
mg	Miligramos
min	Minutos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
mm/s	Milímetros por segundo
N	Newton
nm	Nanómetros
s	Segundos
cp	Centipoise
°Bx	Grados Brix
°C	Grados Celsius
% p/p	Porcentaje peso en peso
% p/v	Porcentajes peso en volumen
rpm	Revoluciones por minuto
R <sup>2</sup>	Coefficiente de correlación
µL	Microlitros
µm	Micrones o micrómetros

**Referencias bibliográficas**

- Abraão, A. S., Lemos, A. M., Vilela, A., Sousa, J. M., & Nunes, F. M. (2013). Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 481–494. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.04.006>
- Agnelli, M. E., Marani, C. M., & Mascheroni, R. H. (2005). Modelling of heat and mass transfer during (osmo) dehydrofreezing of fruits. *Journal of Food Engineering*, 69, 415–424. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.034>
- Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 29–43. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.003>
- Akbarian, M., Ghanbarzadeh, B., Sowti, M., & Dehghannya, J. (2015). Effects of Pectin-CMC-Based Coating and Osmotic Dehydration Pretreatments on Microstructure and Texture of the Hot-Air Dried Quince Slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(3), 260–269. <http://doi.org/10.1111/jfpp.12229>
- Allali, H., Marchal, L., & Vorobiev, E. (2010). Blanching of strawberries by ohmic heating: Effects on the kinetics of mass transfer during osmotic dehydration. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 406–414. <http://doi.org/10.1007/s11947-008-0115-5>
- Altenhofen da Silva, M., Krause Bierhalz, A.C., Guenter Kieckbush, T. (2009). Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca<sup>+2</sup> ions: effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate Polymers* 77, 736–742.
- Arballo, J. R. Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires (2013).

- Arballo, J. R., Campañone, L. A., & Mascheroni, R. H. (2010a). Deshidratación de peras empleando métodos Combinados: Impregnación y microondas. Publicado en Actas VI Congreso Argentino de Ingeniería Química. Mar del Plata, Buenos Aires.
- Arballo, J. R., Campañone, L. A., & Mascheroni, R. H. (2010b). Modeling of Microwave Drying of Fruits. *Drying Technology*, 28, 1178-1184.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC), (1990). *Official Methods of Analysis*. Washington, DC. Vol. 2. 994-995.
- Aung, T., & Fluger, C. V. (1997). Process for preparing stabilized partially dehydrated aromatic plant products. Patente N° 5397584A. United States of America.
- Avaltroni, F., Bouquerand, P. E., & Normand, V. (2004). Maltodextrin molecular weight distribution influence on the glass transition temperature and viscosity in aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 58, 323–334.  
<http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.001>
- Azam, M., Haq, M. A., & Hasnain, A. (2013). Osmotic Dehydration of Mango Cubes: Effect of Novel Gluten-Based Coating. *Drying Technology*, 31(1), 120–127.  
<http://doi.org/10.1080/07373937.2012.727055>
- Azarpazhooh, E., & Ramaswamy, H. S. (2010). Osmotic Dehydration. In S. V. Jangam, C. L. Law, & A. S. Mujumdar (Eds.), *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, Vol. 1, 83–110. Singapore.
- Azuara, E., Beristai, C. I., & Gutiérrez, G. F. (2002). Osmotic dehydration of apples by immersion in concentrated sucrose / maltodextrin solutions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 26, 295–306.
- Barat, J. M., Albors, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1999). Equilibration of apple tissue in osmotic dehydration: microstructural changes. *Drying Technology*, 17(8), 1375–1386.

- Barda, N. (2011). Respuesta a las limitantes tecnológicas que amenazan la competitividad de la pera Williams Argentina: aspectos nutricionales y sensoriales. Informe final proyecto COFECYT. INTA – INTI. Argentina.
- Bernardi, S., Bodini, R. B., Marcatti, B., Petrus, R. R., & Favaro-Trindade, C. S. (2009). Quality and sensorial characteristics of osmotically dehydrated mango with syrups of inverted sugar and sucrose. *Scientia Agricola*, 66 (1), 40–43. <http://doi.org/10.1590/S0103-90162009000100005>
- Bevilacqua, M., & Storti, L. (2011). Complejo Frutícola: Manzana y Pera Contenidos. Serie “Producción Regional por Complejos Productivos”. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. Argentina.
- Blanda, G., Cerretani, L., Cardinali, A., Barbieri, S., Bendini, A., & Lercker, G. (2009). Osmotic dehydrofreezing of strawberries: Polyphenolic content, volatile profile and consumer acceptance. *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 30–36. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.002>
- Bouchard, C., & Grandjean, B. P. A. (1995). A Neural Network Correlation for the Variation of Viscosity of Sucrose Aqueous Solutions with Temperature and Concentration. *Lebensm. -Wiss. U.-Technol. (LWT)*, 28, 157–159.
- Brandelero, P. R. H., Vieira, A. P., Telis, R. V. N., Telis-romero, J., & Yamashita, F. (2005). Application of edible coatings in processed pineapples products by hurdle technology: desorption isotherms and kinetics of the osmotic dehydration. *Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 25(2), 285–290.
- Calvo, Miguel (2005). Bioquímica de los alimentos. Portada web: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/uso.html>.
- Camirand, W. M., Forrey, A., & Forrey, R. R. (1969). Osmotic dehydration of coated foods. Patente N° 3.425.848. United States of America.

- Camirand, W. M., Forrey, R. R., Popper, K., Boyle, F. P., & Stanley, W. L. (1968). Dehydration of membrane-coated foods by osmosis. *Journal Science Food Agri.*, 19, 472–474.
- Camirand, W., Krochta, J. M., Pavlath, A. E., Wong, D., & Cole, M. E. (1992). Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. *Carbohydrate Polymers*, 17(1), 39–49. [http://doi.org/10.1016/0144-8617\(92\)90021-H](http://doi.org/10.1016/0144-8617(92)90021-H)
- Castelló, M. L., Igual, M., Fito, P. J., & Chiralt, a. (2009). Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, 91(1), 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.025>
- Chandra, S., & Kumari, D. (2015). Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4), 552–561. <http://doi.org/10.1080/10408398.2012.664830>
- Chasquibol Silva, N., & Morales Gomero, J. C. (2010). Contribución al estudio del proceso de gelación de la pectina del níspero de la sierra. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 28, 157–176.
- Chen, G.-L., Chen, S.-G., Zhao, Y.-Y., Luo, C.-X., Li, J., & Gao, Y.-Q. (2014). Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after in vitro digestion. *Industrial Crops and Products*, 57, 150–157. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.018>
- Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Transport Mechanisms in Osmotic Dehydration: The Role of the Structure. *Food Science Technology*, 9(3), 179–186. <http://doi.org/10.1177/108201303034757>
- Chirife, J., & Buera, M. P. F. (1997). A Simple Model for Predicting the Viscosity of Sugar and Oligosaccharide Solutions. *Journal of Food Engineering*, 33, 221–226.



- Chong, C. H., Law, C. L., Figiel, A., Wojdylo, A., & Oziemblowski, M. (2013). Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry*, 141(4), 3889–3896. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.042>
- Ciurzynska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., & Lenart, A. (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 186–192. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.017>
- Da Costa Ribeiro, A. S., Aguiar-oliveira, E., & Resende Maldonado, R. (2016). Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 407–415. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.062>
- Dabrowska, R., & Lenart, A. (2001). Influence of edible coatings on osmotic treatment of apples. In P. Fito, A. Chiralt, J. M. Barat, W. E. L. Spiess, & D. Behnlian (Eds.), *Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation: Applications in Food Industries* (pp. 43–49). Pennsylvania: Technomic, Lancaster, PA.
- De Souza Silva, K., Caetano, L. C., Garcia, C. C., Romero, J. T., Santos, A. B., & Mauro, M. A. (2011). Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 56–64. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.01.025>
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M., & Taoukis, P. S. (2016). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment with alternative osmotic solutes to the shelf life of frozen strawberry. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 212–221. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.05.006>
- Dermesonlouoglou, E. K., Pourgouri, S., & Taoukis, P. S. (2008). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 542–549. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.01.002>

- Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C., & McCarthy, M. J. (2008). Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 519–528. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.007>
- Derossi, A., Severini, C., Del Mastro, a, & De Pilli, T. (2015). Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 641–648. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.056>
- Deumier, F., & Bohuon, P. (2005). Densities, viscosities and water activities of ternary NaCl – glucose syrup – water systems from 283.1 to 298.1 K. *Journal of Food Engineering*, 68, 377–383. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.013>
- Dixon, G. M., & Jen, J. J. (1977). Changes O F Sugars and Acids O F Osmovac-Dried Apple Slices. *Journal of Food Science*, 42(4), 1126–1127.
- Djendoubi Mrad, N., Boudhrioua Mihoubi, N., Kechaou, N., Courtois, F., & Bonazzi, C. (2013). Effect of Osmo-dehydration Conditions on the Quality Attributes of Pears. *Food Processing and Technology*, 4(8), 4–9. <http://doi.org/10.4172/2157-7110.1000256>
- Dokic, P., Jakovljevic, J., & Dokic-baucal, L. (1998). Molecular characteristics of maltodextrins and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 141, 435–440.
- Draget, K. I. (2000). Alginates. In G. O. Phillips & P. A. Williams (Eds.), *Hanbook of Hydrocolloids* (pp. 379–395). New York, Washington, DC: CRC Press. Retrieved from <http://docencia.izt.uam.mx/epa/archivos/quimalim/alginato.pdf>
- El-Aouar, Â. A., Azoubel, P. M., Barbosa Jr., J. L., & Murr, F. E. X. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 75, 267–274. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.016>

- Espitia, P. J. P., Du, W. X., Avena-Bustillos, R. D. J., Soares, N. D. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, 35, 287–296. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>
- Falade, K. O., Igbeka, J. C., & Ayanwuyi, F. a. (2007). Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80 (3), 979–985. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.033>
- Fennema, Owen R. (2000). *Química de los Alimentos*. (Acribia S.A., Ed.). Segunda Edición. Zaragoza. España.
- Ferrando, M., & Spiess, W. E. L. (2001). Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions. *Journal of Food Engineering*, 49, 115–127.
- Ferrari, C. C., & Hubinger, M. D. (2008). Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science and Technology*, 43 (11), 2065–2074. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01824.x>
- Ferrari, C. C., Hubinger, M. D., & Mascheroni, R. H. (2007). Relatório das atividades realizadas no Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos CIDCA – UNLP - Argentina. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS.
- Ferrari, C. C., Sarantópoulos, C. I. G. L., Carmello-Guerreiro, S. M., & Hubinger, M. D. (2013). Effect of Osmotic Dehydration and Pectin Edible Coatings on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Melon. *Food and Bioprocess Technology*, 6 (1), 80–91. <http://doi.org/10.1007/s11947-011-0704-6>
- Forni, E., Sormani, a., Scalise, S., & Torreggiani, D. (1997). The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International*, 30 (2), 87–94. [http://doi.org/10.1016/S0963-9969\(97\)00038-0](http://doi.org/10.1016/S0963-9969(97)00038-0)

- Galaffu, N., Bortlik, K., & Michel, M. (2015). An industry perspective on natural food colour stability. In *Colour Additives for Foods and Beverages*, Cap. 5 (pp. 91–130). Lausanne, Switzerland: Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-1-78242-011-8.00005-2>
- Galmarini, M. V, Baeza, R., Sanchez, V., Zamora, M. C., & Chirife, J. (2011). Comparison of the viscosity of trehalose and sucrose solutions at various temperatures: Effect of guar gum addition. *LWT - Food Science and Technology*, 44 (1), 186–190. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.021>
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45 (2), 273–283. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
- Galus, S., & Lenart, A. (2013). Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering*, 115 (4), 459–465. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.006>
- Garcia Loreda, A. B., Guerrero, S. N., & Alzamora, S. M. (2013). Impact of combined ascorbic acid/CaCl<sub>2</sub>, hydrogen peroxide and ultraviolet light treatments on structure, rheological properties and texture of fresh-cut pear (William var.). *Journal of Food Engineering*, 114 (2), 164–173. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.017>
- García, M., Díaz, R., Martínez, Y., & Casariego, A. (2010). Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International*, 43 (6), 1656–1660. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.002>
- Genevois, C. E., De Escalada Pla, M. F., & Flores, S. K. (2016). Application of edible coatings to improve global quality of fortified pumpkin. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 506–514. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.001>
- Genina Soto, P. (2002). Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales. *Avance y Perspectiva*, 21, 321–324. Retrieved from

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Deshidrataci?n+osm?tica+:+alternativa+para+conservaci?n+de+frutas+tropicales#0>

- Giangiaco, R., Torreggiani, D., & Abbo, E. (1987). Osmotic dehydration of fruit: part 1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. *Journal of Food Processing and Preservation*, 11, 183–195.
- Giovanelli, G., Brambilla, a., Rizzolo, a., & Sinelli, N. (2012). Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Research International*, 49 (1), 263–271. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.015>
- Gomes Corrêa, J. L., Ernesto, D. B., & Mendonça, K. S. De. (2016). Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 17–24. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.046>
- Gras, M. L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, a., & Fito, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation: Interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56 (3), 279–284. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00269-8](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00269-8)
- Guadagni, D. G. (1949). Syrup treatment of apple slices for freezing preservation. *Food Technology*, 3, 404–408.
- Guilbert, S., Cuq, B., & Gontard, N. (1997). Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials. *Food Additives & Contaminants*, 14 (7), 741–751. <http://doi.org/10.1080/02652039709374585>
- Gündüz, K. (2016). Strawberry: Phytochemical Composition of Strawberry (*Fragaria × ananassa*). In *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 733–752). Elsevier Inc. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00030-1>

- Han, J. H. (2014). Edible Films and Coatings: A Review. In *Innovations in Food Packaging* (Vol. 1, pp. 213–241). Texas: Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6>
- Hawkes, J., & Flink, J. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 265–284.
- Hughes, R. E., C. O. Chichester & C. Sterling (1958). Penetration of maltosaccharides in processed Clingstone peaches. *Food Technol.*, 12, 111-115.
- Ispir, A., & Toğrul, I. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 87 (2), 166–180. <http://doi.org/10.1016/j.cherd.2008.07.011>
- Jalae, F., Fazeli, a., Fatemian, H., & Tavakolipour, H. (2011). Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Food and Bioproducts Processing*, 89 (4), 367–374. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.012>
- Jansrimanee, S., & Lertworasirikul, S. (2017). Effect of sodium alginate coating on osmotic dehydration of pumpkin. *International Food Research Journal*, 24 (5), 1903–1909.
- Kang, H., Kim, S., You, Y., Lacroix, M., & Han, J. (2013). Inhibitory effect of soy protein coating formulations on walnut (*Juglans regia* L.) kernels against lipid oxidation. *LWT - Food Science and Technology*, 51 (1), 393–396.
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E. B., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001>
- Kashima, K., & Imai, M. (2017). Selective diffusion of glucose, maltose, and raffinose through calcium alginate membranes characterized by a mass fraction of guluronate. *Food and Bioproducts Processing*, 102, 213–221. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.11.003>

- Ketata, M., Desjardins, Y., & Ratti, C. (2013). Effect of liquid nitrogen pretreatments on osmotic dehydration of blueberries. *Journal of Food Engineering*, 116 (1), 202–212. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.035>
- Khin, M. M., Zhou, W., & Perera, C. O. (2005). Development in the Combined Treatment of Coating and Osmotic Dehydration of Food – A Review. *International Journal of Food Engineering*, 1 (1), 1–19. <http://doi.org/10.2202/1556-3758.1005>
- Khin, M. M., Zhou, W., & Perera, C. O. (2006). A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77 (1), 84–95. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.050>
- Khin, M. M., Zhou, W., & Perera, C. O. (2007a). Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 79 (3), 817–827. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.046>
- Khin, M. M., Zhou, W., & Yeo, S. Y. (2007b). Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by using maltodextrin as the coating material and their textural properties. *Journal of Food Engineering*, 81 (3), 514–522. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.12.005>
- Knoche, M., Athoo, T. O., Winkler, A., & Brüggewirth, M. (2015). Postharvest osmotic dehydration of pedicels of sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 86–90. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.014>
- Kolniak-Ostek, J. (2016). Chemical composition and antioxidant capacity of different anatomical parts of pear (*Pyrus communis* L.). *Food Chemistry*, 203, 491–497. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.103>
- Kowalska, H., Lenart, A., & Leszczyk, D. (2008). The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86, 30–38. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.006>

- Krajewska, B., & Olech, A. (1996). Pore structure of gel chitosan membranes. I. Solute diffusion measurements. *Polymer Gels and Networks*, 4 (1), 33–43. [https://doi.org/10.1016/0966-7822\(95\)00015-1](https://doi.org/10.1016/0966-7822(95)00015-1)
- Lazarides, H. N., Gekas, V., & Mavroudis, N. (1997). Apparent Mass Diffusivities in Fruit and Vegetable Tissues Undergoing Osmotic Processing. *Journal of Food Engineering*, 31, 315–324.
- Lazarides, H. N., Katsanidis, E., & Nickolaidis, A. (1995). Mass Transfer Kinetics during Osmotic Preconcentration Aiming at Minimal Solid Uptake. *Journal of Food Engineering*, 25, 151–166.
- Lazarides, H. N., Mitrakas, G. E., & Matsos, K. I. (2007). Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *Journal of Food Engineering*, 82 (2), 171–177. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.007>
- Lenart, A. & Lewicki, P. P. (1987). Kinetics of osmotic dehydration of the plant tissue. In *Drying '87*, ed. A. S. Mujumdar. Hemisphere Publ. Corp., New York, USA, pp. 239-248.
- Lenart, A., & Dabrowska, R. (1999). Kinetics of Osmotic Dehydration of Apples with Pectin Coatings. *Drying Technology: An International Journal*, 17 (8), 1359-1373. <http://doi.org/10.1080/07373939908917620>
- Lepe, J. P. (2014). El mercado de las frutillas. Oficina de estudios y políticas agrarias. Santiago de Chile. Chile. Obtenido de: [www.odepa.gob.cl](http://www.odepa.gob.cl)
- Li, X., Li, X., Wang, T., & Gao, W. (2016). Nutritional Composition of Pear Cultivars (*Pyrus spp.*). In *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 573–608). Elsevier Inc.



- Lopez-Sanchez, P., Fredriksson, N., Larsson, A., Altskär, A., & Ström, A. (2018). High sugar content impacts microstructure, mechanics and release of calcium-alginate gels. *Food Hydrocolloids*, 84, 26–33. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.029>
- Luchese, C. L., Gurak, P. D., & Marczak, L. D. F. (2015). Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. *LWT - Food Science and Technology*, 63 (2), 1128–1136. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.060>
- Mao, J., Zhang, L., Chen, F., Lai, S., Yang, B., & Yang, H. (2017). Effect of Vacuum Impregnation Combined with Calcium Lactate on the Firmness and Polysaccharide Morphology of Kyoho Grapes (*Vitis vinifera* x *V. labrusca*). *Food and Bioprocess Technology*, 10(4), 699–709. <http://doi.org/10.1007/s11947-016-1852-5>
- Marani, C. M., Agnelli, M. E., & Mascheroni, R. H. (2002). Efecto de la temperatura y la concentración de la solución osmótica durante la deshidratación de cubos de manzana. Buenos Aires.
- Marcos, B., Gou, P., Arnau, J., & Comaposada, J. (2016). Influence of processing conditions on the properties of alginate solutions and wet edible calcium alginate coatings. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 271–279. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.054>
- Matusek, A., Czukor, B., & Merész, P. (2008). Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9 (3), 365–373. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.10.003>
- Matuska, M., Lenart, A., & Lazarides, H. N. (2006). On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*, 72 (1), 85–91. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.023>
- Mauro, M. a., Dellarosa, N., Tylewicz, U., Tappi, S., Laghi, L., Rocculi, P., & Rosa, M. D. (2016). Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple

- tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions. *Food Chemistry*, 195, 19–28. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.096>
- Mavroudis, N. E., Gidley, M. J., & Sjöholm, I. (2012). Osmotic processing: Effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue. *Food Research International*, 48 (2), 839–847. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.034>
- Mayor, L., Cunha, R. L., & Sereno, A. M. (2007). Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. *Food Research International*, 40, 448–460. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.02.004>
- MECSST (2015). Datos extraídos de “Standard Tables of Food Composition (2015). Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MECSST)”, Japón. [http://www.mext.go.jp/en/policy/science\\_technology/policy/title01/detail01/1374030.htm](http://www.mext.go.jp/en/policy/science_technology/policy/title01/detail01/1374030.htm)
- Miller, K. S., Upadhyaya, S. K., & Krochta, J. M. (1998). Permeability of d-Limonene in Whey Protein Films. *Food Science*, 63 (2), 244–247.
- Mitrakas, G. E., Koutsoumanis, K. P., & Lazarides, H. N. (2008). Impact of edible coating with or without anti-microbial agent on microbial growth during osmotic dehydration and refrigerated storage of a model plant material. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9 (4), 550–555. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.06.001>
- Montoya, J. E. Z., & Quintero, G. C. (1999). Deshidratación Osmótica De Frutas Y Vegetales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 52 (1), 451–466.
- Moreno, J., Simpson, R., & Pavez, C. (2014). Influence of ohmic heating / osmotic dehydration treatments on polyphenoloxidase inactivation, physical properties and microbial stability of apples (cv. Granny Smith). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20 (October 2013), 198–207. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.06.006>

- Moreno, J., Simpson, R., Sayas, M., Segura, I., Aldana, O., & Almonacid, S. (2011). Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph). *Journal of Food Engineering*, 104 (4), 621–627. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.01.029>
- Nieto, a. B., Salvatori, D. M., Castro, M. a., & Alzamora, S. M. (2004). Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: Shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61 (2), 269–278. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00108-0](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00108-0)
- Nieto, A. B., Vicente, S., Hodara, K., Castro, M. A., & Alzamora, S. M. (2013). Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. *Journal of Food Engineering*, 119 (1), 104–114. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.032>
- Nishinari, K., Watase, M., Kouhyama, K., Nishinari, N., Oakenfull, D., Koide, S., Phillips, G. O. (1992). The effect of sucrose on the thermo-reversible gel-sol transition in agarose and gelatin. *Polymer Journal*, 24 (9), 871-877. <http://doi.org/10.1016/j.mee.2011.02.025>
- Oliver, L., Betoret, N., Fito, P., & Meinders, M. B. J. (2012). How to deal with viscoelastic properties of cellular tissues during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 110 (2), 278–288. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.028>
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*, 50 (1), 87–94. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.005>
- Ortiz Jerez, M. J. Modelación matemática del secado de alimentos por el método de ventana de refractancia. Tesis. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Doctorado en Ingeniería. Universidad del Valle. Cali, Valle del Cauca, Colombia (2014).

- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B. (1999). Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*, 17 (2), 175–189. <http://doi.org/10.1080/07373939908917524>
- Park, H. J., Byun, Y. J., Kim, Y. T., Whiteside, W. S., & Bae, H. J. (2013). Processes and Applications for Edible Coating and Film Materials from Agropolymers. *Innovations in Food Packaging: Second Edition*. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00010-2>
- Park, K. J., Bin, A., & Pedro Reis Brod, F. (2002). Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56, 97–103. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00152-8](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00152-8)
- Parzanese, M. (2006). Tecnologías para la Industria Alimentaria - Películas y recubrimientos comestibles Ficha No 7. Alimentos Argentinos. Retrieved from [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha\\_07\\_PelículaComestible.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_07_PelículaComestible.pdf)
- Parzanese, M. (2010). Tecnologías para la Industria Alimentaria - Deshidratación osmótica - Ficha N° 6. Alimentos Argentinos – Min. Agri., Argentina. 1–11. Obtenido de: [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha\\_06\\_Osmótica.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_06_Osmótica.pdf)
- Parzanese, M. (2011). Tecnologías para la Industria Alimentaria - Películas y recubrimientos comestibles - Ficha N° 7. Alimentos Argentinos - MinAgri, Argentina. 1–11. Obtenido de: [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha\\_07\\_PelículaComestible.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_07_PelículaComestible.pdf)
- Parzanese, M. (2011). Vegetales mínimamente procesados. Secretaria de Agricultura Ganadería Y Pesca de Argentina, pp. 30–39. Retrieved from [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55\\_vegetales.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55_vegetales.pdf)

- Patel, J. H., & Sutar, P. P. (2016). Acceleration of mass transfer rates in osmotic dehydration of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) applying pulsed-microwave-vacuum. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36, 201–211. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.018>
- Pérez Cabrera, L. E. (2003). Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad blanquilla) mínimamente procesada. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral.
- Perez-Cabrera, L., Chafer, M., Chiralt, A., & Gonzalez-Martinez, C. (2011). Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *LWT - Food Science and Technology*, 44 (10), 2273-2280. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.007>
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1998). Perry's chemical engineers' handbook, international editions. In M. Graw-Hill (Ed.), (7<sup>a</sup> ed., pp. 2–324). Sydney.
- Peyron, A. (1991). L'enrobage et les produits filmogènes: Un nouveau mode d'emballage. *Viandes Prod. Carnés*, 12, 41–46.
- Ponting, J. D., Walters, G. G., Forray, R. R., Jackson, R., & Stanley, W. L. (1966). Osmotic dehydration of food. *Food Technology*, 20, 125–128.
- Prosapio, V., & Norton, I. (2017). Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 401–408. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.012>
- Quevedo, R., Díaz, O., Caqueo, A., Ronceros, B., & Aguilera, J. M. (2009). Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L\* color information from digital images. *LWT - Food Science and Technology*, 42 (8), 1367–1373. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.011>

- Rahimi, J., Singh, A., Adewale, P., Adedeji, A., Ngadi, M., & Raghavan, V. (2013). Effect of Carboxymethyl Cellulose Coating and Osmotic Dehydration on Freeze Drying Kinetics of Apple Slices. *Foods*, 2 (2), 170–182. <http://doi.org/10.3390/foods2020170>
- Ramana Murthy, M. V. (2009). A review of new technologies, models and experimental investigations of solar driers. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 13 (4), 835–844.
- Ramos, E. L., Ravelo, E., Bordallo, S., & León, V. (2005). Determinación de polisacáridos por filtración por gel de celulosa. *Instituto Cubano de Investigaciones de Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 3, 35–39.
- Ramya, V., & Jain, N. K. (2017). A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: an integrated approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40 (3), 1–22. <http://doi.org/10.1111/jfpe.12440>
- Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 5 (August), 25–51.
- Raoult-Wack, A. L., Guilbert, S., LeMaguer, M., & Rios, G. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media. 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). *Drying Technology an International Journal*, 9, 589–612.
- Raoult-Wack, A. L., Lafonf, F., Rios, G., & Guilbert, S. (1989). Osmotic dehydration: study of the mass transfer in terms of engineering properties. In A. S. Mujumdar & M. Roques (Eds.), *Drying* 89 (pp. 487–495). New York: Hemisphere Publishing Corporation.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., & Niranjana, K. (2014). Recent Developments in Osmotic Dehydration. In *Academic Food Journal* (2<sup>a</sup> Ed., pp. 181–212). Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00011-5>
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in*

- Food Science and Technology, 13 (2), 48–59. [http://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00032-8](http://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00032-8)
- Rastogi, N., & Raghavarao, K. (2004). Mass Transfer During Osmotic Dehydration: Determination of Moisture and Solute Diffusion Coefficients from Concentration Profiles. *Food and Bioprocess Processing*, 82 (1), 44–48. <http://doi.org/10.1205/096030804322985308>
- Renkin, E. M. (1954). Filtration, Diffusion, and Molecular Sieving Through Porous Cellulose Membranes. *Journal of General Physiology*, 225–243.
- Restrepo Fernández, J. I. (2009). Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa) mediante la aplicación de revestimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Colombia.
- Rizzolo, A., Gerli, F., Prinzevalli, C., Buratti, S., & Torreggiani, D. (2007). Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time. *LWT - Food Science and Technology*, 40 (3), 529–535. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.02.002>
- Robards, K., Prenzler, P. D., Tucker, G., Swatsitang, P., & Glover, W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66 (4), 401–436. [http://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00093-X](http://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00093-X)
- Roberts, D. D., Elmore, J. S., Langley, K. R., & Bakker, J. (1996). Effects of sucrose, guar gum, and carboxymethylcellulose on the release of volatile flavor compounds under dynamic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (5), 1321–1326. <http://doi.org/10.1021/jf950567c>
- Rodríguez, A., García, M. A., & Campañone, L. A. (2016). Experimental study of the application of edible coatings in pumpkin sticks submitted to osmotic dehydration. *Drying Technology: An International Journal*, 34 (6), 635–644. <http://doi.org/10.1080/07373937.2015.1069325>

- Salta, J., Martins, A., Santos, R. G., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., Justino, J., & Rauter, A. P. (2010). Phenolic composition and antioxidant activity of Rocha pear and other pear cultivars - A comparative study. *Journal of Functional Foods*, 2 (2), 153–157. <http://doi.org/10.1016/j.jff.2010.02.002>
- Salvatori, D., & Alzamora, S. M. (2000). Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. *Drying Technology*, 18, 361–382. <http://doi.org/10.1080/07373930008917709>
- Sánchez, E. E., & Villareal, P. (2012). Programa Nacional Frutales - Cadena Frutales de Pepita. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle (INTA) - Rio Negro. Argentina. Obtenido de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_programa\\_nacional\\_frutales\\_cadena\\_frutales\\_de\\_pe.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_programa_nacional_frutales_cadena_frutales_de_pe.pdf)
- Santos, S., & Kirchbaum, D. (2015). Protocolo de calidad para frutillas frescas y congeladas (Vol. 1). Dirección Nacional de Transformación y Comercialización de Productos Agrícolas y Forestales de la Subsecretaría de agricultura de la secretaria de agricultura, ganadería y pesca del Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. Argentina. Obtenido de: [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema\\_protocolos/SA\\_A039%20Frutilla%20V15%20Version%20final.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema_protocolos/SA_A039%20Frutilla%20V15%20Version%20final.pdf)
- Saurel, R., Raoult-Wack, A. L., Rios, G., & Guilbert, S. (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science & Technology*, 29 (5), 543–550. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02096.x>
- Seguí, L., Fito, P. J., & Fito, P. (2012). Understanding osmotic dehydration of tissue structured foods by means of a cellular approach. *Journal of Food Engineering*, 110 (2), 240–247. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.012>
- SENASA (2009). Cultivo del peral en Argentina. Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. Argentina.



- Shi, J., Pan, Z., McHugh, T. H., & Hirschberg, E. (2009). Effect of infusion method and parameters on solid gain in blueberries. *Food and Bioprocess Technology*, 2 (3), 271–278. <http://doi.org/10.1007/s11947-008-0116-4>
- Silva Paz, R. J., Denoya, G. I., Languasco, J. M., & Della Rocca, P. A. (2013). Evaluación de los parámetros de color y de textura del zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) sometido a diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. *Proyecciones*, pp. 69–80. Buenos Aires.
- Silva, K. S., Fernandes, M. a., & Mauro, M. a. (2014). Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. *Journal of Food Engineering*, 134, 37–44. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.02.020>
- Silva, M. A. D. C., Silva, Z. E. Da, Mariani, V. C., & Darche, S. (2012). Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *LWT - Food Science and Technology*, 45 (2), 246–252. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.032>
- Singh, C., Sharma, H. K., & Sarkar, B. (2010). Influence of process conditions on the mass transfer during osmotic dehydration of coated pineapple samples. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34 (4), 700–714.
- Souraki, B. A., Ghavami, M., & Tondro, H. (2014). Correction of moisture and sucrose effective diffusivities for shrinkage during osmotic dehydration of apple in sucrose solution. *Food and Bioprocess Processing*, 92 (1), 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.07.002>
- Spiazzi, E., & Mascheroni, R. (1997). Mass Transfer Model for Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables - I. Development of the Simulation Model. *Journal of Food Engineering*, 34, 387–410.
- Sundar Raj, A. A., Rubila, S., Jayabalan, R., & Ranganathan, T. V. (2012). A Review on Pectin: Chemistry due to General Properties of Pectin and its Pharmaceutical Uses. *Open Access Scientific Reports*, 1, 1–5. <http://doi.org/10.4172/scientificreports.5>

- Taghizadeh, M., Fathi, M., & Sajjadi, a. L. (2016). Effect of coating concentration and combined osmotic and hot-air dehydration on some physico-chemical, textural and sensory properties of apple slabs. *Acta Alimentaria*, 45 (1), 119–128. <http://doi.org/10.1556/066.2016.45.1.15>
- Talens, P., Pérez-Masía, R., Fabra, M. J., Vargas, M., & Chiralt, a. (2012). Application of edible coatings to partially dehydrated pineapple for use in fruit-cereal products. *Journal of Food Engineering*, 112 (2), 86–93. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.022>
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 137, 360–374. <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.074>
- Toğrul, I. T., & Ispir, A. (2007). Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. *Energy Conversion and Management*, 48 (10), 2611–2621. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.05.001>
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26 (1), 59–68. [http://doi.org/10.1016/0963-9969\(93\)90106-S](http://doi.org/10.1016/0963-9969(93)90106-S)
- Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49 (3), 247–253. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00210-7](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00210-7)
- Turquois, T., Rinaudo, M., Tavel, F. R., & Heyraud, A. (2000). Extraction of highly gelling pectins from sugar beet pulp. *Hydrocolloids*, 1, 229–234.
- Vargas, M., Chiralt, A., Albors, A., & González-Martínez, C. (2009). Effect of chitosan-based edible coatings applied by vacuum impregnation on quality preservation of fresh-cut carrot. *Postharvest Biology and Technology*, 51 (2), 263–271. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.07.019>

- Wais, N. (2011). Secado combinado de frutas: Deshidratación osmótica y microondas. Universidad Nacional de La Plata. Retrieved from [http://biblio.ing.unlp.edu.ar/cgi-bin/koha/opac-search.pl?op=do\\_search&ttype1=exact&field\\_name1=author&field\\_value1=Wais%2C+Natalia](http://biblio.ing.unlp.edu.ar/cgi-bin/koha/opac-search.pl?op=do_search&ttype1=exact&field_name1=author&field_value1=Wais%2C+Natalia).
- Wais, N., Agnelli, M. E., & Mascheroni, R. H. (2005). Combined osmotic dehydration-microwave drying of fruits. Application apple cubes. In 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering. 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering (pp. 1–11). ENPROMER.
- Wong, W. S., Tillin, S. J., Hudson, J. S., & Pavlath, A. E. (1994). Gas exchange in cut apples with bilayer coatings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 2278–2285.
- Yuan, T., Ya, Z., & Qilong, S. (2016). Appropriate coating pretreatment enhancing osmotic dehydration efficiency of scallop adductors. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32 (17), 266–273. <http://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.17.035>
- Zapata, L. M., Malleret, a D., Quinteros, C. F., Lesa, C. E., Vuarant, C. O., Rivadeneira, M. F., & Gerard, J. a. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 21 (41), 159–171.
- Zhao, J., Hu, R., Xiao, H., Yang, Y., Liu, F., & Gan, Z. (2014). Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango: effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 960–968. <http://doi.org/10.1111/ijfs.12388>
- Zhou, W., Liu, W., Zou, L., Liu, W., Liu, C., Liang, R., & Chen, J. (2014). Storage stability and skin permeation of vitamin C liposomes improved by pectin coating. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 117, 330–337. <http://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.02.036>

Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T. H., & Barrett, D. M. (2010). Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. *Journal of Food Engineering*, 97 (1), 8–16. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.021>

## Transferencias científicas

Artículos en revistas con arbitraje/ Indexadas

Se pretende divulgar los resultados obtenidos en este trabajo de tesis en revistas indexadas.

Trabajos en actas de congresos (texto completo)

- Internacionales:

SOTERAS, Edgar M., RODRIGUEZ, Anabel, GARCIA, Maria A., CAMPAÑONE, Laura.  
“DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PELÍCULAS COMESTIBLES: APLICACIÓN EN PERAS” en la cuarta edición del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas a la Industria “CLICAP 2015” y su evento asociado, el Tercer Encuentro AUSAL los días 15, 16 y 17 de abril de 2015 en la sede de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, San Rafael – Mendoza – Argentina.

SOTERAS, Edgar M., RODRIGUEZ, Anabel, GARCIA, Maria A., CAMPAÑONE, Laura.  
“DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PERAS CON APLICACIÓN DE PECTINA Y ALGINATO COMO RECUBRIMIENTOS: CAMBIOS ESTRUCTURALES” en la VI edición del Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos “CICyTAC 2016”, del 2 al 4 de Noviembre de 2016 en la ciudad de Córdoba, Argentina.

SOTERAS, Edgar M., GAMBOA-SANTOS, Juliana, CAMPAÑONE, Laura.  
“CARACTERIZACIÓN DE HIDROGELES DE ALGINATO DE SODIO Y PECTINA DE BAJO GRADO DE METOXILACIÓN DURANTE PRE-TRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA” en la quinta edición del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas “CLICAP 2018” y su evento asociado, el Cuarto Encuentro AUSAL los días 11, 12 y 13 de abril de 2018 en la sede de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, San Rafael – Mendoza – Argentina.

- Nacionales:

SOTERAS, Edgar M., RODRIGUEZ, Anabel, GARCIA, Maria A., CAMPAÑONE, Laura.  
“DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PERAS CON APLICACIÓN DE PECTINA COMO RECUBRIMIENTO: DETERMINACIÓN DE CINÉTICAS DE PROCESO Y PARÁMETROS DE CALIDAD” en la XV edición del Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos “CYTAL 2015”, del 3 al 5 de Noviembre de 2015 en los Salones Palais Rouge, Salguero 1435 - Buenos Aires – Argentina.

- Presentación oral de congresos

- Internacionales:

SOTERAS, Edgar M., RODRIGUEZ, Anabel, GARCIA, Maria A., CAMPAÑONE, Laura.  
“DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PELÍCULAS COMESTIBLES: APLICACIÓN EN PERAS” en la cuarta edición del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas a la Industria “CLICAP 2015” y su evento asociado, el Tercer Encuentro AUSAL los días 15, 16 y 17 de abril de 2015 en la sede de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, San Rafael – Mendoza – Argentina.

SOTERAS, Edgar M., GAMBOA-SANTOS, Juliana, CAMPAÑONE, Laura.  
“CARACTERIZACIÓN DE HIDROGELES DE ALGINATO DE SODIO Y PECTINA DE BAJO GRADO DE METOXILACIÓN DURANTE PRE-TRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA” en la quinta edición del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas “CLICAP 2018” y su evento asociado, el Cuarto Encuentro AUSAL los días 11, 12 y 13 de abril de 2018 en la sede de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, San Rafael – Mendoza – Argentina.

- Actividad de divulgación relacionada con el contenido de este trabajo de tesis

SOTERAS, Edgar M., RODRIGUEZ, Anabel, GARCIA, Maria A., CAMPAÑONE, Laura.

“Aplicación de películas comestibles en la deshidratación osmótica” en la sexta Jornada de Jóvenes Investigadores y Jóvenes Extensionistas. Facultad de Ciencias Exactas – Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP | Del 31 de agosto al 4 de septiembre de 2015. La plata – Buenos Aires – Argentina.

## Anexos

## A. Cinéticas de deshidratación de hidrogeles comestibles

SACAROSA														
Alg DO 60 °Bx - 40 °C														
tiempo(h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	57,41	0,83	22,86	3,94	29,73	3,46	34,54	3,11	2,55	0,40				
1	66,98	1,69	28,07	1,88	49,35	3,39	38,91	3,57	2,39	0,22				
2	69,34	1,33	30,81	0,09	51,68	1,01	38,53	1,43	2,25	0,05				
Pec DO 60 °Bx - 40 °C														
tiempo(h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	63,48	7,83	19,33	1,47	47,05	5,59	44,15	6,36	3,28	0,16				
1	67,47	0,19	28,71	0,88	55,25	2,96	38,76	1,07	2,35	0,08				
2	65,80	1,72	30,78	0,99	55,65	1,38	35,02	2,71	2,14	0,12				
Alg DO 40 °Bx - 40 °C														
tiempo(h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	43,76	1,49	19,22	0,62	31,13	1,81	24,54	0,87	2,28	0,00				
1	48,68	3,84	22,13	1,21	33,63	2,55	26,55	5,05	2,21	0,29				
2	45,39	0,91	26,72	0,83	33,88	1,59	18,67	0,08	1,70	0,02				
Pec DO 40 °Bx - 40 °C														
tiempo(h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,53	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	45,27	3,87	22,98	0,21	27,90	2,00	22,28	3,66	1,97	0,15				
1	46,81	1,55	21,52	0,59	32,45	1,49	25,29	2,14	2,18	0,13				
2	44,47	2,11	23,78	1,27	34,10	1,42	20,69	3,38	1,88	0,19				



JARABE DE BLUCOSA												
Alg DO 60 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-
0,5	52,92	4,14	11,41	0,48	23,02	4,47	41,51	3,65	4,64	3,65	41,51	3,65
1	62,84	0,35	19,17	3,57	41,73	1,17	43,68	3,22	3,34	3,22	43,68	3,22
2	76,13	2,17	19,05	3,25	50,35	1,47	57,08	5,42	4,06	5,42	57,08	5,42
Pec DO 60 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-
0,5	67,71	3,94	20,18	1,23	47,37	1,99	47,53	5,17	3,37	5,17	47,53	5,17
1	72,60	0,90	21,58	0,05	52,18	3,11	51,02	0,95	3,36	0,95	51,02	0,95
2	73,54	0,39	24,27	2,01	55,05	2,01	49,27	1,63	3,04	1,63	49,27	1,63
Alg DO 40 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-
0,5	49,18	1,51	14,84	0,85	27,88	2,35	34,34	0,66	3,32	0,66	34,34	0,66
1	50,38	1,99	17,34	0,47	29,25	2,25	33,04	1,52	2,91	1,52	33,04	1,52
2	52,15	0,37	17,40	0,41	28,15	1,68	34,75	0,78	3,00	0,78	34,75	0,78
Pec DO 40 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WR	desvest
0	-	-	-	-	2,53	0,21	-	-	-	-	-	-
0,5	50,50	0,16	15,87	0,27	29,57	0,89	34,63	0,43	3,18	0,43	34,63	0,43
1	51,23	0,66	17,44	0,25	31,95	0,97	33,79	0,90	2,94	0,90	33,79	0,90
2	51,69	4,98	20,74	0,42	31,28	2,39	30,96	4,56	2,49	4,56	30,96	4,56

MALTODEXTRINA												
Alg DO 60 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-
0,5	61,48	2,32	13,47	0,05	37,78	3,76	48,01	2,37	4,57	2,37	4,57	0,19
1	69,20	1,70	17,90	1,55	47,38	1,13	51,30	3,26	3,89	3,26	3,89	0,43
2	73,52	4,26	22,58	6,37	52,00	1,48	50,94	10,63	3,42	10,63	3,42	1,15
Pec DO 60 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-
0,5	69,10	0,82	17,79	1,52	45,00	2,01	51,31	2,35	3,90	2,35	3,90	0,38
1	69,32	4,18	16,11	2,47	45,62	5,92	53,20	1,71	4,33	1,71	4,33	0,41
2	74,03	3,42	19,12	2,75	51,67	2,41	54,91	6,17	3,93	6,17	3,93	0,74
Alg DO 40 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,93	1,00	-	-	-	-	-	-
0,5	46,01	0,44	11,64	0,13	22,48	2,88	34,37	0,31	3,95	0,31	3,95	0,01
1	49,56	3,84	12,88	0,15	22,70	1,92	36,68	3,69	3,85	3,69	3,85	0,25
2	53,81	5,61	17,65	3,07	29,37	4,06	36,16	8,68	3,12	8,68	3,12	0,86
Pec DO 40 °Bx - 40 °C												
tiempo (h)	WL	desvest	SG	desvest	°Brix	desvest	WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	2,53	0,21	-	-	-	-	-	-
0,5	52,49	3,75	11,13	0,25	28,40	1,18	41,36	3,50	4,71	3,50	4,71	0,23
1	58,99	0,40	14,04	0,20	29,23	2,73	44,95	0,60	4,20	0,60	4,20	0,09
2	60,42	0,68	14,29	0,90	34,20	1,47	46,13	1,58	4,24	1,58	4,24	0,31

**B. Cinéticas de deshidratación de cubos de peras con recubrimientos comestibles**

**Tabla B.1.** Valores-p calculados para las diferentes condiciones de procesamiento con sacarosa considerando como factores para el análisis el tiempo y recubrimiento.

Condición. Factor	WR	WL	SG	SS	ED
	<i>Valor-p</i>				
<b>DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0,783	0,956	0,040	0,000	0,227
<b>DO 20°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
<b>DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>DO 20°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,627	0,000	0,000
<b>DO 40°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>DO 40°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Tabla B.2.** Valores-p calculado para las condiciones de procesamiento con jarabe de glucosa.

Condición/Factor	WR	WL	SG	SS	ED
	<i>Valor-p</i>				
<b>DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,356
<b>DO 20°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,015	0,000	0,001
<b>DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002
<b>DO 20°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,009	0,000	0,004
<b>DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,297
<b>DO 40°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,070	0,000	0,031	0,000	0,000
<b>DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,003	0,020	0,000
<b>DO 40°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Tabla B.3.** Valores-p calculado para las condiciones de procesamiento con maltodextrina.

Condición/Factor	WR	WL	SG	SS	ED
	<i>Valor-p</i>				
<b>DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>DO 20°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,012	0,018	0,050	0,000	0,020
<b>DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
<b>DO 20°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010
<b>DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0,030	0,000	0,007	0,000	0,050
<b>DO 40°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,000	0,000	0,008	0,000	0,150
<b>DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0,000	0,000	0,040	0,000	0,860

DO 40°C\_60 °Bx. Tiempo 0,000 0,000 0,100 0,000 0,002

SIN RECUBRIMIENTO SACAROSA

DO 40°Bx\_ 20 °C S/R

tiempo (h)	WL Prom		SG Prom		desvest		Promedio °Brix		Prom WR		desvest		WL/SG	
	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest
-	-	-	-	-	-	-	14,61	0,89	-	-	-	-	-	-
1	13,12	0,15	7,77	0,29	23,85	0,21	6,17	0,37	1,69	0,04	0,37	1,69	0,04	
2	17,52	0,32	9,04	0,05	25,85	0,12	8,49	0,60	1,94	0,05	0,60	1,94	0,05	
4	25,80	0,89	7,26	0,23	26,78	0,40	18,32	0,38	3,55	0,01	0,38	3,55	0,01	
8	29,07	0,28	8,28	0,18	29,08	0,16	21,27	0,18	3,51	0,04	0,18	3,51	0,04	
16	38,59	2,47	9,84	1,33	34,20	0,33	28,53	3,19	3,92	0,79	3,19	3,92	0,79	

DO 60°Bx\_ 20 °C S/R

tiempo (h)	WL Prom		SG Prom		desvest		Promedio °Brix		Prom WR		desvest		WL/SG	
	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	
-	-	-	-	-	-	-	14,61	0,89	-	-	-	-	-	
1	21,28	1,56	9,70	1,29	27,45	1,77	11,40	1,02	2,19	0,13	1,02	2,19	0,13	
2	27,80	0,31	12,48	1,68	32,47	1,74	16,57	0,68	2,23	0,28	0,68	2,23	0,28	
4	35,42	1,54	12,57	0,30	36,08	0,92	24,66	1,10	2,82	0,06	1,10	2,82	0,06	
8	45,01	0,04	11,51	0,05	40,08	0,12	34,84	0,07	3,91	0,02	0,07	3,91	0,02	
16	56,63	0,20	14,75	1,58	50,45	1,48	41,82	1,42	3,84	0,43	1,42	3,84	0,43	

DO 40°Bx\_ 40 °C S/R

tiempo (h)	WL Prom		SG Prom		desvest		Promedio °Brix		Prom WR		desvest		WL/SG	
	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	
-	-	-	-	-	-	-	14,61	0,89	-	-	-	-	-	
1	19,90	0,26	7,68	1,05	25,38	1,01	12,17	0,65	2,59	0,39	0,65	2,59	0,39	
2	23,81	1,66	9,51	0,95	28,12	0,59	14,23	1,59	2,50	0,43	1,59	2,50	0,43	
4	30,16	0,97	11,55	0,71	32,30	1,13	19,00	0,64	2,61	0,08	0,64	2,61	0,08	
8	36,10	1,96	11,05	0,59	34,22	1,30	24,97	1,12	3,27	0,00	1,12	3,27	0,00	
16	39,25	0,73	11,56	0,48	35,62	0,26	26,51	0,81	3,39	0,20	0,81	3,39	0,20	

DO 60°Bx\_ 40 °C S/R

tiempo (h)	WL Prom		SG Prom		desvest		Promedio °Brix		Prom WR		desvest		WL/SG	
	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	desvest	
-	-	-	-	-	-	-	14,61	0,89	-	-	-	-	-	
1	36,31	2,60	11,23	0,99	34,93	2,12	25,96	1,66	3,23	0,05	1,66	3,23	0,05	
2	46,66	1,90	10,39	0,50	39,30	0,75	36,35	2,49	4,49	0,40	2,49	4,49	0,40	
4	51,34	0,63	13,63	0,87	45,48	1,20	37,90	0,27	3,77	0,19	0,27	3,77	0,19	
8	61,23	0,51	12,27	0,15	52,57	0,24	48,86	0,51	4,99	0,10	0,51	4,99	0,10	
16	62,28	0,68	15,22	0,12	57,10	0,75	47,75	0,90	4,09	0,08	0,90	4,09	0,08	

<b>CON RECUBRIMIENTO DE ALGINATO SACAROSA</b>												
<b>DO 40°Bx_ 20 °C Alginato 2% y Lactato 5%</b>												
<b>Promedio</b>												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	11,53	1,16	-	-	-	-	-	-
1	15,61	0,45	6,53	0,63	19,93	0,61	9,37	0,38	2,39	0,16	2,39	0,16
2	19,21	0,30	8,03	0,03	22,17	0,09	11,74	0,26	2,39	0,03	2,39	0,03
4	25,55	0,44	10,07	0,20	25,73	0,09	16,03	0,48	2,54	0,09	2,54	0,09
8	30,24	1,28	10,96	0,64	28,17	0,14	20,13	1,86	2,76	0,28	2,76	0,28
16	37,48	0,48	9,99	0,31	29,95	0,12	28,14	0,75	3,75	0,16	3,75	0,16
<b>DO 60°Bx_ 20 °C Alginato 2% y Lactato 5%</b>												
<b>Promedio</b>												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	11,53	1,16	-	-	-	-	-	-
1	25,17	1,96	5,21	0,16	21,00	0,28	20,25	1,86	4,83	0,53	4,83	0,53
2	31,82	0,02	6,49	0,84	24,27	0,94	25,74	0,59	4,90	0,65	4,90	0,65
4	39,23	0,94	6,24	0,02	26,73	0,42	33,52	1,14	6,29	0,17	6,29	0,17
8	49,62	1,99	9,46	0,19	35,28	0,82	40,47	1,93	5,24	0,32	5,24	0,32
16	61,15	2,83	8,70	0,95	42,62	1,58	52,46	4,00	7,03	1,10	7,03	1,10
<b>DO 40°Bx_ 40 °C Alginato 2% y Lactato 5%</b>												
<b>Promedio</b>												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	11,53	1,16	-	-	-	-	-	-
1	22,04	0,30	8,53	0,09	22,02	0,40	14,99	0,20	2,58	0,01	2,58	0,01
2	28,62	0,08	9,06	0,24	24,28	0,16	21,04	0,16	3,16	0,07	3,16	0,07
4	34,44	0,86	10,38	0,15	27,50	0,33	25,54	0,70	3,32	0,03	3,32	0,03
8	40,76	0,01	10,66	0,43	30,67	0,38	31,59	0,44	3,82	0,16	3,82	0,16
16	45,93	0,16	10,30	0,28	32,97	0,05	37,12	0,44	4,46	0,14	4,46	0,14
<b>DO 60°Bx_ 40 °C Alginato 2% y Lactato 5%</b>												
<b>Promedio</b>												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	12,97	0,12	-	-	-	-	-	-
1	37,32	2,00	7,82	0,35	27,35	0,82	29,24	0,87	4,77	0,04	4,77	0,04
2	44,94	0,57	9,14	0,63	32,48	0,49	36,37	0,99	4,92	0,40	4,92	0,40
4	56,56	0,35	8,86	0,08	38,38	0,26	46,88	0,57	6,39	0,10	6,39	0,10
8	64,84	0,81	10,85	0,75	48,38	2,33	53,72	0,67	5,98	0,34	5,98	0,34
16	66,79	0,53	12,13	0,41	52,78	0,68	55,16	1,37	5,51	0,23	5,51	0,23

<b>CON RECUBRIMIENTO DE PECTINA SACAROSA</b>													
<b>DO 40°Bx_ 20 °C Pectina 3% y Lactato 5%</b>													
tiempo (h)	Promedio						Promedio						
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest	
-	-	-	-	-	11,31	0,33	-	-	-	-	-	-	-
1	15,99	0,69	8,29	0,18	21,42	0,31	8,49	0,47	1,93	0,04	1,93	0,04	
2	19,08	0,89	9,55	0,09	23,17	0,14	9,95	0,93	2,00	0,11	2,00	0,11	
4	24,54	0,01	9,80	0,63	24,85	0,59	15,05	0,53	2,50	0,16	2,50	0,16	
8	28,21	0,09	11,38	0,25	27,40	0,24	17,18	0,20	2,48	0,05	2,48	0,05	
16	34,91	0,42	11,63	0,86	30,38	1,01	24,49	0,30	3,00	0,19	3,00	0,19	
<b>DO 60°Bx_ 20 °C Pectina 3% y Lactato 5%</b>													
tiempo (h)	Promedio						Promedio						
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest	
-	-	-	-	-	11,31	0,33	-	-	-	-	-	-	
1	29,98	0,26	5,26	0,42	22,00	0,42	24,67	0,47	5,70	0,51	5,70	0,51	
2	36,96	1,61	8,15	1,55	27,40	1,04	29,02	2,98	4,53	1,08	4,53	1,08	
4	42,42	1,72	7,53	0,39	29,00	0,42	35,01	2,28	5,63	0,52	5,63	0,52	
8	51,83	2,65	9,14	0,71	35,27	0,61	41,99	3,01	5,67	0,73	5,67	0,73	
16	61,09	0,98	9,82	0,25	43,37	0,52	51,27	1,17	6,22	0,26	6,22	0,26	
<b>DO 40°Bx_ 40 °C Pectina 3% y Lactato 5%</b>													
tiempo (h)	Promedio						Promedio						
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest	
-	-	-	-	-	11,31	0,33	-	-	-	-	-	-	
1	23,15	0,88	7,60	0,09	22,42	0,21	15,65	1,19	3,05	0,15	3,05	0,15	
2	26,12	0,44	8,83	0,70	24,47	0,75	17,67	0,33	2,96	0,19	2,96	0,19	
4	33,62	0,59	8,51	0,06	26,57	0,42	25,38	0,97	3,95	0,04	3,95	0,04	
8	40,79	3,42	11,74	0,62	32,65	0,64	29,37	3,27	3,47	0,47	3,47	0,47	
16	47,13	0,42	11,52	0,40	35,60	0,33	35,86	0,54	4,09	0,11	4,09	0,11	
<b>DO 60°Bx_ 40 °C Pectina 3% y Lactato 5%</b>													
tiempo (h)	Promedio						Promedio						
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest	
-	-	-	-	-	11,31	0,33	-	-	-	-	-	-	
1	36,87	1,39	6,66	0,16	25,70	0,61	30,07	1,06	5,54	0,08	5,54	0,08	
2	47,32	1,74	7,62	0,32	31,53	0,28	39,95	1,56	6,21	0,49	6,21	0,49	
4	59,35	2,87	7,36	0,45	38,87	1,56	51,91	3,09	8,07	0,89	8,07	0,89	
8	64,43	1,30	8,16	0,24	44,73	1,32	56,45	0,76	7,89	0,07	7,89	0,07	
16	68,42	0,36	10,01	0,24	51,93	0,28	58,95	0,69	6,84	0,20	6,84	0,20	

SIN RECUBRIMIENTO JARABE DE GLUCOSA												
DO 40°Bx_20 °C S/R												
Tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest
					°Brix	desvest	desvest					
-	-	-	-	-	12,77	0,52	-	-	-	-	-	-
1	7,31	0,05	1,99	0,21	15,68	0,21	5,93	0,04	3,68	0,36	0,17	0,17
2	11,35	0,15	3,73	0,26	17,97	0,28	8,19	0,01	3,05	0,69	0,11	0,11
4	19,12	1,32	2,94	0,11	18,97	0,14	17,18	2,14	7,85	0,11	0,11	0,11
8	27,78	2,11	3,54	0,22	21,85	0,92	25,32	2,14	8,27	0,22	0,22	0,22
16	35,78	0,15	4,33	0,10	25,32	0,07	32,48	0,19	8,27	0,22	0,22	0,22
DO 60°Bx_20 °C S/R												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest
					°Brix	desvest	desvest					
-	-	-	-	-	12,77	0,52	-	-	-	-	-	-
1	21,83	0,22	4,44	0,67	20,98	0,64	18,00	0,69	4,92	0,80	0,23	0,23
2	28,55	2,89	5,13	0,31	23,82	1,11	24,79	2,21	5,56	0,36	0,36	0,36
4	29,65	0,82	6,07	0,27	25,15	0,12	25,12	0,73	4,89	0,26	0,26	0,26
8	44,12	4,05	5,92	0,34	30,57	2,17	38,75	3,24	7,45	0,26	0,26	0,26
16	52,09	0,09	7,88	0,02	37,72	0,21	45,27	0,27	6,61	0,03	0,03	0,03
DO 40°Bx_40 °C S/R												
Tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest
					°Brix	desvest	desvest					
-	-	-	-	-	12,77	0,52	-	-	-	-	-	-
1	10,59	0,02	2,96	0,15	17,07	0,09	7,84	0,37	3,58	0,19	0,50	0,50
2	14,57	0,97	3,45	0,18	18,42	0,12	11,92	1,55	4,22	0,12	0,12	0,12
4	21,71	0,01	4,98	0,13	21,43	0,19	17,18	0,12	4,36	0,99	0,99	0,99
8	29,85	2,81	4,95	0,35	23,75	0,49	25,35	3,02	6,03	0,09	0,09	0,09
16	47,72	0,26	4,30	0,01	30,62	0,12	44,25	0,25	11,09	0,09	0,09	0,09
DO 60°Bx_40 °C S/R												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest
					°Brix	desvest	desvest					
-	-	-	-	-	12,77	0,52	-	-	-	-	-	-
1	24,21	0,14	5,45	0,27	22,80	0,14	20,10	0,71	4,44	0,25	0,70	0,70
2	30,20	0,86	6,03	0,66	25,03	0,38	24,91	1,52	5,00	0,87	0,87	0,87
4	45,96	2,41	4,15	0,11	29,45	1,15	42,52	2,62	11,09	1,62	1,62	1,62
8	60,75	0,83	3,67	0,41	39,05	1,63	57,90	0,71	16,57	1,62	1,62	1,62
16	68,39	0,17	4,13	0,13	49,67	1,70	65,97	0,89	16,57	0,50	0,50	0,50

CON RECUBRIMIENTO DE ALGINATO JARABE DE GLUCOSA												
DO 40°Bx_ 20 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	Promedio											
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	10,03	0,06	-	-	-	-	-	-
1	17,62	0,99	4,45	0,05	16,78	0,21	13,68	0,82	3,96	0,18	3,96	0,18
2	22,17	1,18	5,02	0,11	18,38	0,21	18,12	1,57	4,42	0,34	4,42	0,34
4	24,75	0,38	6,47	0,25	20,40	0,09	19,10	0,83	3,82	0,20	3,82	0,20
8	34,61	1,10	5,77	0,35	22,58	0,07	30,00	1,33	5,99	0,56	5,99	0,56
16	34,62	0,94	7,38	0,13	24,28	0,49	28,27	0,91	4,69	0,04	4,69	0,04
DO 60°Bx_ 20 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
tiempo (h)	Promedio											
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	10,03	0,06	-	-	-	-	-	-
1	27,87	0,39	4,70	0,59	19,33	0,75	23,81	0,07	5,93	0,66	5,93	0,66
2	31,05	0,76	5,20	0,12	20,80	0,05	26,76	0,75	5,97	0,29	5,97	0,29
4	40,00	1,74	5,89	0,52	24,63	0,19	35,35	1,61	6,79	0,90	6,79	0,90
8	49,62	1,29	5,52	0,22	28,35	0,35	45,13	1,46	8,99	0,60	8,99	0,60
16	56,99	1,49	5,63	0,63	32,98	0,02	52,51	1,96	10,13	1,42	10,13	1,42
DO 40°Bx_ 40 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	Promedio											
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	10,03	0,06	-	-	-	-	-	-
1	24,38	2,30	4,85	0,77	18,70	0,28	20,43	2,91	5,03	1,29	5,03	1,29
2	29,25	1,61	5,58	0,78	20,67	0,33	24,48	2,56	5,25	1,03	5,25	1,03
4	34,38	2,89	6,41	0,21	23,18	0,73	29,03	3,13	5,37	0,63	5,37	0,63
8	45,17	1,21	4,36	0,86	24,65	0,73	41,65	1,74	10,37	2,36	10,37	2,36
16	50,84	0,41	6,49	0,38	30,42	0,26	45,69	0,78	7,84	0,52	7,84	0,52
DO 60°Bx_ 40 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
tiempo (h)	Promedio											
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
-	-	-	-	-	10,03	0,06	-	-	-	-	-	-
1	37,52	0,90	4,29	1,34	21,65	1,39	33,90	1,96	8,75	3,10	8,75	3,10
2	46,60	0,87	3,77	0,26	24,37	0,05	43,36	0,97	12,37	1,10	12,37	1,10
4	63,81	1,06	3,02	0,20	33,72	1,39	61,25	1,02	21,11	1,02	21,11	1,02
8	68,11	2,03	3,40	0,32	39,28	2,00	65,73	2,56	20,01	2,49	20,01	2,49
16	77,38	0,48	1,70	0,15	51,70	0,80	77,30	0,65	45,52	4,39	45,52	4,39



CON RECUBRIMIENTO DE PECTINA JARABE DE GLUCOSA												
DO 40°Bx_ 20 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL	Prom	desvest	SG	Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom	WR	desvest	WL/SG
-	-	-	-	-	-	-	10,57	0,86	-	-	-	-
1	17,81	0,56	0,21	5,10	0,21	18,33	0,09	14,57	0,70	0,70	3,49	0,25
2	25,76	1,66	0,62	5,35	0,62	20,35	0,12	21,80	2,59	2,59	4,82	0,87
4	25,49	1,22	0,42	6,15	0,42	21,20	0,85	21,12	1,18	1,18	4,14	0,08
8	34,30	5,18	0,47	6,17	0,47	23,75	1,15	29,40	5,40	5,40	5,56	1,26
16	44,87	4,02	0,98	4,54	0,98	25,83	0,66	41,47	5,30	5,30	9,89	3,10
DO 60°Bx_ 20 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL	Prom	desvest	SG	Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom	WR	desvest	WL/SG
-	-	-	-	-	-	-	10,57	0,86	-	-	-	-
1	26,16	0,34	0,68	5,34	0,68	20,42	0,59	22,13	1,08	1,08	4,90	0,69
2	32,30	3,14	0,43	7,82	0,43	24,78	0,35	25,78	2,80	2,80	4,13	0,63
4	41,98	1,98	0,80	8,28	0,80	29,12	2,00	35,21	1,71	1,71	5,07	0,25
8	43,74	0,68	0,26	6,62	0,26	27,85	0,49	38,29	0,15	0,15	6,61	0,16
16	48,88	1,82	0,61	8,69	0,61	32,97	2,03	41,55	1,75	1,75	5,63	0,18
DO 40°Bx_ 40 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL	Prom	desvest	SG	Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom	WR	desvest	WL/SG
-	-	-	-	-	-	-	10,57	0,86	-	-	-	-
1	25,93	0,11	0,16	4,70	0,16	19,67	0,24	22,38	0,10	0,10	5,52	0,17
2	24,90	0,98	0,55	5,72	0,55	20,47	0,28	20,46	1,59	1,59	4,36	0,59
4	32,05	1,33	0,00	6,51	0,00	23,30	0,52	26,68	1,64	1,64	4,92	0,21
8	45,66	0,43	0,32	5,33	0,32	27,17	0,80	41,48	0,53	0,53	8,57	0,44
16	51,23	0,83	0,19	5,83	0,19	30,78	0,68	46,72	0,57	0,57	8,78	0,14
DO 60°Bx_ 40 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL	Prom	desvest	SG	Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom	WR	desvest	WL/SG
-	-	-	-	-	-	-	10,57	0,86	-	-	-	-
1	38,27	1,63	0,16	2,83	0,16	21,10	0,42	36,47	2,04	2,04	13,50	1,35
2	42,91	0,64	0,36	3,31	0,36	23,37	0,28	40,63	0,84	0,84	12,97	1,63
4	52,26	1,53	0,42	4,81	0,42	29,92	0,35	48,58	2,00	2,00	10,86	1,26
8	67,62	2,28	0,15	2,20	0,15	38,67	3,11	66,89	2,28	2,28	30,75	1,07
16	74,38	0,46	0,30	1,24	0,30	47,47	1,08	75,13	0,06	0,06	60,05	14,55

SIN RECUBRIMIENTO MALTODEXTRINA												
DO 40°Bx_ 20 °C S/R												
Tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio °Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	12,33	0,51	-	-	-	-	-	-
1	5,96	0,72	0,92	0,10	14,03	0,19	5,53	0,54	6,46	0,07	6,46	0,07
2	6,33	0,71	1,21	0,40	14,37	0,47	5,74	0,29	5,24	1,23	5,24	1,23
4	7,40	0,39	1,59	0,34	14,83	0,24	6,14	0,83	4,65	1,28	4,65	1,28
8	14,57	0,66	1,11	0,06	15,70	-	14,34	0,40	13,06	1,33	13,06	1,33
16	26,75	3,18	3,63	0,88	20,97	0,05	23,86	4,02	7,37	2,74	7,37	2,74
DO 60°Bx_ 20 °C S/R												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio °Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	12,33	0,51	-	-	-	-	-	-
1	14,70	0,70	2,58	0,75	17,15	0,64	13,07	1,12	5,70	2,00	5,70	2,00
2	18,03	0,55	2,72	0,19	18,03	0,28	16,53	0,24	6,63	0,27	6,63	0,27
4	20,89	0,19	2,85	0,34	18,78	0,35	19,19	0,30	7,34	0,82	7,34	0,82
8	24,40	0,20	3,54	0,26	20,32	0,31	21,85	0,12	6,88	0,57	6,88	0,57
16	36,68	0,70	1,70	0,10	21,87	0,38	35,82	0,64	21,58	0,87	21,58	0,87
DO 40°Bx_ 40 °C S/R												
Tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio °Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	12,33	0,51	-	-	-	-	-	-
1	14,53	0,65	ND	-	14,33	0,05	15,49	0,79	NC	-	NC	-
2	18,86	3,78	ND	-	15,10	0,38	19,99	4,22	NC	-	NC	-
4	41,29	2,94	ND	-	18,70	0,99	43,62	2,85	NC	-	NC	-
8	49,91	3,00	ND	-	24,63	1,27	50,30	2,95	NC	-	NC	-
16	62,24	2,69	ND	-	30,62	1,01	64,09	3,18	NC	-	NC	-
DO 60°Bx_ 40 °C S/R												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio °Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	WL/SG	desvest
0	-	-	-	-	12,33	0,51	-	-	-	-	-	-
1	25,38	0,65	1,89	0,30	18,80	0,47	24,33	0,31	13,42	1,79	13,42	1,79
2	35,12	0,64	1,44	0,33	21,08	0,64	34,69	0,41	24,47	5,28	24,47	5,28
4	35,46	1,19	2,23	0,05	21,93	0,38	33,60	0,94	15,91	0,21	15,91	0,21
8	44,20	0,01	1,68	0,58	24,95	0,97	43,85	0,16	26,36	9,74	26,36	9,74
16	56,57	4,99	3,22	0,53	34,08	3,23	54,08	5,92	17,57	4,52	17,57	4,52
ND	NO DETECTADO											
NC	NO CALCULADO											

CON RECUBRIMIENTO DE ALGINATO MALTODEXTRINA												
DO 40°Bx_ 20 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	
					°Brix	desvest	desvest					
0	-	-	-	-	10,33	0,10	-	-	-	-	-	
1	14,45	0,94	4,27	0,25	16,32	0,07	10,48	1,14	3,38	0,42		
2	16,33	0,69	5,20	0,63	17,53	0,47	11,42	1,22	3,14	0,52		
4	20,68	1,19	5,69	0,32	18,92	0,59	15,26	0,96	3,63	0,01		
8	31,97	1,24	5,96	0,80	22,07	0,42	26,18	2,22	5,36	0,94		
16	35,12	2,66	4,11	0,75	21,05	0,02	31,39	3,49	8,55	2,24		
DO 60°Bx_ 20 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	
					°Brix	desvest	desvest					
0	-	-	-	-	10,33	0,10	-	-	-	-	-	
1	22,48	0,31	4,78	0,37	18,40	0,28	17,84	0,76	4,70	0,43		
2	27,83	0,10	6,39	0,35	21,43	0,38	21,98	0,28	4,36	0,23		
4	25,64	0,45	6,18	0,62	20,87	0,80	20,87	0,06	4,15	0,35		
8	29,45	0,01	7,11	0,25	22,95	0,40	23,98	0,22	4,14	0,15		
16	41,99	1,37	5,45	0,49	25,15	0,97	37,25	0,47	7,71	0,44		
DO 40°Bx_ 40 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	
					°Brix	desvest	desvest					
0	-	-	-	-	10,33	0,10	-	-	-	-	-	
1	27,38	0,34	3,64	0,10	18,33	0,09	23,80	0,16	7,53	0,30		
2	30,98	1,42	2,88	0,58	18,52	0,31	28,65	1,94	10,75	2,70		
4	36,73	1,25	2,89	0,34	20,15	0,78	34,35	0,86	12,70	1,05		
8	58,68	0,67	ND	-	25,97	0,85	59,13	0,98	NC	-		
16	70,71	0,09	ND	-	32,92	0,16	73,52	0,45	NC	-		
DO 60°Bx_ 40 °C Alginato 2% y Lactato 5%												
tiempo (h)	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	Promedio			Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	
					°Brix	desvest	desvest					
0	-	-	-	-	10,33	0,10	-	-	-	-	-	
1	30,20	0,99	4,20	0,17	19,77	0,00	26,48	0,88	7,19	0,53		
2	36,42	0,89	3,53	0,26	20,85	0,54	33,51	0,50	10,32	0,50		
4	48,87	1,03	2,81	1,14	24,82	2,05	47,03	0,22	17,36	7,26		
8	56,59	1,51	2,28	0,66	28,03	0,42	55,03	1,67	24,84	8,19		
16	69,56	2,48	2,33	1,51	40,32	0,21	68,59	3,91	29,89	25,91		

CON RECUBRIMIENTO DE PECTINA MALTODEXTRINA												
DO 40°Bx_ 20 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest	
0	-	-	-	-	11,68	0,53	-	-	-	-	-	
1	7,37	0,46	2,44	0,00	14,93	0,05	5,41	0,31	3,02	0,19	0,19	
2	10,55	0,05	4,60	0,16	17,42	0,16	6,53	0,02	2,30	0,09	0,09	
4	9,06	0,49	3,26	0,77	15,97	0,61	6,41	1,22	2,78	0,83	0,83	
8	11,16	1,90	4,01	0,41	17,05	0,07	7,92	2,79	2,78	0,76	0,76	
16	9,94	0,95	4,83	0,70	17,53	0,42	5,82	1,69	2,06	0,50	0,50	
DO 60°Bx_ 20 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest	
0	-	-	-	-	11,68	0,53	-	-	-	-	-	
1	23,78	0,65	3,09	0,60	18,70	0,47	21,00	1,22	7,69	1,74	1,74	
2	26,18	0,53	4,79	0,07	21,03	0,19	21,67	0,36	5,46	0,03	0,03	
4	29,51	1,67	4,74	0,17	21,90	0,71	24,96	1,67	6,22	0,14	0,14	
8	33,54	1,11	6,08	1,29	24,63	0,90	27,95	2,62	5,52	0,86	0,86	
16	40,26	0,09	6,51	1,02	27,78	1,01	34,52	1,28	6,18	0,45	0,45	
DO 40°Bx_ 40 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
Tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest	
0	-	-	-	-	11,68	0,53	-	-	-	-	-	
1	14,33	1,33	3,06	0,15	16,72	0,40	11,78	1,24	4,68	0,21	0,21	
2	15,44	0,08	3,11	0,33	16,97	0,28	12,81	0,51	4,97	0,56	0,56	
4	42,34	2,22	1,46	0,76	22,38	0,21	41,32	2,85	29,10	19,46	19,46	
8	57,25	0,87	ND	-	26,23	1,65	58,82	0,79	NC	-	-	
16	64,91	0,99	ND	-	34,62	0,45	66,39	1,14	NC	-	-	
DO 60°Bx_ 40 °C Pectina 3% y Lactato 5%												
tiempo (h)	Promedio						Promedio					
	WL Prom	desvest	SG Prom	desvest	°Brix	desvest	Prom WR	desvest	WL/SG	desvest	desvest	
0	-	-	-	-	11,68	0,53	-	-	-	-	-	
1	28,76	2,74	3,87	0,26	21,50	0,57	25,35	3,18	7,43	1,21	1,21	
2	37,98	1,50	3,17	1,05	23,65	0,68	35,21	2,57	12,00	2,77	2,77	
4	43,48	2,35	3,35	1,09	26,13	0,52	40,66	2,98	12,99	2,85	2,85	
8	53,41	0,12	1,84	0,41	29,22	0,45	52,08	0,68	29,10	6,77	6,77	
16	61,60	1,03	2,08	0,42	36,62	0,59	61,08	1,78	29,65	6,69	6,69	

### C. Valores-p en variación de textura

**Tabla C.1.** Valores-p calculado en ANOVA para las condiciones de procesamiento con Sacarosa.

Condición/Factor	FNP	WNP
<i>Valor-p</i>		
DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento	0	0
DO 20°C_40 °Bx. Tiempo	0	0
DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento	0	0
DO 20°C_60 °Bx. Tiempo	0	0
DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento	0	0
DO 40°C_40 °Bx. Tiempo	0	0
DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento	0	0
DO 40°C_60 °Bx. Tiempo	0	0

**Tabla C.2.** Valores-p calculado en ANOVA para las condiciones de procesamiento con jarabe de glucosa.

Condición/Factor	FNP	WNP
<i>Valor-p</i>		
DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento	0	0
DO 20°C_40 °Bx. Tiempo	0	0
DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento	0	0
DO 20°C_60 °Bx. Tiempo	0	0,0001
DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento	0	0
DO 40°C_40 °Bx. Tiempo	0	0
DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento	0	0,0002
DO 40°C_60 °Bx. Tiempo	0	0

**Tabla C.3.** Valores-p calculado en ANOVA para las condiciones de procesamiento con maltodextrina.

Condición/Factor	FNP	WNP
	<i>Valor-p</i>	
<b>DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0	0
<b>DO 20°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0	0
<b>DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0	0
<b>DO 20°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0	0,0002
<b>DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0	0
<b>DO 40°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0	0
<b>DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0	0
<b>DO 40°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0,0009	0

#### D. Valores-p en variación de color

**Tabla D.1.** Valores-p calculado en ANOVA para las condiciones de procesamiento con Sacarosa.

Condición/Factor	$\Delta E$
	<i>Valor-p</i>
<b>DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 20°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0
<b>DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 20°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0
<b>DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 40°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0
<b>DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 40°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0

**Tabla D.2.** Valores-p calculado en ANOVA para las condiciones de procesamiento con jarabe de glucosa.

Condición/Factor	$\Delta E$
	<i>Valor-p</i>
<b>DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 20°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0
<b>DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 20°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0
<b>DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 40°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,0005
<b>DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 40°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0

**Tabla D.3.** Valores-p calculado en ANOVA para las condiciones de procesamiento con maltodextrina.

Condición/Factor	$\Delta E$
	<i>Valor-p</i>
<b>DO 20°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 20°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0,0173
<b>DO 20°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 20°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0
<b>DO 40°C_40 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 40°C_40 °Bx. Tiempo</b>	0
<b>DO 40°C_60 °Bx. Recubrimiento</b>	0
<b>DO 40°C_60 °Bx. Tiempo</b>	0

**E. Planilla evaluación sensorial****NOMBRE:****EDAD:****FECHA:****HOJA DE RESPUESTAS PARA COMPARACIÓN DE PARES**

Usted va a recibir tres muestras de cubos de peras deshidratados osmóticamente. Por favor, enjuagarse la boca con agua antes de comenzar. Pruebe la muestra control (S), enjuague su boca nuevamente y a continuación pruebe la muestra 486. Compárelas respecto de los atributos:

“Apariencia”: Juzga el color del producto y otras propiedades de apariencia tales como la forma física (forma, tamaño y textura de la superficie) y las propiedades ópticas (brillo, etc.).

“Firmeza”: Cantidad de resistencia a la compresión ofrecida por la muestra, cuando se comprime entre los molares.

“Dulzor”: Intensidad de dulzor.

Marque con una cruz la intensidad de la diferencia que percibe para cada atributo, con respecto al control.

**DIFERENCIA RESPECTO DE LA APARIENCIA****Muestra 486**

SIN DIFERENCIAS	LEVE	MODERADA	MARCADA	INTENSA
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**DIFERENCIA RESPECTO DE LA FIRMEZA****Muestra 486**

SIN DIFERENCIAS	LEVE	MODERADA	MARCADA	INTENSA
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**DIFERENCIA RESPECTO DEL DULZOR****Muestra 486**

SIN DIFERENCIAS	LEVE	MODERADA	MARCADA	INTENSA
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



A continuación, enjuagarse la boca con agua antes de comenzar, pruebe la muestra control nuevamente (S), enjuague su boca nuevamente y luego pruebe la muestra 637. Compárelas respecto de los atributos: “apariencia”, “firmeza” y “dulzor” marque con una cruz la intensidad de la diferencia que percibe para cada atributo.

**DIFERENCIA RESPECTO DE LA APARIENCIA**

**Muestra 637**

SIN DIFERENCIAS	LEVE	MODERADA	MARCADA	INTENSA
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**DIFERENCIA RESPECTO DE LA FIRMEZA**

**Muestra 637**

SIN DIFERENCIAS	LEVE	MODERADA	MARCADA	INTENSA
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**DIFERENCIA RESPECTO DEL DULZOR**

**Muestra 637**

SIN DIFERENCIAS	LEVE	MODERADA	MARCADA	INTENSA
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Para cada atributo evaluado indique cuál o cuáles muestras prefiere. (Incluyendo el control)

Apariencia Muestra N°.....

Firmeza Muestra N°.....

Dulzor Muestra N°.....

Marque con una cruz donde usted considere que se encuentra su preferencia respecto a la aceptación general para cada una de las muestras.

**Muestra 486**

Disgusta mucho	Disgusta levemente	Indiferente	Gusta levemente	Gusta mucho
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Muestra 637**

Disgusta mucho    Disgusta levemente    Indiferente    Gusta levemente    Gusta mucho

**OBSERVACIONES:**

---

---

**¡MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!**