



Doctorado en Ciencia y Tecnología de los  
Alimentos

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Agronomía y Agroindustria

## **TESIS DOCTORAL**

**“Deshidratación osmótica y envasado en  
atmósferas modificadas de anco (*Cucurbita  
moschata*) mínimamente procesado”**

**Ing. María Florencia Kvapil**

Directora: Dra. Ana G. Qüesta  
Co-Directora: Dra. Silvia del C. Rodríguez

Santiago del Estero, Marzo de 2019

## **COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE TESIS**

-----  
Dra. Sonia Sgroppo  
(UNNE)

-----  
Dr. Rodolfo H. Mascheroni  
(UNLP – CONICET)

-----  
Dra. Ana G. Qüesta  
(UNSE)  
Directora de Tesis

-----  
Dra. Silvia del C. Rodríguez  
(UNSE)  
Codirectora de Tesis

## **TRIBUNAL EXAMINADOR**

-----  
Dra. Sonia Sgroppo  
(UNNE)

-----  
Dra. Ing. Laura Campañone  
(CIDCA-UNLP)

-----  
Dra. Silvina Generoso  
(UNSE)

Esta tesis está dedicada a mi hija Malena, por el tiempo restado de su atención, y a mi abuela Amalia, que desde el cielo me guía en mi camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Deseo expresar mi agradecimiento a los que hicieron posible la culminación de mi tesis, ya que durante el largo recorrido de esta carrera fueron muchas personas que me acompañaron y ayudaron de una u otra manera. En especial a mi directora Gabi, por su tiempo, paciencia y enseñanzas. A mi codirectora Silvia, por los aportes brindados, también al Dr. Mascheroni, que desde la distancia me dedicó su valioso tiempo. Agradezco al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), por haberme otorgado una beca con la que pude realizar este doctorado. A los chicos del grupo de trabajo: Diego, Cati, Pablo, Laura. A mi amigo Ricardo, que estuvo cuando necesité de su ayuda, a mi compañera y amiga Marta. A mi familia, padres, hermanos, abuelo y tías y a mi familia política, en especial a mis queridas hermanas.**

**Y finalmente a Lucas, mi compañero de la vida, que me apoyó incondicionalmente.**

**ÍNDICE GENERAL**

<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	3
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	4
<b>LISTA DE TABLAS</b>	7
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	
1. Zapallo Anco	9
1.1. Aspectos generales	9
1.2. Producción y comercialización en Argentina	10
2. Vegetales mínimamente procesados	12
2.1. Generalidades	12
2.2. Factores que afectan la calidad	14
2.3. Tecnologías de conservación	15
2.4. Anco mínimamente procesado	17
3. Deshidratación osmótica	21
3.1. Generalidades	21
3.2. Ventajas y desventajas	23
3.3. Modelado matemático	24
<b>OBJETIVOS</b>	
1. Objetivo general	28
2. Objetivos específicos	28
<b>CAPÍTULO I: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANCO CON SOLUCIONES DE SACAROSA</b>	
I.1. Introducción	30
I.2. Objetivos	33
I.2.1. Objetivo general	33
I.2.2. Objetivos específicos	33

I.3. Materiales y métodos	34
I.3.1. Material vegetal	34
I.3.2. Deshidratación osmótica	34
I.3.3. Parámetros de transferencia de masa	36
I.3.4. Modelado empírico de la DO	36
I.3.5. Parámetros fisiológicos y físico-químicos	38
I.3.5.1. Actividad de agua	38
I.3.5.2. Intensidad respiratoria	38
I.3.5.3. Color	39
I.3.6. Análisis sensorial	40
I.3.7. Análisis estadísticos	41
I.4. Resultados y discusión	43
I.4.1. Cinética de DO	43
I.4.2. Modelado empírico de la DO	51
I.4.3. Parámetros fisiológicos y físico químicos	54
I.4.3.1. Actividad de agua	54
I.4.3.2. Intensidad respiratoria	55
I.4.3.3. Color	58
I.4.4. Análisis sensorial	61
I.5. Conclusiones	63
<b>CAPÍTULO II: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANCO CON SOLUCIONES TERNARIAS Y CUATERNARIAS</b>	
II.1. Introducción	66
II.2. Objetivos	69
II.2.1. Objetivo general	69
II.2.2. Objetivos específicos	69
II.3. Materiales y métodos	70
II.3.1. Materia prima	70
II.3.2. Proceso de DO	70
II.3.2.1. Cinética de DO	71
II.3.3. Modelado empírico de la DO	71
II.3.4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	71
II.3.4.1. Actividad de agua	71
II.3.4.2. Firmeza	71
II.3.4.3. Análisis microbiológicos	73
II.3.5. Análisis sensorial	73

II.3.6. Análisis estadísticos	74
II.4. Resultados y discusión	75
II.4.1. Cinética de DO	75
II.4.1.1. Efecto del agregado de NaCl	75
II.4.1.2. Efecto del agregado de lactato de calcio	80
II.4.2. Modelado empírico de la DO	81
II.4.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	85
II.4.3.1. Actividad de agua	85
II.4.3.2. Firmeza	86
II.4.3.3. Recuentos microbiológicos	88
II.4.4. Análisis sensorial	88
II.5. Conclusiones	91
<b>CAPÍTULO III: VIDA ÚTIL DE ANCO MÍNIMAMENTE PROCESADO</b>	
III.1. Introducción	93
III.2. Objetivos	95
III.2.1. Objetivo general	95
III.2.2. Objetivos específicos	95
III.3. Materiales y métodos	96
III.3.1. Preparación de las muestras	96
III.3.2. Selección de la película de envasado	96
III.3.3. Condiciones de almacenamiento	98
III.3.4. Determinaciones de parámetros fisiológicos y fisicoquímicos	98
III.3.4.1. Intensidad respiratoria	98
III.3.4.2. Composición de gases de la atmósfera de envasado	98
III.3.4.3. Firmeza	99
III.3.4.4. Color	99
III.3.5. Compuestos bioactivos	99
III.3.5.1. Preparación de los extractos	99
III.3.5.2. Capacidad antioxidante	100
III.3.5.2.1. Método DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil)	100
III.3.5.2.2. Método FRAP (2,4,6-tripiridil-S-triazina-TPTZ)	100
III.3.5.3. Fenoles totales	101
III.3.6. Análisis microbiológicos	101
III.3.7. Análisis sensorial	101
III.3.8. Análisis estadísticos	102
III.4. Resultados y discusión	103

III.4.1. Selección de la película plástica	103
III.4.2. Determinación de parámetros fisiológicos y fisicoquímicos	105
III.4.2.1. Intensidad respiratoria	105
III.4.2.2. Composición de los gases de la atmósfera de envasado	106
III.4.2.3. Firmeza	108
III.4.2.4. Color	109
III.4.3. Compuestos bioactivos	111
III.4.3.1. Capacidad antioxidante	111
III.4.3.2. Fenoles Totales	112
III.4.4. Análisis microbiológicos	113
III.4.5. Análisis sensorial	115
III.5. Conclusiones	117
<b>DISCUSIÓN GENERAL</b>	119
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	128
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	131



## RESUMEN

El zapallo es una hortaliza tradicional en Argentina de gran importancia económica, social y alimenticia. Dentro de las especies, se encuentra *Cucurbita moschata* (Duchesne ex Poiret), conocida también como zapallo anco, anco, anquito o calabacita, que es el más consumido en la Argentina y el resto de los países latinoamericanos. Los vegetales mínimamente procesados (VMP) presentan características organolépticas y nutricionales similares a las frutas y hortalizas frescas y tienen la ventaja de ser fáciles de utilizar por el consumidor por lo que resulta una alternativa atractiva para este vegetal. Sin embargo, estos productos poseen la desventaja de ser más perecederos y, por ello, se utilizan procesos de conservación bajo el concepto de tecnología de barreras que implica la combinación de métodos para asegurar la estabilidad y seguridad microbiana tales como la atmósfera modificada y la deshidratación osmótica (DO). La DO es un proceso de transferencia de masa en contracorriente en el cuál el soluto fluye hacia el alimento mientras que el agua es eliminada de éste cuando se sumerge en una solución hipertónica. Este fenómeno es impulsado por la diferencia de presión osmótica y permite una deshidratación parcial.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación de tecnologías de barrera (deshidratación osmótica y atmósferas modificadas) en la vida útil de anco (*Cucurbita moschata*) mínimamente procesado. Para ello se estudió la cinética de deshidratación de cubos de anco y se analizó la influencia de los factores que determinan la velocidad del proceso, ajustando los datos obtenidos a modelos matemáticos preestablecidos. Además, se seleccionó el sistema de envasado en atmósfera modificada más conveniente y se analizó el efecto combinado de las dos tecnologías en la vida útil del anco mínimamente procesado.

Para estudiar la cinética de DO se tuvieron en cuenta los siguientes factores: tamaño del producto (cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm de lado), concentración de la solución osmódeshidratante (sacarosa - 45, 55 y 65°Bx), el agregado de cloruro de sodio (1 y 2%) y el agregado de lactato de calcio (2%). Se modelaron los parámetros de transferencia de masa y se midió el efecto de la deshidratación en el color, la actividad de agua, la intensidad respiratoria, la textura realizándose, además, evaluaciones sensoriales. Con los resultados obtenidos se seleccionaron las condiciones de proceso y

la película más apropiados para su almacenamiento. Se investigó la incidencia de los tratamientos en la evolución de: textura, intensidad respiratoria, color, capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales complementándose el estudio con análisis microbiológicos y sensoriales para determinar su vida útil.

Los cubos de 1,0 cm, deshidratados durante 3 horas con solución ternaria de sacarosa (55°Bx) y cloruro de sodio (2%), fueron los más adecuados y el agregado de lactato de calcio no modificó su textura. Los datos experimentales ajustaron muy bien a los modelos de Azuara, Peleg y Hawkes y Flink. Para el almacenamiento en atmósfera modificada, se seleccionó el polipropileno (PP) y se concluyó que los cubos de anco deshidratados mínimamente procesados prolongan su vida útil en 5 días resultando el recuento de microorganismos el parámetro limitante a los 15 días ya que los puntajes de calidad global tuvieron valores superiores al límite fijado.

## ABSTRACT

Pumpkin is a traditional vegetable in Argentina of great economic, social and nutritional importance. Among the species, *Cucurbita moschata* (Duchesne ex Poiret), is the most consumed in Argentina and the rest of Latin American countries. The minimally processed vegetables (MPV) are similar to fresh and easy to use by the consumer, which makes them an attractive alternative. However, these products are more perishable so that the hurdles technology, such modified atmosphere and osmotic dehydration (OD), are used to ensure microbial stability and safety. OD is a countercurrent mass transfer process in which the solute flows into the food while the water is removed when vegetables are immersed into hypertonic solutions and allows partial dehydration.

The aim of this work was to study the effect of barrier technologies (osmotic dehydration and modified atmospheres) on the shelf- life of minimally processed anco (*Cucurbita moschata*). The dehydration kinetics and the process variables were studied and mathematical models were tested. The most convenient modified atmosphere was selected and the combined effect on the self-life of the minimally processed anco was analyzed.

Product size (cubes of 0.5, 1.0 and 1.5 cm), sucrose concentrations (45, 55 and 65°Bx), sodium chloride (1 and 2%) and calcium lactate (2%) additions were analyzed. The mass transfer kinetics were modeled; color, water activity, respiratory intensity, texture were measured and sensory evaluations were also carried out. With the best process conditions, the most appropriate film for storage was selected. The incidence of the treatments in the evolution of: texture, respiratory intensity, color, antioxidant capacity and total phenols were investigated and microbiological and sensory analyses were done to determine its self-life.

Cubes of 1.0 cm, dehydrated for 3 hours with ternary solution of sucrose and sodium chloride (55°Bx - 2%), were the most appropriate and calcium lactate not changed its texture. The experimental data adjusted very well to Azuara, Peleg and Hawkes & Flink's models. Polypropylene (PP) was selected for the storage. Minimally processed dehydrated anco cubes prolong their shelf-life in 5 days; microbial growth limits the shelf-life for 15 days since its global quality remained above the fixed limit.

---

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Detalle del interior del fruto de un cultivar de *Cucúrbita moschata*.
- Figura 2:** Anco acondicionado en bolsas de polipropileno y cajones de madera.
- Figura 3:** Deshidratación interna del fruto de zapallo a 5 meses de conservación del mismo.
- Figura 4:** Bandeja de zapallo en rodajas (IV Gama).
- Figura 5:** Mezcla de rúcula cortada y anco rallado mínimante procesado.
- Figura 6:** Representación esquemática del material celular y patrón de transferencia de masa.
- Figura I.1:** Cubos de anco en canasta metálica (a) sumergidos en solución osmodeshidratante (b) en baño termostático (c).
- Figura I.2:** Muestras de anco frescas y osmotizadas confinadas en recipientes herméticos (a) y medición de CO<sub>2</sub> generado con analizador de gases portátil (b).
- Figura I.3:** Muestras de cubo de anco de 0,5, 1,0 y 1,5 cm (a) y modelo de boleta utilizada (b) en la prueba de preferencia.
- Figura I.4:** Juez entrenado realizando la prueba de triángulo (a) con el modelo de boleta utilizado (b).
- Figura I.5:** Pérdida de peso de cubos de anco de diferentes tamaños sometidos a DO en solución de sacarosa 55°Bx (a) y 65°Bx (b).
- Figura I.6:** Pérdida de peso para cubos de 1,5 cm en diferentes soluciones de sacarosa.
- Figura I.7:** Pérdida de agua de cubos de diferentes tamaños tratadas en solución de sacarosa 55°Bx (a) y 65°Bx (b).
- Figura I.8:** Pérdida de agua de cubos de 0,5 (a) y 1,0 cm (b) en soluciones de sacarosa de diferente concentración.
- Figura I.9:** Ganancia de sólidos para muestras de diferentes tamaños en solución de 55 (a) y 65°Bx (b).
- Figura I.10:** Ganancia de sólidos para cubos de 1,0 cm en soluciones de sacarosa de diferentes concentraciones.
- Figura I.11:** Efecto del tamaño sobre la actividad de agua en cubos deshidratados en solución de sacarosa 45 (a), 55 (b) y 65°Bx (c).
- Figura I.12:** Variación de la IR después del corte de cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm.
- Figura I.13:** Variación de la IR de cubos de anco almacenados a diferentes temperaturas.
- Figura I.14:** Intensidad respiratoria de anco fresco y deshidratado osmóticamente de 0,5 (a), 1,0 (b) y 1,5 cm (c) en solución de sacarosa 55°Bx.
- Figura I.15:** Valores de L\* relativos a sus valores iniciales para anco de diferentes tamaños deshidratado en soluciones de sacarosa.

- Figura I.16:** Valores de  $a^*$  (a) y  $b^*$  (b) relativos a sus valores iniciales para anco de diferentes tamaños deshidratado en soluciones de sacarosa.
- Figura I.17:** Valores de  $C^*$  relativos a sus valores iniciales para anco de diferentes tamaños deshidratado en soluciones de sacarosa.
- Figura II.1:** Medición de firmeza de anco por compresión con analizador TA.XT Plus.
- Figura II.2:** Preparación de diluciones de muestras de anco (izquierda) y homogeneización (derecha) para recuentos microbiológicos.
- Figura II.3:** Pérdida de peso (%) durante la deshidratación osmótica de cubos de anco de cubos de 1,0 cm (líneas llenas) y 1,5 cm (líneas cortadas) en soluciones binarias y ternarias de sacarosa de 45 (a) y 55°Bx (b).
- Figura II.4:** Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de cubos de anco de 1,0 cm (líneas llenas) y 1,5 cm (líneas cortadas) en soluciones binarias y ternarias de sacarosa de 45 (a) y 55°Bx (b).
- Figura II.5:** Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de cubos de anco de 1,0 cm (líneas llenas) y 1,5 cm (líneas cortadas) en soluciones binarias y ternarias de sacarosa de 45 (a) y 55°Bx (b).
- Figura II.6:** Índice WL/GS de la DO de muestras de 1,0 (a) y 1,5 cm (b) en soluciones binarias y ternarias.
- Figura II.7:** Valores de  $a_w$  en anco de 1,0 cm sometido a diferentes soluciones osmóticas.
- Figura II.8:** Valores de  $a_w$  para cubos deshidratados de 1,0 (barras llenas) y 1,5 cm (barras tramadas) en solución binaria y ternaria de sacarosa/cloruro de sodio.
- Figura III.1:** Preparación de cubos de anco para el estudio de almacenamiento.
- Figura III.2:** Bandejas con anco mínimamente procesado, fresco y deshidratado, recubiertas con PP (a) y almacenamiento de las mismas en refrigeración (b).
- Figura III.3:** Homogeneización de muestra con metanol (a) y filtración luego del almacenamiento (b) para determinación de compuestos bioactivos.
- Figura III.4:** Recuento de aerobios mesófilos totales, psicrófilos y mohos y levaduras durante el almacenamiento refrigerado de anco mínimamente procesado con diferentes tratamientos osmóticos y películas plásticas.
- Figura III.5:** Intensidad respiratoria de anco fresco y deshidratado durante el almacenamiento refrigerado.
- Figura III.6:** Evolución de concentración de oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) en el interior de bandejas almacenadas en refrigeración.
- Figura III.7:** Esfuerzo máximo durante el almacenamiento de anco fresco y deshidratado.
- Figura III.8:** Parámetros de color  $L^*$  (a),  $a^*$ (b) y  $Croma^*$  (c) para muestras frescas y deshidratadas durante el almacenamiento refrigerado.
- Figura III.9:** Capacidad antioxidante durante el almacenamiento de anco fresco por el método de DPPH y FRAP.
- Figura III.10:** Capacidad antioxidante durante el almacenamiento de anco con DO por el método de DPPH y FRAP.

- Figura III.11:** Fenoles Totales durante el almacenamiento de anco fresco y con tratamiento osmótico.
- Figura III.12:** Recuento de aerobios mesófilos durante el almacenamiento de anco fresco y con DO, mínimamente procesado.
- Figura III.13:** Recuento de aerobios psicrófilos durante el almacenamiento de anco fresco y con DO, mínimamente procesado.
- Figura III.14:** Recuento de Mohos y levaduras durante el almacenamiento de anco fresco y con DO, mínimamente procesado.
- Figura III.15:** Valores de calidad global resultantes del análisis sensorial para anco fresco y con DO durante el almacenamiento refrigerado.

---

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1:** Ventajas y desventajas de los VMP.
- Tabla 2:** Métodos usados para la conservación de VMP.
- Tabla 3:** Clasificación de modelos para predecir la transferencia de masa en DO.
- Tabla I.1:** Valores del índice WL/SG para los tamaños ensayados con las distintas soluciones de sacarosa.
- Tabla I.2:** Valores de coeficiente de difusión y de ajustes de los datos experimentales a los modelos de Azuara y Hawkes y Flink
- Tabla I.3:** Coeficientes y parámetros de ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg.
- Tabla I.4:** Depresión de actividad de agua ( $\Delta a_w$ ) para los diferentes tratamientos osmóticos aplicados.
- Tabla II.1:** Descripción de la composición de las soluciones osmóticas utilizadas.
- Tabla II.2:** Planilla de evaluación de muestras con diferentes tratamientos utilizando el Test de Puntaje Compuesto.
- Tabla II.3:** WL y GS para tratamientos con sacarosa, con y sin el agregado de Cloruro de sodio y/o Lactato de calcio.
- Tabla II.4:** Coeficientes de difusión de agua y sólidos obtenidos con los modelos de Azuara y Hawkes y Flink para cubos de anco deshidratados osmóticamente.
- Tabla II.5:** Coeficientes de difusión de agua y sólidos obtenidos con el modelo de Peleg para cubos de anco deshidratados osmóticamente.
- Tabla II.6:** Valores de esfuerzo máximo de anco sometido a diferentes soluciones osmóticas.
- Tabla II.7:** Valores módulo de Young y trabajo con el tiempo de DO para las diferentes tratamientos osmóticos de anco.
- Tabla II.8:** Recuento microbiológico luego de 7 y 10 días de almacenamiento de muestras con diferentes tratamientos.
- Tabla II.9:** Puntajes obtenidos de la prueba sensorial para cubos de anco con DO en diferentes soluciones durante 10 días de almacenamiento.
- Tabla III.1:** Tratamientos aplicados para la selección de la película plástica.
- Tabla III.2:** Características de las películas plásticas usadas para VMP.

# **INTRODUCCIÓN**

## **GENERAL**



## 1. Zapallo anco

### 1.1. Aspectos generales

El zapallo, originario de América, pertenece al género *Cucurbita* spp. encontrándose dentro de la familia *Cucurbitaceae*. Las especies más comunes son *Cucurbita máxima*, *Cucurbita moschata* y *Cucurbita pepo* las cuales se caracterizan por un gran polimorfismo de las plantas y frutos (Pevicharova & Velkov, 2017).

Debido a su mayor resistencia a enfermedades, menor tamaño de los frutos, mejor conservación y por las nuevas tendencias del mercado, los cultivares de *C. moschata* han tenido una cierta incidencia en el desplazamiento del zapallo criollo (*C. máxima*) y angola (*C. pepo*) (Della Gaspera, 2013).

Con respecto a la morfología, los frutos de *Cucurbita máxima* se distinguen por ser globulares y transversalmente elípticos, mientras que los de *Cucurbita moschata* poseen formas de pera o cilíndricas; el color de la cáscara varía entre blanco y naranja mientras que en la pulpa predomina el color naranja y, en algunos casos, el amarillo (Pevicharova & Velkov, 2017).

Dentro de la especie *Cucurbita moschata*, el cultivar tipo Butternut llamado comúnmente anquito, zapallo anco, anco (nombre adoptado en esta tesis) o calabacita (Fig. 1), es el más consumido en la Argentina y el resto de los países latinoamericanos debido a su sabor y versatilidad para desarrollar alimentos dulces o salados (de Escalada Plá *et al.*, 2005). Por su valor nutricional, el zapallo Butternut fue incluido en el listado de alimentos prioritarios que garantizan una dieta balanceada en los humanos y, según la Food and Agriculture Organization (FAO), forma parte de la canasta básica de alimentos en Colombia (Vásquez Gamboa *et al.*, 2017).

Bellocq (2012) describe el zapallo anco como una hortaliza cuya pulpa es rica en agua, fibra, vitaminas B<sub>2</sub>, C y E y con un destacado aporte de betacarotenos (provitamina A), que le confieren su característico color anaranjado, entonces su consumo contribuye a prevenir el daño originado por los radicales libres gracias al carácter antioxidante de estos colorantes naturales. Además, el organismo transforma la provitamina A en vitamina A, a medida que éste la necesita, para evitar la disminución de la agudeza visual o trastornos de la visión de origen rutinario. Esta autora, asimismo,

destaca entre las propiedades del anco su acción emoliente (suavizante) y protectora de la mucosa del estómago, el efecto diurético debido a su elevado contenido de agua y potasio, y su escaso contenido de sodio por lo que su consumo resulta recomendable en caso de retención de líquidos, trastornos renales y cardiovasculares o hipertensión arterial.

En síntesis, el anco es un alimento de contenido energético bajo, de alto consumo, de bajo costo, fácil de almacenar e ideal para consumir en una gran variedad de platos y, por consiguiente, muy indicado en dietas de bajas calorías. Así, Della Gaspera (2018) indica que el consumo de este producto en nuestro país es de 22 kg *per cápita* por año y es consumido por todos los estratos sociales debido a sus bondades alimenticias y su excelente sabor.



Figura 1: Detalle del interior del fruto de un cultivar de *Cucurbita moschata*.  
Fuente: Corporación del Mercado Central de Buenos Aires, 2017.

### 1.2. Producción y comercialización en Argentina

El cultivo de anco en nuestro país se encuentra difundido de norte a sur siendo Santiago del Estero, Córdoba, Tucumán, Santa Fe, Mendoza y Buenos Aires las principales provincias productoras. El principal destino de la producción nacional es el

mercado interno y se comercializa en bolsas de polipropileno de malla abierta (envase mayoritario) y en cajones de madera, tal como se observa en la Fig. 2 (Della Gaspera, 2013).



Figura 2: Anco acondicionado en bolsas de polipropileno y cajones de madera.  
Fuente: Della Gaspera, 2013.

Las ventas, en general, se realizan en el campo y en el momento de la cosecha; sin embargo, en zonas de climas secos es posible realizar el acopio y conservarlos durante 6 o 7 meses llegando con zapallos hasta mediados del mes de noviembre (Della Gaspera, 2013). Almacenamiento más prolongado producen la deshidratación de los frutos y la aparición de defectos siendo los más comunes el agrietamiento y arrugado de la cáscara y, aun en aquellos frutos que exteriormente son normales, el ahuecado y ablandamiento de la pulpa (Fig. 3) (Della Gaspera, 2013).



Figura 3: Deshidratación interna del fruto de zapallo a 5 meses de conservación del mismo.  
Fuente: Manual del cultivo del zapallo anquito (Della Gaspera, 2013)

Según datos proporcionados por la Corporación del Mercado Central de Buenos Aires (CMCBA) (2018), la oferta de zapallos en el MCBA alcanzó un volumen de 35.762,5 Tn en 2017, ocupando el 4° lugar de ingresos en los últimos 5 años, con un aporte relativo del 6,7 % al total de hortalizas ofertadas; la principal participación de esta oferta la constituyen los zapallos provenientes de Mendoza (47,6 %) y Buenos Aires (17%) encontrándose en 3° lugar Santiago del Estero con un 9,9%. Del total de la oferta, aproximadamente el 67% corresponde a zapallo anco.

## 2. Vegetales mínimamente procesados

### 2.1. Generalidades

Existe evidencia científica, de origen epidemiológico y clínico en poblaciones humanas y de tipo experimental en animales, que sustenta el valor de las frutas y verduras en la dieta humana (Valencia y Robles-Sardín, 2005). Sin embargo, en nuestro país el consumo es la mitad de los 400 g de frutas y hortalizas por día y por persona recomendado por la FAO y por la Organización Mundial de la Salud (OMS) debido al tiempo prolongado que requiere su preparación y cocción (Parzanese, 2012).

Por otra parte, el acelerado ritmo de vida, la inclusión de la mujer en la fuerza laboral, los consumidores más conscientes de la necesidad de una alimentación sana, la menor disponibilidad de tiempo para la preparación de comidas saludables, entre

algunos factores, hizo que los vegetales mínimamente procesados (VMP) surjan como alternativa para atenuar este fenómeno (Alonso y Chiesa, 2009).

Wiley y Yildiz (2017) definen las frutas y hortalizas mínimamente procesadas como aquellas sometidas a una o varias operaciones unitarias como pelado, rallado, rebanado, exprimido, etc. proporcionando un tratamiento de conservación parcial que puede incluir un calentamiento ligero, el agregado de conservantes o radiación; además, estos tratamientos de barrera pueden incluir el control del pH, antioxidantes, inmersión en agua clorada o combinaciones de éstos.

En nuestro país, los VMP se definen en el Artículo 925 tris - Capítulo XI Alimentos Vegetales del Código Alimentario Argentino (CAA), como aquellas hortalizas y frutas frescas, limpias peladas enteras y/o cortadas, cuyo mínimo procesamiento permite mantener sus propiedades naturales y tornarlas fáciles de utilizar por el consumidor ya sea para consumo directo crudo o para preparaciones culinarias, las que se presentarán envasadas.

Numerosos autores reseñaron las ventajas y desventajas de los VMP (Alonso y Chiesa, 2009; Sillani y Nassivera, 2015; Ramos *et al.*, 2013; Castro-Ibañez *et al.*, 2017; Wiley y Yildiz, 2017; Parzanese, 2012, entre otros) las que se resumen en la Tabla 1.

El mercado de estos productos en nuestro país es aún reducido; los principales compradores se encuentran en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en los partidos de la zona norte comercializándose el 60-70% a través de supermercados y el 35% en el canal de distribución HoReCa (hoteles, restaurantes y servicio de catering) (Rodríguez *et al.*, 2016). Según Alonso y Chiesa (2009) representan el 8,9% de la venta de frutihortícolas en supermercados e hipermercados y el 39,3% de la venta se concentra en el 15% de las bocas de expendio de mayor nivel adquisitivo.

En la provincia de Santiago del Estero, por su parte, se ofrecen principalmente en el mercado de vegetales minorista ubicado en el centro de la ciudad Capital y en los supermercados distribuidos en la provincia (Rodríguez *et al.*, 2016).

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los VMP.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producto listo para consumo o de preparación rápida y fácil.</li> <li>• Reemplazan métodos tradicionales de conservación.</li> <li>• Proporcionan una gran variedad de vitaminas, minerales y otros fitoquímicos, importantes para la salud humana.</li> <li>• Se presentan en las góndolas de manera atractiva.</li> <li>• Representan una opción de agregado de valor para productos frutihortícolas regionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mayoría de las materias primas tienen producción estacional.</li> <li>• Son más perecederos que el vegetal de origen.</li> <li>• Es necesario mantener el producto a temperatura de refrigeración en todas las etapas del proceso, almacenamiento, comercialización y distribución.</li> </ul>

## 2.2. Factores que afectan la calidad

La durabilidad de un vegetal mínimamente procesado es extremadamente baja con respecto al entero, ya que en la superficie de corte las células y la membrana celular son destruidos y ocurren alteraciones en el metabolismo celular (Vitti, 2003, citado por Sasaki, 2006). Así, si bien la vida útil de los productos de origen puede alcanzar semanas o meses, la de los VMP ronda los 4 a 7 días (Ramos *et al.*, 2013).

La principal manifestación fisiológica como respuesta al estrés por ruptura del tejido vegetal es el incremento de la intensidad respiratoria (IR) y, en algunos casos, la producción de etileno (Varoquaux y Wiley, 2017). La IR se puede incrementar de 1,2 a 7 veces o más, dependiendo del producto, del grado de corte y de la temperatura. Además, las condiciones de envasado a muy bajas concentraciones de oxígeno, pueden permitir la respiración anaeróbica y, por lo tanto, la formación de etanol, acetonas y aldehídos. Cuanto mayor es la superficie de exposición de los tejidos y la temperatura, mayor es la tasa de respiración tal como lo reportaron Sasaki (2006); Iqbal *et al.*, (2008), entre otros.

Otras alteraciones que producen la pérdida de calidad de los VMP que se pueden citar son: ablandamiento, pardeamiento enzimático, oxidación de lípidos, acumulación de metabolitos secundarios que provocan alteraciones en el sabor y/o aroma, y aumentos en la síntesis de lignina y suberina, entre otros (Silveira, 2017). En general, estas reacciones bioquímicas se deben a la acción de enzimas que causan deterioros

sensoriales como sabores no característicos, pérdida de firmeza y cambios de color (Varoquaux y Wiley, 2017). Por ejemplo, las principales enzimas responsables del pardeamiento enzimático son la polifenoloxidasas (PPO) y la peroxidasa (POD) (Dario Vitti *et al.*, 2011) mientras que la lipoxigenasa es la principal responsable de la formación de olores no característicos en guisantes, judías y maíz (Terefe *et al.*, 2014).

Por otra parte, dado que los VMP son ricos en carbohidratos, con valores de pH que van desde 7,0 hasta ligeramente ácidos y poseen valores altos de actividad de agua, constituyen hábitats adecuados para el desarrollo de bacterias, levaduras y hongos (Ramos *et al.*, 2013). El tipo y número de microorganismos y sus enzimas son importantes no solo desde el punto de vista de la calidad de estos productos sino también de la salud humana (Temiz y Ayhan, 2017).

### **2.3. Tecnologías de conservación**

Según Wiley (2017), los métodos de conservación para prolongar la vida útil de VMP pueden incluir calor (tratamientos de calor suave seguido de enfriamiento rápido), preservación química (acidulantes, antioxidantes, cloro, antimicrobianos y similares), conservación en atmósfera modificada, refrigeración, irradiación y, en algunos casos, la reducción de la humedad al disminuir la actividad del agua ( $a_w$ ). La refrigeración es la herramienta más efectiva y conveniente para mantener las propiedades organolépticas, reducir el deterioro por microorganismos y extender su vida útil (Francis *et al.*, 2012; Inestroza-Lizardo *et al.*, 2015). Sin embargo, en los últimos 20-30 años, se realizaron importantes desarrollos de tecnologías simples basados en el efecto barrera. La conservación bajo este concepto se basa en la aplicación de factores de estrés individuales suaves para controlar el crecimiento microbiano (Alzamora *et al.*, 1993) tales como la disminución del pH, la inclusión de agentes antimicrobianos y el calentamiento moderado (Genina Soto, 2002).

Existen numerosos métodos químicos y físicos que probaron ser eficientes o moderadamente eficientes para la reducción de la microflora indígena y patógenos contaminantes. Ramos *et al.*, (2013) los clasifica en métodos químicos y físicos, cuyo resumen se presenta en la Tabla 2, mencionando que el mejor método es ante todo

prevenir la contaminación. Goodburn y Wallace (2013) incluyen, además, el control biológico y el empleo de aceites esenciales como nuevas tecnologías emergentes.

Tabla 2. Métodos usados para la conservación de VMP.

Métodos	
Químicos	Cloro (Hipoclorito)
	Dióxido de cloro (acuoso o gaseoso)
	Clorito de sodio acidificado
	Bromo
	Yodo
	Fosfato trisódico
	Compuestos de amonio cuaternario
	Ácidos orgánicos (láctico, cítrico, acético, tartárico o ascórbico)
	Peróxido de Hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
	Ácido Peroxiacético
	Soluciones a base de Calcio
	Ozono (acuoso o gaseoso)
	Agua Electrolizada (EW)
Físicos	Envasado en atmósferas modificadas (MAP)
	Envasado Activo e Inteligente (A&I)
	Envasado con Nanocompuestos
	Irradiación
	Luz Ultravioleta (UV)
	Luz Pulsada (PL)
	Procesamiento con Altas Presiones (HPP)
	Ultrasonido (US)
Plasma Frío	

Fuente: Adaptado de Ramos *et al.*, 2013.

De los métodos químicos mencionados, sin duda, el lavado con cloro es el más empleado por su bajo costo y fácil disponibilidad. Generalmente se usa en concentraciones que van desde 50 a 200 ppm con tiempos de contacto menores a 5 min (Artés y Allende, 2005). Sin embargo, presenta la desventaja de que su efectividad se ve afectada por la presencia de materia orgánica y la potencial formación de subproductos clorados que afectan la salud (Ramos *et al.*, 2013) por lo que la industria ha estado investigando agentes de desinfección alternativos (Artés y Allende, 2005) como los mencionados en la Tabla 2. Por ejemplo, Graça *et al.* (2011) estudiaron el uso de agua electrolizada en manzanas mínimamente procesadas con resultados positivos; Brilhante São José y Dantas Vanetti (2012) remarcaron el potencial uso del ultrasonido en la sanitización de tomates cherry; y, Moreira *et al.* (2015) emplearon tratamientos con luz pulsada combinados con recubrimientos comestibles para retardar el deterioro microbiológico de manzanas.



El envasado en atmósfera modificada, por su parte, es el método de conservación predominante (Yousuf *et al.*, 2018) debido a su efectividad en la conservación de la calidad de vegetales frescos y mínimamente procesados y en la reducción de la incidencia de enfermedades poscosecha (Ramos *et al.*, 2013); consiste en colocar el alimento en una atmósfera diferente a la composición normal del aire, y refrigerada lo cual retrasa las velocidades de reacciones de deterioro (Rodríguez-Félix *et al.*, 2005). Para su empleo se requiere conocer las velocidades de consumo de oxígeno y de generación de dióxido de carbono del vegetal así como la permeabilidad a esos gases de la película empleada (Solomos, 2017) y, en general, se necesitan formulaciones particulares para cada producto.

A pesar del rápido crecimiento en la investigación científica y de la comercialización de VMP en los últimos años, la vida útil limitada sigue siendo el mayor obstáculo para un mayor desarrollo de la industria de estos productos (Ma *et al.*, 2017) por lo que siguen surgiendo nuevas tecnologías para responder a la demanda tanto de la industria como del consumidor. Estas nuevas tecnologías, además de las mencionadas, incluyen la conservación biológica, recubrimientos comestibles, gases inertes presurizados, nanotecnología, bacteriófagos, bacteriocinas y microorganismos bioprotectores, con las ventajas y limitaciones propias.

Según Ma *et al.* (2017) la expansión de esta industria requiere no sólo prolongar la vida útil de los VMP sino también mantener las cualidades sensoriales y nutricionales los que puede lograrse con una combinación adecuada de varias técnicas por lo que los estudios futuros deberían apuntar a mejorar la calidad organoléptica y el valor nutricional de los productos frescos cortados mediante combinaciones razonables de tecnologías.

### **2.4. Anco mínimamente procesado**

La calabaza y el zapallo se consumen hervidos, horneados, deshidratados o procesados (jugos y purés) y, además, poseen numerosos usos culinarios como ingrediente en tartas, sopas, guisados, panes y otros platos. Según Bellocq (2012), el agregado de otros componentes puede mejorar las características organolépticas y/o nutricionales a fin de satisfacer la demanda del consumidor por hortalizas frescas

cortadas. Sin embargo, el anco fresco es muy sensible al deterioro microbiano, incluso en condiciones de refrigeración. Actualmente las formas en que se comercializa este producto es en rodajas (Fig. 4), cubos o rallado.

Según Lucera *et al.* (2012) en la literatura se han reportado pocos trabajos sobre anco mínimamente procesado, algunos de los cuales se sintetizan a continuación remarcando las principales conclusiones a las que arribaron los autores.

Rodríguez y Montañez (2001) estudiaron el efecto de la temperatura (2 y 8 °C) en la conservación de rodajas de anco mínimamente procesados recubiertos con cloruro de polivinilo (PVC) concluyendo que a 2°C se verificaron menores pérdida de peso, variación de sólidos solubles y recuentos de aerobios mesófilos totales, manteniendo por más tiempo el sabor dulce característico del producto. Igualmente, Montañez *et al.* (2002), al analizar distintos tipos de películas plásticas en la conservación a anco rallado, comprobaron que el PD961 (Cryobac) y el PVC fueron las que permitieron conservar mejor las características organolépticas originales del producto. Por otra parte, Habibunnisa *et al.* (2001) estudiaron el comportamiento de rodajas, de aproximadamente 3 cm de espesor, envasadas en bolsas de polipropileno (PP) y polietileno de baja densidad (PEBD) y determinaron que podrían almacenarse durante un período de 25 días a  $5 \pm 2$  °C con una pérdida mínima de peso (0,06%) y cambios mínimos en el contenido de vitamina C, sólidos solubles totales, humedad, carotenoides y acidez titulable.

El efecto de diferentes soluciones de lavado en este producto fue analizado por Rodríguez *et al.* (2002) recomendando un enjuague con solución de mezcla de ácidos cítrico y ascórbico (1%) durante 10 minutos para mantener las características organolépticas del producto, en especial el color original ya que preserva el contenido de los carotenoides totales.

Con respecto al tipo de corte, Sasaki *et al.* (2006) concluyeron que los cubos y medias rodajas, almacenadas 5 °C y 85-90% de humedad relativa durante 12 días, mostraron mejores resultados en relación con el análisis físico, químico y fisicoquímico en comparación con el rallado verificando, asimismo, la mayor producción de etileno en los de mayor grado de corte.

Silva *et al.* (2009), por su parte, analizaron la eficiencia de diferentes temperaturas de almacenamiento (5 y 10 °C) y el envasado en bandejas de poliestireno recubiertas con PVC y envases de LDPE bajo vacío en trozos de 5 x 10 cm almacenados durante 12 días. Sus resultados no mostraron diferencias significativas entre las dos temperaturas de refrigeración; además, el embalaje con película PVC permitió mayor conservación de los atributos de calidad de la calabaza hasta el día 9, con excepción del color, que sufrió menores alteraciones cuando se utilizó envasado al vacío.

Igualmente, Lucera *et al.* (2012) estudiaron el efecto de distintas películas en la vida útil de mitades de rodajas de 5 cm de espesor concluyendo que su inmersión en solución de sorbato de potasio seguida del envasado en atmósfera modificada activa permitió conservarlas durante 22 días a una temperatura de  $4 \pm 1$  °C, empleando para su envasado películas de polipropileno orientado y obteniendo resultados ligeramente superiores con la de 40 µm de espesor.

Con respecto a la aplicación de nuevas tecnologías, Sgroppo y Sosa (2009) determinaron el efecto de la exposición a la luz UV-C en la calidad sensorial y microbiológica de zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) cortado en cubos de 3 cm y su incidencia en la evolución del contenido de carotenoides totales y azúcares durante el almacenamiento refrigerado de los productos a 5 °C. Los ensayos les permitieron concluir que los tratamientos con radiación UV-C fueron efectivos en el control de la carga microbiológica y en la retención de las características sensoriales del producto prolongando su vida útil; por su parte, la acidez, contenido de carotenoides totales y azúcares en los productos control y tratados siguieron tendencias similares durante el almacenamiento. Asimismo, Cortez-Vega *et al.* (2014) analizaron el comportamiento de cubos de anco de 2,5 cm, aproximadamente, recubiertos con películas comestibles a base de goma xantana almacenados durante 12 días a 4 °C y determinaron su efectividad en la reducción de la pérdida de peso, el mantenimiento de la firmeza y color y el control de microorganismos psicrófilos. Por otra parte, Santos *et al.* (2016) concluyeron que el recubrimiento comestible de almidón de yuca y carvacrol (componente de los aceites esenciales de *Origanum vulgare* L. y *Thymus vulgaris* L.) arrojaron resultados positivos en la inhibición de microorganismos autóctonos y patógenos sin afectar los otros parámetros fisicoquímicos estudiados de cubos de anco de 3 cm escaldados durante 2 min en agua en ebullición y conservados durante 7 días a 4 °C.

Otra de las alternativas del anco mínimamente procesado es su utilización en mezclas de vegetales listos para consumir. En ese sentido, Alves *et al.* (2010) evaluaron el efecto del tiempo de almacenamiento en la calidad del producto fresco compuesto por calabaza (*Cucurbita moschata* Duch), zanahoria (*Daucus carota* L.), papa del aire (*Sechium edule* Swartz) y zanahoria peruana (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft); su elaboración implicó el acondicionamiento de trozos 2 x 2 x 1 cm en envases flexibles de LDPE ( $\approx 400$  g) y la conservación en cámara de refrigeración a  $5 \pm 1$  °C y HR  $90\% \pm 5$  garantizando una conservación de 8 días en buenas condiciones. También, Torales *et al.* (2015) diseñaron una mezcla de rúcula cortada y anco rallado (Fig. 5) evaluando la aplicación de atmósferas modificadas activas en el almacenamiento refrigerado; el trabajo permitió concluir que las atmósferas de 3% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> y 5% O<sub>2</sub> + 15% CO<sub>2</sub> garantizaban la calidad sensorial del producto por más de 18 días siendo el desarrollo de microorganismos mesófilos el determinante para su conservación ya que al cabo de 13 días sus recuentos alcanzaron niveles de 10<sup>6</sup> UFC/g.

Si bien la deshidratación osmótica puede ser una alternativa para obtener productos mínimamente procesados con mayor vida útil (Castelló *et al.*, 2009), no se encontró información publicada de su utilización en anco combinada con el almacenamiento en atmósfera modificada.



Figura 4: Bandeja de zapallo en rodajas (IV Gama) (Della Gaspera, 2013).



Figura 5: Mezcla de rúcula cortada y anco rallado mínimamente procesado (Torales *et al.*, 2015).

### 3. Deshidratación osmótica

#### 3.1. Generalidades

La deshidratación osmótica (DO) es una operación usada para remover parcialmente agua de un alimento por inmersión en una solución hipertónica (Rastogi *et al.*, 2014) que ha cobrado gran interés debido a las bajas temperaturas de operación usadas que evitan el daño de productos termolábiles, además de reducir los costos energéticos del proceso. Otros nombres propuesto para designarla son deshidratación impulsada por diferencias de concentración o deshidratación e impregnación por inmersión (Spiazzi y Mascheroni, 1997).

Este método consiste en sumergir un producto alimenticio en una solución con alta presión osmótica, lo que crea un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, originando el flujo de ésta para igualar los potenciales químicos en ambos lados de las membranas celulares del vegetal (Fig. 6). Las membranas semipermeables permiten el paso del agua y muy poco del soluto de la solución hasta alcanzar el equilibrio en la presión osmótica (Chenlo *et al.*, 2007) produciéndose como efecto neto la pérdida de agua por parte del producto (Lenart y Flink, 1984a). También existen flujos de otros solutos (ácidos orgánicos, minerales, sales, etc.) que, cuantitativamente, son despreciables pero importantes desde el punto de vista nutricional y organoléptico (Torreggiani, 1995; Ochoa-Martínez & Ayala-Aponte, 2005).

Son numerosos los factores que afectan este proceso pudiéndose citar el tipo de alimento, su tamaño y geometría, la temperatura de la solución hipertónica y su concentración, el tipo de agente osmótico, la presión de trabajo, la relación producto/solución osmótica, el tiempo de inmersión, la velocidad de agitación y los tratamientos previos del producto, entre otros. Estos factores fueron estudiados por numerosos autores (Singh *et al.*, 2007; Mújica-Páz *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2014; Mavroudis *et al.*, 1998; Chenlo, *et al.*, 2007; Abraão *et al.*, 2013, van Nieuwenhuijzen *et al.*, 2001, Nuñez-Mancilla *et al.*, 2013, etc.) citándose a continuación algunos de ellos.

Por ejemplo, Torreggiani (1995) observó diferencias en el comportamiento de los parámetros cinéticos no sólo entre frutas de diferentes especies sino también entre

cultivares de una misma especie, coincidiendo con Lo Scalzo *et al.* (2001) quienes atribuyeron al cultivar las diferencias encontradas durante la DO de melón. Ferrando y Spiess (2001) también observaron diferencias en la respuesta celular al estrés osmótico entre tejidos vegetales de diferente origen y morfología cuando estudiaron cebolla y fresa.

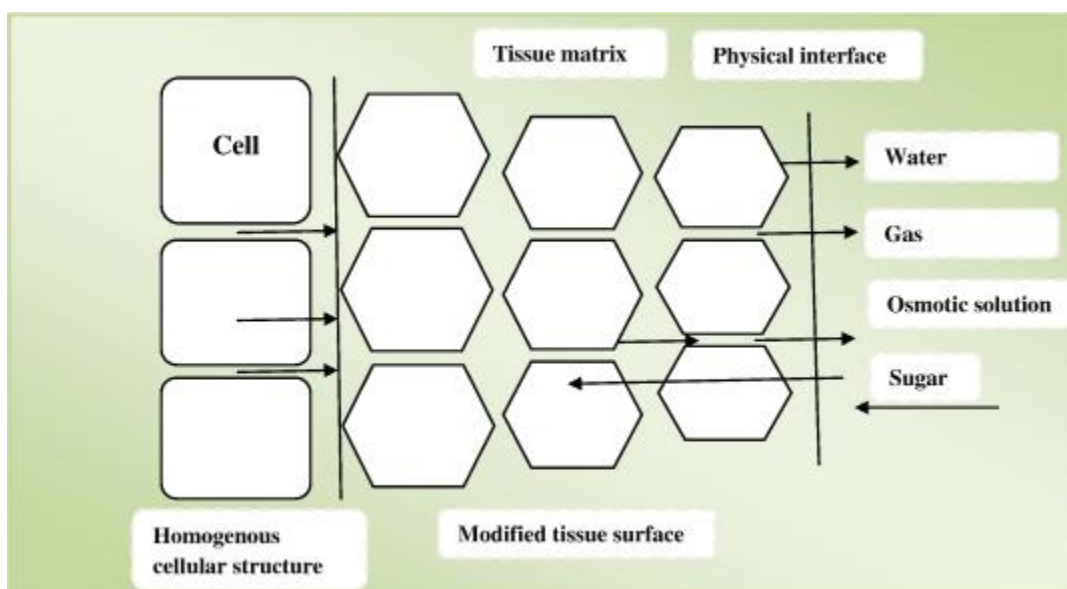


Figura 6: Representación esquemática del material celular y patrón de transferencia de masa (Ahmed *et al.*, 2016).

Por otra parte, la velocidad de transferencia de masa es afectada por el tamaño y forma del producto debido a la variación en la relación área superficial/espesor (Tortoe, 2010). Así, la pérdida de agua y la ganancia de sólidos aumenta cuando el tamaño del alimento disminuye debido a una mayor relación (van Nieuwenhuijzen *et al.*, 2001; Falade *et al.*, 2007).

La elección del agente osmótico es fundamental porque está relacionado con alteraciones en las propiedades nutritivas y sensoriales del producto final (Silva *et al.*, 2014); sacarosa, glucosa, fructosa, jarabe de maíz y cloruro de sodio son los agentes osmóticos más usados (Singh *et al.*, 2007). Además, cuando se incrementa la masa molar de los solutos, disminuye la ganancia de sólidos y aumenta la pérdida de agua por parte del alimento, favoreciendo la deshidratación. Por ejemplo, los sacáridos de bajo peso molecular (glucosa, fructosa, sorbitol, etc.) favorecen la impregnación,

denominación que recibe el efecto donde la incorporación de sólidos debido a la alta velocidad de penetración de las moléculas es superior a la eliminación de agua (Torreggiani, 1993). Ruiz-López *et al.* (2011), citado por Rastogi *et al.* (2014), encontraron que la sacarosa es un mejor agente osmótico comparado con la fructosa y glucosa ya que favorece la pérdida de agua sobre la ganancia de sólidos.

Otra variable importante del proceso de DO, estudiada por numerosos autores (Vega-López *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2002; Kaymak-Ertekin y Sultanoğlu, 2000; Falade *et al.*, 20007; Chenlo *et al.*, 2007; Cardoso Andrade *et al.*, 2007) es la concentración de la solución osmodeshidratante ya que a medida que aumenta ésta, mayores son la pérdida de agua y la ganancia de sólidos.

### **3.2. Ventajas y desventajas**

Yetenayet y Hosahalli (2010) adjudicaron a la DO dos principales ventajas, a saber: (i) la calidad del producto y (ii) eficiencia energética. La primera la atribuyeron a las bajas temperaturas empleadas generalmente durante el proceso (30 – 50 °C) que no afectan la semipermeabilidad de las membranas celulares, la constante inmersión del producto en la solución osmótica que impide el contacto con el oxígeno previniendo cambios de color enzimáticos u oxidativos y la retención de compuestos volátiles. En cuanto a la eficiencia energética, destacaron la menor energía necesaria en procesos posteriores tales como secado y congelación debido a la reducción de agua del alimento.

Además, Tortoe (2010) destacó la reducción de costos de envasado y distribución de los productos osmodeshidratados, la no necesidad de tratamientos químicos y la mayor estabilidad durante el almacenamiento de frutas y hortalizas deshidratadas osmóticamente comparadas con los vegetales de origen. Estas ventajas fueron también remarcadas por Akbarian *et al.* (2013) y Ahmed *et al.* (2016).

Por otra parte, el desarrollo e instrumentación de esta tecnología no requiere de grandes inversiones ni de equipos complejos o difíciles de obtener por lo que puede emplearse como método de conservación de frutas y hortalizas en países con economía emergentes (Genina Soto, 2002).

Sin embargo, entre las principales limitaciones del uso industrial de la DO se puede mencionar las modificaciones de sabor del producto debida a la incorporación de solutos (sales o azúcares) que puede evitarse controlando su difusión y optimizando el proceso (Tortoe, 2010). Igualmente, evitar la contaminación microbiológica de la solución osmótica durante su uso prolongado y su reutilización son desafíos importantes para las aplicaciones industriales (Ahmed *et al.*, 2016).

También Akbarian *et al.* (2013) señalaron la necesidad de optimizar y controlar el proceso a nivel industrial. Así, se necesitan más estudios para comprender mejor la variación de las constantes de equilibrio y velocidad con las variables de proceso y las características de los materiales alimenticios (Ahmed *et al.*, 2016).

### **3.3. Modelado matemático**

La modelización es una vía de representación de procesos o fenómenos para explicar los datos observados y predecir el comportamiento del producto en diferentes condiciones (Keqing, 2004). En los últimos años, se realizaron numerosos estudios para entender el fenómeno de transferencia de masa que ocurre en la DO de alimentos y modelar el mecanismo del proceso caracterizado por períodos dinámicos y períodos de equilibrio tanto de la pérdida de peso (WR) como de la pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG), parámetros éstos utilizados para estudiar su cinética. Así, durante las primeras 2 - 3 horas de proceso la velocidad de deshidratación es alta debido a diferencia de presión osmótica (Assis *et al.*, 2016) y, posteriormente, WL y SG disminuyen al disminuir el gradiente de concentración entre el alimento y la solución hasta alcanzar el equilibrio. Según Ochoa-Martinez y Ayala-Aponte (2005), en el período dinámico es el equilibrio donde la tasa neta de transporte de masa es cero por lo que se requiere estudiar este estado para modelar el proceso osmótico y entender los mecanismos de transferencia de masa involucrados en el sistema.

Se han desarrollado muchos modelos matemáticos con el ánimo de encontrar aquellos que representen físicamente este fenómeno y que, a la vez, sean reproducibles y extrapolables (Ochoa-Martinez y Ayala-Aponte, 2005). Según Assis *et al.* (2016), se pueden clasificar en empíricos y semiempíricos, mecanísticos y fenomenológicos y se presentan en la Tabla 3 conjuntamente con sus ventajas y desventajas.



Tabla 3: Clasificación de modelos para predecir la transferencia de masa en DO.

	Clasificación		
	Empíricos o Semiempíricos	Mecanísticos	Fenomenológicos
<b>Ventajas</b>	Se aplican para geometrías no clásicas y algunos pueden predecir los valores de equilibrio.	Involucra la estructura celular del alimento.	Se puede determinar el coeficiente de difusión. Tienen en cuenta los mecanismos fenomenológicos del proceso.
<b>Desventajas</b>	Limitados sólo para el rango experimental para el cual fueron obtenidos los parámetros del modelo. No tienen en cuenta el mecanismo fenomenológico del proceso.	Requiere una gran cantidad de propiedades que no están fácilmente disponibles, como permeabilidad de membrana celular, módulo de elasticidad, porosidad y tortuosidad de la pared celular.	Requiere los valores de equilibrio. Se aplica a geometrías clásicas. Si existe resistencia externa, encogimiento de la muestra o la difusividad efectiva varía con la temperatura, el modelo requiere de métodos numéricos.
<b>Modelos</b>	Modelo de Azuara Peleg Page Penetración (Hawkes y Flink) Magee, Weibull Raoul <i>et al.</i> Biswal y Bozorgmehr Panagiotou <i>et al.</i> , Rastogi y Raghavarao	Toupin <i>et al.</i> Marcotte <i>et al.</i> Modelo Hidrodinámico Spiazzi y Masheroni Seguí <i>et al.</i> Mebatsion <i>et al.</i>	Crank Hough <i>et al.</i> Mauro & Menegalli Mayor <i>et al.</i> Modelo de Peleg modificado.

Fuente: Assis *et al.*, 2016.

Además, estos autores refieren que los modelos empíricos y semiempíricos correlacionan las variables del proceso con WL y SG y no tienen en cuenta los fenómenos simultáneos de transporte de agua y solutos; incluyen regresiones multivariadas, análisis de superficies de respuesta y balances de masa. Los modelos mecánicos, por su parte, requieren del conocimiento de las características microscópicas tanto de las células como del tejido (propiedades geométricas de las células, potencial hídrico celular, propiedades mecánicas de la pared celular y presencia de espacios intercelulares) a fin de entender la relación característica-estructura y estimar las velocidades de transferencia de agua y solutos.

Finalmente, en los modelos fenomenológicos se emplea generalmente el modelo de Crank que representa el mecanismo difusional ya que consiste en una solución de la ley de Fick en estado estacionario y se utiliza para procesos de DO a presión atmosférica (Ochoa-Martinez y Ayala-Aponte, 2005).

En resumen, es muy difícil encontrar un modelo matemático que incluya todos los factores involucrados en el proceso (İspir y Toğrul, 2009) por lo que generalmente se aplican dos o más a fin de comparar los ajustes a un conjunto de valores experimentales.

# **OBJETIVOS**

## **1. Objetivo general**

Estudiar la cinética de deshidratación osmótica en anco y analizar la influencia de los factores que determinan la velocidad del proceso para desarrollar un producto mínimamente procesado envasado en atmósfera modificada; evaluar su calidad y estimar su vida útil.

## **2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia del tamaño de muestra y la concentración de solución osmodeshidratante en la cinética de deshidratación osmótica con sacarosa de cubos de anco, ajustando los resultados experimentales a modelos matemáticos preestablecidos y evaluando la influencia del proceso en las principales propiedades del producto.
- Estudiar el efecto del agregado de cloruro de sodio en la cinética de deshidratación y de lactato de calcio como agente de firmeza analizando su influencia en las características físico-químicas y sensoriales de los cubos de anco.
- Determinar la vida útil de cubos de anco mínimamente procesados y almacenados en atmósferas modificadas evaluando su calidad desde el punto de vista físico-químico, microbiológico y sensorial.

**CAPITULO I:**

**DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE  
ANCO CON SOLUCIONES DE  
SACAROSA**

## I.1. INTRODUCCIÓN

Aunque el principio de la ósmosis como medio de eliminación de agua se conoce hace bastante tiempo, la aplicación de tratamientos osmóticos puede considerarse una técnica nueva para mejorar sustancialmente la calidad de frutas y hortalizas (Tortoe, 2010). Así, se han realizado numerosos estudios de esta tecnología como pretratamiento de la deshidratación convencional de vegetales (Erle y Schubert, 2001; Piotrowski *et al.*, 2004; Riva *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2007) pues disminuye el daño ocasionado por el calor al sabor y color, inhibe el pardeamiento enzimático y disminuye los costos energéticos (Khan, 2012). La DO posee potencial para introducir nuevos productos frutihortícolas con valor comercial (Torreggiani y Bertolo, 2001) ya que constituye un método de procesamiento suave que proporciona productos deshidratados con atributos sensoriales similares a los del vegetal de origen (Phisut, 2012; Tortoe, 2010). La eliminación de agua sin estrés, ya que se produce sin cambio de fase y a temperaturas moderadas, puede mejorar el sabor, la retención del color y proporcionar frutas con texturas más suaves cuando se seleccionan correctamente las condiciones de proceso (Tortoe, 2010). Consecuentemente, el desarrollo de un producto en particular dependerá de una solución de compromiso entre la transferencia de materia y la calidad deseada (Wais, 2011). Así, según sea la temperatura, tiempo, tipo de jarabe, superficie y relación producto-solución utilizados, esta tecnología puede proporcionar diferentes efectos en un mismo producto (Torreggiani y Bertolo, 2001).

Existen numerosas referencias que proporcionan información sobre la deshidratación osmótica de productos frutihortícolas. Por ejemplo, se realizaron estudios de este proceso en papaya chilena (Vega-Gálvez *et al.*, 2007), papaya (Chavarro-Castrillón *et al.*, 2006; El-Aouar *et al.*, 2006), manzanas (Serenó *et al.*, 2001; Sablani *et al.*, 2002; Mauro *et al.*, 2016), batata (Antonio *et al.*, 2008), mango (Giraldo *et al.*, 2003; Khan *et al.*, 2008), tomate cherry (Azoubel y Murr, 2004; Derossi *et al.*, 2015), cebollas (Sutar y Gupta, 2007; Rane y Dabhi, 2017), durazno (Khoiyi y Hesari, 2007; Togrul e Ispir, 2008), pera (Park *et al.*, 2002), zanahoria (Singh *et al.*, 2007), banana (Shukla *et al.*, 2018) y ananá (Mahesh *et al.*, 2017). Además, otras investigaciones se llevaron a cabo combinando la DO con otros tratamientos; algunos ejemplos de ello son los trabajos de: Traffano-Schiffo *et al.* (2017) que combinaron la DO de kiwi con un pretratamiento con campos eléctricos pulsados, Sulistyawati *et al.*

(2018) aplicaron altas presiones e impregnación al vacío durante el proceso de deshidratación de mango; Nowacka *et al.* (2018) complementaron la DO de arándanos con ultrasonido, Nayak *et al.* (2006) estudió el efecto de la irradiación gama en la deshidratación de zanahorias, Gomes Corrêa *et al.*, (2016) utilizaron pulsos de vacío durante la deshidratación de tomates, Barman y Badwaik (2017) combinaron ultrasonido y fuerza centrífuga en carambola y Sharif *et al.* (2018) realizaron un pretratamiento con microondas en arándanos. Entre la bibliografía referente a DO de anco, con o sin posteriores tratamientos, se pueden mencionar los trabajos de Castillo Garcia *et al.* (2007), Gliemmo *et al.* (2009), Lee y Lim (2011), Bellocq (2012), Arballo *et al.* (2012) y Bambicha *et al.* (2012) que serán discutidos conjuntamente con los resultados de esta tesis.

Teniendo en cuenta la importancia potencial del proceso de DO a nivel industrial, se desarrollaron modelos predictivos simples que suministran más información sobre las variables que controlan el proceso (Arballo *et al.*, 2011). Así, el modelado de la transferencia de masa que ocurre es importante para un adecuado control de la composición del producto deshidratado y para reducir el trabajo experimental (Mayor *et al.*, 2007a). Sin embargo, se deben tener en cuenta las limitaciones del modelado que se deben principalmente a la presencia de un mecanismo complejo de transferencia de masa simultánea de dos flujos en contracorriente en un sistema que es polifásico y multicomponente (Ochoa-Martínez & Ayala-Aponte, 2005). Dentro de los modelos simples se pueden citar el de Azuara *et al.* (1992), el de Peleg (1988) y el de Hawkes y Flink (1978); los dos primeros (empíricos) son utilizados con frecuencia (Kaymak-Ertekin y Sultanoğlu, 2000; Azoubel y Murr, 2004; Park *et al.*, 2002; Patel y Sutar, 2016; Akharume *et al.*, 2019). Además, tanto el modelo de Azuara como el modelo semiempírico de Hawkes y Flink permiten predecir el coeficiente de difusión y realizar comparaciones entre éstos.

Se sabe que existe una relación entre la actividad de agua ( $a_w$ ) de los alimentos y su alterabilidad por lo que los procesos de concentración y deshidratación se emplean, primariamente, con el objeto de reducirla. La  $a_w$  de los productos deshidratados osmóticamente no garantiza su estabilidad ya que es generalmente superior a 0,9 (Rubio-Arreaez *et al.*, 2015; Nowacka *et al.*, 2018) y, recién, por debajo de ese valor la actividad microbiológica es inhibida (Singh *et al.*, 2007). No obstante, según Pieasecka *et al.* (2012), citado por Ahmed *et al.* (2016), la DO proporciona un producto con una  $a_w$

a la que disminuyen la mayoría de las actividades químicas, físicas y biológicas que lo deterioran.

La respiración es la oxidación de sustratos complejos, normalmente presentes en las células (almidón, azúcares y ácidos orgánicos) a CO<sub>2</sub> con la producción simultánea de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas por la célula para reacciones de síntesis (Iqbal *et al.*, 2008) y es uno de los principales factores que aceleran la pérdida de calidad de los VMP debido a su incremento por la ruptura del tejido en las operaciones de pelado y corte. Sin embargo, puede ocurrir que durante la DO se alcance un nivel de concentración suficiente para producir una pérdida de funcionalidad celular disminuyendo la intensidad respiratoria (IR) (Castelló Gómez, 2007; Panarese *et al.*, 2012).

El aspecto general de un alimento es uno de los descriptores organolépticos que agrupa un conjunto de propiedades, detectadas fundamentalmente con la vista (color, forma, aspecto de la superficie y transparencia) (Torricella Morales *et al.*, 2007), y que influyen en la aceptabilidad del consumidor. Uno de los cambios que se manifiestan en el procesado mínimo es en el color (Ahvenainen, 1996); no obstante, la DO estabiliza este atributo y reduce las reacciones de pardeamiento no enzimático mejorando el color de los productos osmodeshidratados (Krokida *et al.*, 2000; Pereira *et al.*, 2004) por lo que varios autores estudiaron su comportamiento (Heredia *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2014; Kaur y Sogi, 2016; Nowacka *et al.* 2018; Sulistyawati *et al.*, 2018).

Una de las estrategias para lograr el éxito en la comercialización de alimentos es el desarrollo de nuevos productos que aporten valor agregado y resulten innovadores. En los últimos años se aplica un nuevo enfoque de desarrollo que toma en cuenta el mercado, y no sólo la producción; es decir un enfoque basado en los compradores (Costa y Jongen, 2006) incorporando la “voz del consumidor” (Linnemann *et al.*, 2006). Así, se enfatiza la necesidad de involucrarlos desde las primeras etapas del desarrollo y, en la medida en que sea posible, en todos los aspectos del proceso (Costa y Jongen, 2006) por lo tanto la evaluación sensorial se vuelve una etapa esencial.



## **I.2. OBJETIVOS**

### **I.2.1. General**

Determinar la influencia del tamaño de muestra y de la concentración de solución osmodeshidratante en la cinética de deshidratación osmótica con sacarosa de cubos de anco, ajustando los resultados experimentales a modelos matemáticos preestablecidos y evaluando la influencia del proceso en las principales propiedades del producto.

### **I.2.2. Específicos**

- Determinar el efecto del tamaño de muestra y de la concentración de sacarosa en la cinética de deshidratación osmótica de anco.
- Evaluar el ajuste de los resultados experimentales a los modelos matemáticos de Azuara, Peleg y Hawkes y Flink.
- Analizar el efecto de la DO en la actividad de agua, intensidad respiratoria y color del anco mínimamente procesado.
- Seleccionar las condiciones más adecuadas de DO del anco, desde el punto de vista tecnológico y sensorial.

## I.3. MATERIALES Y MÉTODOS

### I.3.1. Material Vegetal

Los ancos, adquiridos en el mercado local, se seleccionaron en base a su contenido de sólidos solubles (SS), manteniéndose un rango entre 8 y 14°Bx con el fin de minimizar variaciones en el comportamiento cinético, ya que se reportaron diferencias atribuidas a pequeños cambios en la composición inicial de zapallos (Castilho García *et al.*, 2007). Posteriormente, los frutos se lavaron con agua potable, se pelaron y cortaron manualmente en cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm de lado.

La medición de SS se realizó en el jugo obtenido de una muestra representativa con un refractómetro digital Milwaukee (modelo MA971).

### I.3.2. Deshidratación osmótica

Se utilizaron soluciones osmóticas de 45, 55 y 65°Bx preparadas con agua destilada y sacarosa comercial.

Los cubos de anco se colocaron en canastas de malla metálica (Fig. I.1a) que se sumergieron en la solución osmodeshidratante contenida en un baño termostatzado Lauda M25, tal como se muestra en las Fig. I.1b y I.1c. Durante el proceso se trabajó a 30 °C y con agitación constante (480 rpm), utilizando un agitador de paleta. Asimismo, se mantuvo una alta relación entre la solución y el producto (>30:1) a fin de asegurar constante su concentración.

A diferentes tiempos de inmersión (0,5, 1, 2, 3, 5 y 8 horas) se extrajeron muestras al azar, de al menos 5 cubos, que se lavaron por inmersión con agua destilada para quitar la solución superficial y se secaron con papel absorbente.

Los cubos de ancos fueron pesados individualmente en balanza analítica, antes y después de los diferentes tiempos de muestreo, a fin de determinar la pérdida de peso experimentada.

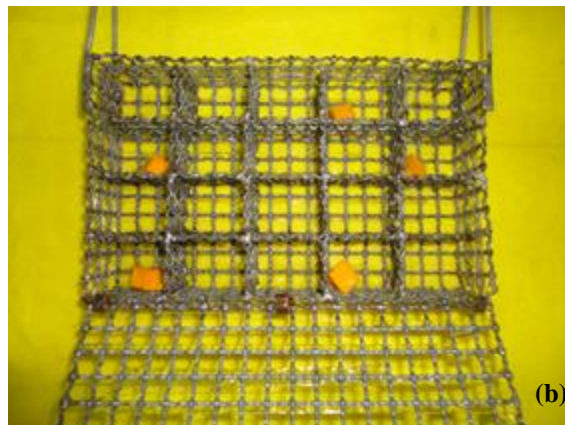
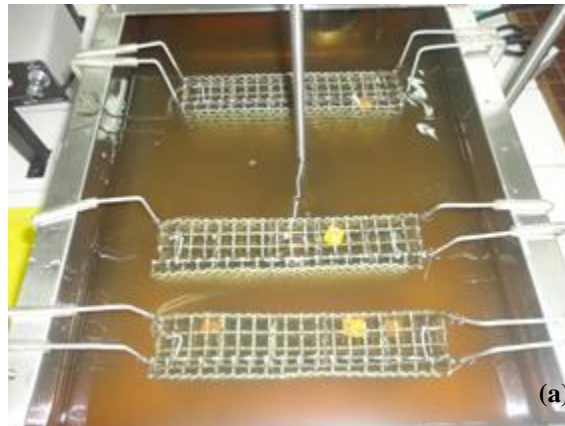


Figura I.1: Cubos de anco en canasta metálica (a) sumergidos en solución osmodeshidratante (b) en baño termostatzado (c).

Para la determinación de sólidos totales, se trituró la muestra y se secó en estufa de vacío a 70 °C hasta peso constante según la metodología descrita en el método 920.151 (AOAC, 1990).

### I.3.3. Parámetros de transferencia de masa

Para estudiar la cinética de DO se utilizan como parámetros la pérdida de peso (WR), la pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG), que se calculan con las siguientes ecuaciones propuestas por Agnelli *et al.* (2005), entre otros autores:

$$WR_t (\%) = \left( \frac{m_0 - m_t}{m_0} \right) \times 100 \quad (I.1)$$

$$WL_t (\%) = \left[ \left( 1 - \frac{TS_0}{100} \right) - \left( 1 - \frac{TS_t}{100} \right) \left( 1 - \frac{WR_t}{100} \right) \right] \times 100 \quad (I.2)$$

$$SG_t (\%) = \left[ \left( 1 - \frac{WR_t}{100} \right) \frac{TS_t}{100} - \frac{TS_0}{100} \right] \times 100 \quad (I.3)$$

donde  $m_0$  y  $m_t$  representan, respectivamente, la masa inicial y la masa de la muestra deshidratada al tiempo  $t$ ;  $TS_0$  y  $TS_t$  representan el contenido de sólidos totales iniciales y al tiempo  $t$ , respectivamente.

Además, se evaluó la eficiencia de la remoción de agua del proceso a través del índice WL/SG ya que altos valores implican que se favorece la pérdida de agua, mientras que los valores bajos significan que se favorece la incorporación de sólidos (impregnación) (Mayor *et al.*, 2007a).

### I.3.4. Modelado empírico de la DO

Se aplicaron los modelos de Azuara, Hawkes y Flink y Peleg.

El modelo matemático de Azuara *et al.* (1992) propone para WL y SG las siguientes ecuaciones:

$$WL_t = \frac{s_1 t WL_\infty}{1 + s_1 t} \quad (I.4)$$

$$SG_t = \frac{s_2 t SG_\infty}{1 + s_2 t} \quad (I.5)$$

donde  $WL_t$ ,  $SG_t$ ,  $WL_\infty$ , y  $SG_\infty$  son la pérdida de agua y ganancia de sólidos en un tiempo  $t$  y en el equilibrio ( $\infty$ ), respectivamente; y,  $s_1$  y  $s_2$  son constantes de velocidad relativas a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos, respectivamente.

Se linealizaron las ecuaciones (I.4) y (I.5) y se obtuvieron los parámetros  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $WL_\infty$  y  $SG_\infty$ . Además, relacionando el modelo con la ecuación simplificada de la ley de Fick, se calculó el coeficiente de difusión efectivo ( $D_e$ ) con la ecuación (I.6) (Azuara *et al.*, 1992).

$$D_e = \frac{\pi t}{4} \left[ \left( \frac{s_1 l}{1 + s_1 t} \right) \left( \frac{WL_\infty^{mod}}{WL_\infty^{exp}} \right) \right]^2 \quad (I.6)$$

en la que  $WL_\infty^{mod}$  y  $WL_\infty^{exp}$  corresponden a la pérdida de agua en el equilibrio modelada y experimental, respectivamente; y,  $l$  corresponde a la tercera parte del espesor del cubo (Rastogi y Niranjana, 1998). Idéntico procedimiento se realizó para calcular la  $D_e$  de sólidos con las variables correspondientes.

El modelo de Peleg (1988), por su parte, se basa en las ecuaciones (I.7) y (I.8), redefinidas por Palou *et al.* (1994), a saber:

$$\frac{t}{x_0^w - x_t^w} = k_{1,w} + k_{2,w} t \quad (I.7)$$

$$\frac{t}{x_t^s - x_0^s} = k_{1,s} + k_{2,s} t \quad (I.8)$$

donde  $(x_0^w - x_t^w)$  corresponde a  $WL_t$ ,  $(x_t^s - x_0^s)$  a la  $SG_t$ ;  $k_{1,w}$ ,  $k_{2,w}$ ,  $k_{1,s}$  y  $k_{2,s}$  son constantes relativas a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos, respectivamente; y,  $t$

el tiempo de tratamiento. La constante  $k_1$  se denomina constante de velocidad y  $k_2$  es la constante de capacidad (Palou *et al.*, 1994).

Por otra parte, se utilizó el modelo de Hawkes y Flink (1978), que supone un estado transiente de difusión Fickiana, para determinar el coeficiente de difusión en base a la siguiente ecuación:

$$\frac{WL}{WL_{\infty}} = 2 \left( \frac{D_e t}{\pi l^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (I.9)$$

donde  $D_e$  es el coeficiente de difusión,  $t$  el tiempo de tratamiento,  $l$  el semiespesor de la muestra y  $WL_{\infty}$  la pérdida de agua en el equilibrio; una ecuación similar se utilizó para la SG. Se graficó WL y SG en función de la raíz cuadrada del tiempo y se determinaron las  $D_e$  a partir de las pendientes de las rectas obtenidas.

### I.3.5. Parámetros fisiológicos y físico-químicos

#### I.3.5.1. Actividad de agua

La actividad de agua ( $a_w$ ) de los cubos de anco se determinó, en cada ensayo por triplicado, con un medidor electrónico ROTRONIC Aw Quick para los tiempos 0,5, 1, 2 y 3 horas de tratamiento. Además, se calculó su disminución porcentual global ( $\Delta a_w$ ) con la ecuación (I.10), propuesta por Mújica-Paz *et al.* (2003), al cabo de 3 horas.

$$\Delta a_w = \left( \frac{a_{w \text{ anco fresco}} - a_{w \text{ anco DO}}}{a_{w \text{ anco fresco}}} \right) \times 100 \quad (I.10)$$

#### I.3.5.2. Intensidad respiratoria

Se utilizó el método de confinamiento propuesto por Castelló *et al.* (2006), para lo cual se midió la concentración de dióxido de carbono generado mediante un analizador de gases portátil Dansensor-Chekpoin (PBI Dansensor, Ringsted, Dinamarca).

Para ello, se utilizaron recipientes plásticos de 150 ml de capacidad en los que se colocaron, aproximadamente, 10 gr de muestra. Los frascos se sellaron herméticamente, se mantuvieron a temperatura ambiente ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y las determinaciones se realizaron periódicamente hasta las 5 horas de confinamiento (Fig. I.2a y I.2b). Las mediciones se efectuaron por triplicado en muestras deshidratadas osmóticamente durante 1, 2 y 3 horas.



Figura I.2: Muestras de anco frescas y osmotizadas confinadas en recipientes herméticos (a) y medición de  $\text{CO}_2$  generado con analizador de gases portátil (b).

La IR, en términos de generación de dióxido de carbono ( $\text{ml CO}_2 / \text{g h}$ ), fue determinada a partir de la ecuación de ajuste lineal I.11 (Castelló *et al.*, 2006), donde  $y_t$  es la concentración (%) de  $\text{CO}_2$  en el tiempo  $t$ ,  $M$  la masa (g) de muestra confinada y  $V$  el volumen (ml) del espacio de cabeza calculado como el volumen del recipiente menos el que ocupa la muestra medido por desplazamiento de agua.

$$y_t = y_{i_0} \pm 100 \times \text{IR} \times (M/V) \times t \quad (\text{I.11})$$

A manera representativa para evaluar el efecto de la temperatura, se utilizaron cubos de anco fresco de 1,5 cm de lado y se mantuvieron a 2, 7 y  $28^\circ\text{C}$ .

### I.3.5.3. Color

A los diferentes tiempos de tratamiento, los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se determinaron con un colorímetro Minolta CR-300 en una muestra de 3 cubos seleccionados al azar, midiéndose en tres ubicaciones diferentes en cada uno de ellos. Los tres parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  representan la luminosidad ( $L^* = 0$ , negro;  $L^* = 100$ ,

blanco), su posición entre rojo (+ a\*) y verde (- a\*) y su posición entre amarillo (+ b\*) y azul (- b\*), respectivamente.

A partir de los datos obtenidos, se calculó el Cromo (C\*) con la ecuación siguiente, propuesta por Silva *et al.* (2014):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (I.12)$$

Los parámetros de color se presentan como cambios relativos con respecto al valor inicial debido a la variabilidad de las muestras (Heredia *et al.*, 2009).

### I.3.6. Análisis sensorial

Primeramente, se realizó una prueba de preferencia por ordenamiento para escoger el tamaño. Para ello, se solicitó a 44 consumidores habituales de anco que ordenen, en la boleta proporcionada (Fig. I.3b), las muestras codificadas (Fig. I.3a) de acuerdo a su preferencia asignando el valor 1 a la más preferida y 3 a la menos preferida, sin repetir el puntaje.

Para el análisis de los datos, se sumaron el total de los valores de posición asignados a cada muestra, se determinaron las diferencias entre pares y se compararon utilizando la prueba de Friedman (Watts *et al.*, 1992). Para ello, las diferencias entre todos los posibles pares se compararon con el valor crítico de tabla, en base a un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) y de acuerdo al número de panelistas y muestras empleadas en la prueba. Si la diferencia es superior al valor crítico, el par de muestras es significativamente diferente (Watts *et al.*, 1992).

Luego, para determinar la influencia de la concentración de sacarosa y las posibles diferencias globales, se realizó un ensayo triangular con 17 jueces entrenados (Fig. I.4a) a los que se les presentaron cubos de anco de 1,0 cm deshidratados durante 3 h en soluciones de 45° y 55°Bx, siguiendo la metodología propuesta por la norma IRAM 20002 (1995) y utilizando una planilla diseñada al efecto (Fig. I.4b). El nivel de significación utilizado para evaluar los resultados fue del 5%.





(b)

NOMBRE.....EDAD.....Fecha.....

Por favor, observe las muestras indicadas en la boleta y ordene según su preferencia. Asigne el valor 1 a la más preferida; el 2 a la que le siga; y el 3 a la menos preferida. No debe asignar el mismo número a dos muestras.

MUESTRA		
386	546	157

Observaciones.....

Muchas gracias

Figura I.3: Muestras de cubo de anco de 0,5, 1,0 y 1,5 cm (a) y modelo de boleta utilizada (b) en la prueba de preferencia.

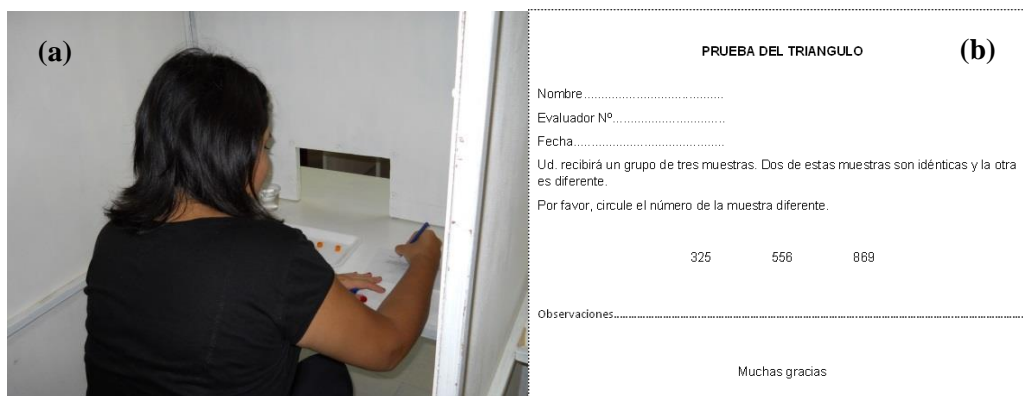


Figura I.4: Juez entrenado realizando la prueba de triangulo (a) con el modelo de boleta utilizado (b).

### I.3.7. Análisis estadísticos

Las experiencias se realizaron según un diseño factorial y los resultados fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el test de

Fisher, con un nivel de confianza de 95% utilizando el software libre INFOSTAT versión 2017.

Para evaluar el ajuste de los modelos empleados se calculó la media y la desviación estándar de los datos; el ajuste entre los valores predichos y los experimentales se analizó utilizando el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) y el parámetro estadístico Root Mean Square (RMS), con la siguiente ecuación (Telis *et al.*, 2004):

$$RMS = 100 \times \sqrt{\frac{\sum[(C_{exp} - C_{pred})/C_{pred}]^2}{N}} \quad (I.13)$$

## I.4. RESULTADOS Y DISCUSION

### I.4.1. Cinética de DO

En la Fig. I.5.a se muestra la cinética de WR para los distintos tamaños de cubos ensayados durante la DO con solución de 55°Bx. Como se observa, las mayores variaciones se producen durante las primeras 2-3 horas de proceso, dependiendo de la dimensión característica, y para tiempos mayores se tiende al equilibrio coincidiendo con lo reportado por van Nieuwenhuijzen *et al.* (2001) en manzanas, Kowalska y Lenart (2001) para productos frutihortícolas varios (manzana, zapallo y zanahoria), Della Roca (2010) en papas, Kaur y Singh (2013) en remolacha, Assis *et al.* (2018) en tomatillo, Shukla *et al.* (2018) en bananas, entre otros. Los cubos de menor tamaño son los que registraron la mayor WR; así, luego de 1 hora de tratamiento, las muestras de 0,5 cm alcanzaron valores del orden del 45 %. Resultados similares fueron obtenidos por Castilho García *et al.* (2007) durante la DO de rodajas de anco de 4 mm de espesor con solución de sacarosa de 50°Bx. Por su parte, los cubos de 1,0 y 1,5 cm registraron valores menores del orden de, aproximadamente, el 26 y 21 %, respectivamente, a igual tiempo de deshidratación. Genina-Soto y Altamirano-Morales (2005) encontraron igualmente una menor pérdida de peso cuando mayor era el espesor de prismas cuadrangulares de camote deshidratados a 50°C y 70°Bx (agente osmótico: sacarosa) al igual que Bellocq (2012) cuando estudió el efecto de tamaño de cubos de anco.

Este comportamiento fue similar para la concentración de 65°Bx; no obstante, la WR tendió a igualarse entre los tamaños 0,5 y 1,0 cm a partir de las 5 horas de tratamiento (Fig. I.5.b). Además, para 45°Bx se observó un patrón similar (datos no mostrados), lográndose al final del proceso porcentajes de  $47,80 \pm 3,32$ ;  $51,15 \pm 4,89$  y  $40,48 \pm 3,15$  para para los cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm respectivamente.

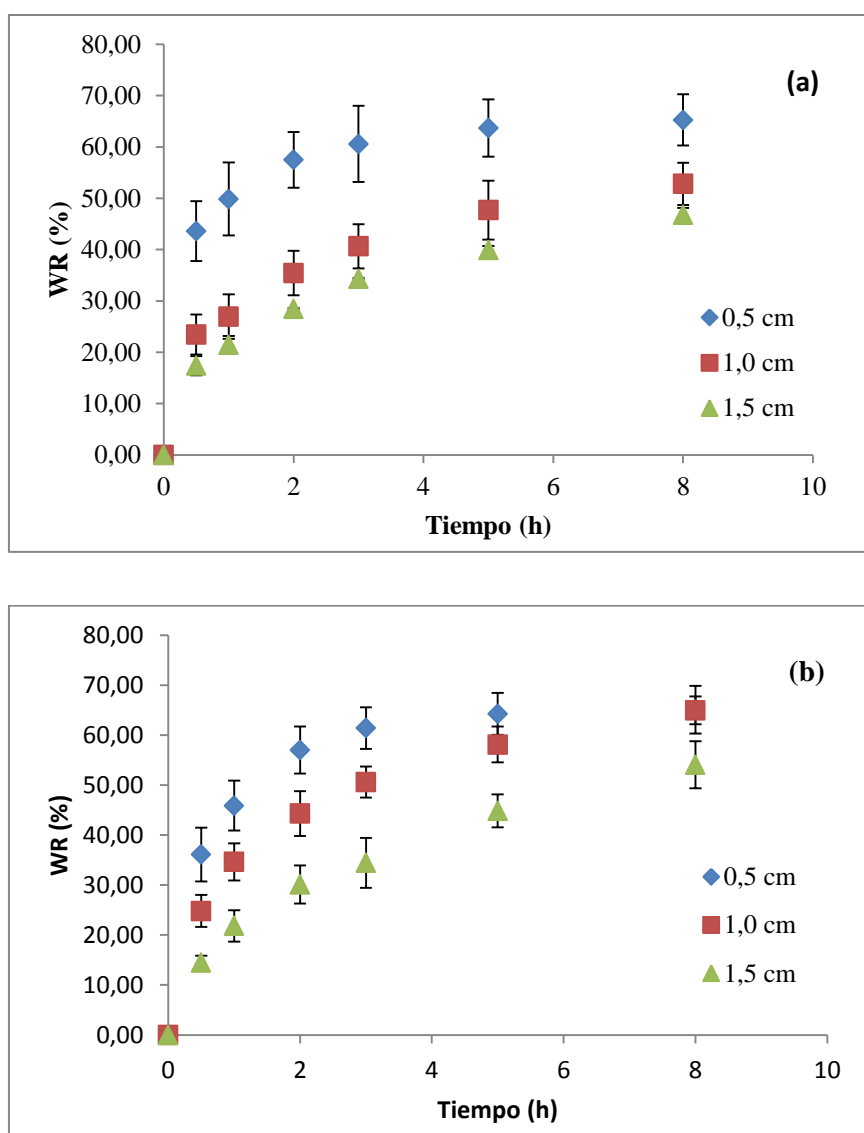


Figura I.5: Pérdida de peso de cubos de anco de diferentes tamaños sometidos a DO en solución de sacarosa 55°Bx (a) y 65°Bx (b).

Por otra parte, el incremento de la concentración de la solución osmótica produjo un aumento de la WR en cubos de 1,5 cm de lado (Fig. I.6), siendo significativamente diferente a partir de las 5 h de deshidratación. Tortoe (2010) atribuyó este comportamiento a la disminución de  $a_w$  de la solución osmótica con el aumento de su concentración. Cuando se utilizaron cubos más pequeños, sin embargo, no se evidenciaron diferencias entre las concentraciones de 55 y 65°Bx para cubos de 0,5 cm ni entre 45 y 55°Bx para cubos de 1,0 cm, lográndose valores finales de 65 y 52 %, respectivamente.

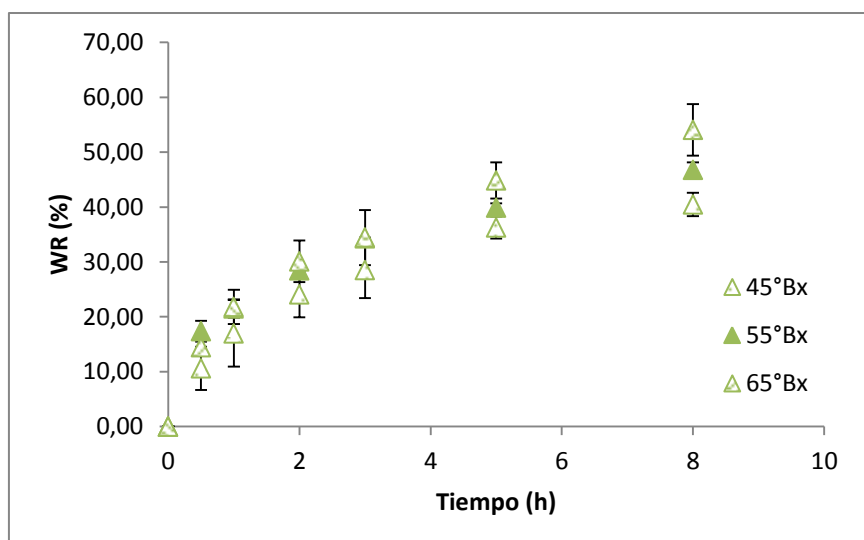


Figura I.6: Pérdida de peso para cubos de 1,5 cm en diferentes soluciones de sacarosa.

Al analizar la WL (Fig. I.7), se observó un mayor valor cuando menor fue la dimensión característica, presentando un comportamiento similar a la WR. Esta tendencia coincide con los resultados reportados por Panagiotou *et al.* (1998) en frutas y Bui *et al.* (2009) en tomate. Para tiempos cortos de deshidratación (30 min), las WL fueron de 48 %, 26 % y 19 % para los cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm de lado, respectivamente, cuando fueron deshidratados en solución de 55°Bx. Kowalska y Lenart (2001) encontraron, para igual tiempo, WL similares a los registrados en este trabajo (26 % - 55°Bx y 28 % - 65°Bx) en cubos de zapallo (*C. máxima*) var. Melonowa de 1 cm (sol. osmótica: sacarosa 61,5%, temperatura: 30 °C).

Al final de la DO, los valores de WL para cubos de 1,0 cm de lado estuvieron en un rango de 59% a 67% cuando se utilizaron concentraciones de 45 y 65°Bx, respectivamente. Por su parte, Arballo *et. al* (2012), obtuvieron en el equilibrio valores de WL para rodajas de anco de 1,0 cm de espesor (*C. moschata* Duchesne ex Poiret) de 65,0 y 77,1 % en soluciones de sacarosa 40 y 60°Bx, respectivamente, y Ganjloo *et al.* (2012) obtuvieron un 40 % de WL cuando deshidrataron cubos de 2 cm de guayaba en solución de sacarosa al 50 % (p/p).

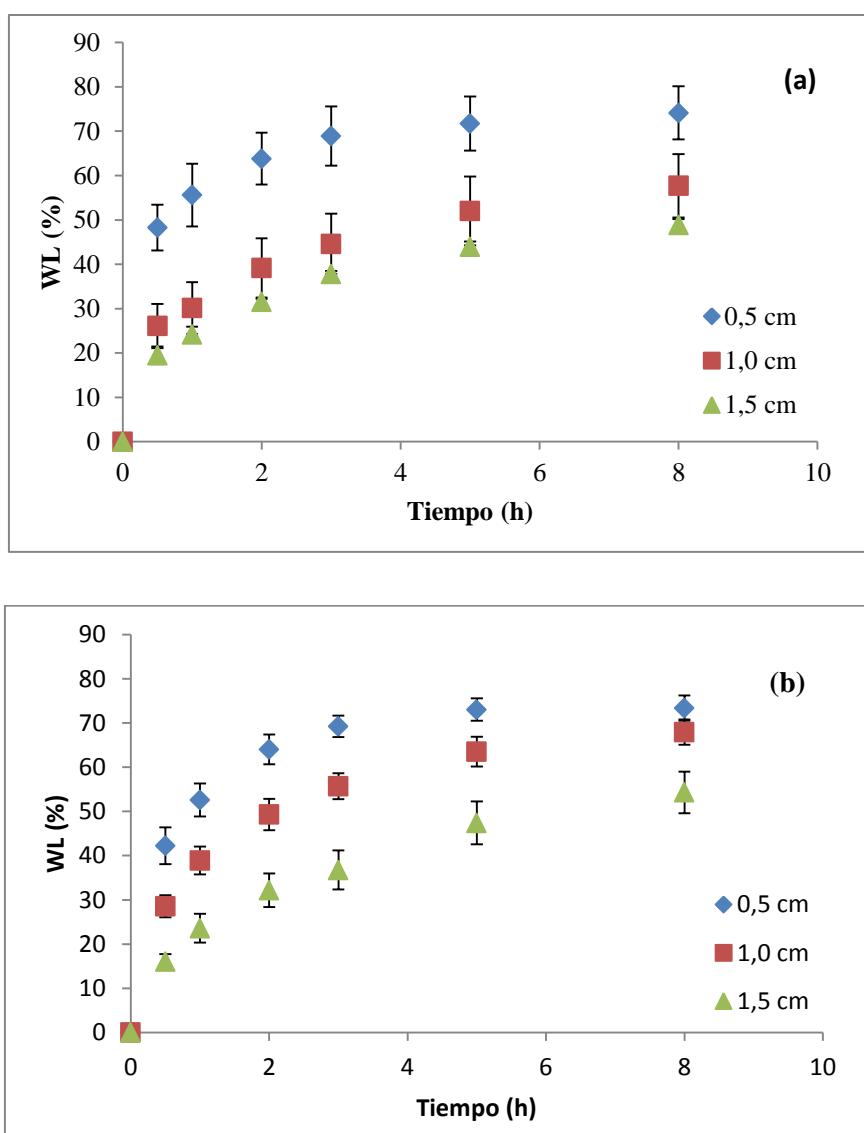


Figura I.7: Pérdida de agua de cubos de diferentes tamaños tratadas en solución de sacarosa 55°Bx (a) y 65°Bx (b).

Por otra parte, al analizar la concentración de solución a igual dimensión característica se observaron los menores valores de WL con la solución de 45°Bx para cubos de 0,5 cm y no se registraron diferencias significativas para las concentraciones mayores (Fig. I.8a) coincidiendo con Jokić *et al.* (2007) quienes no observaron un aumento en la WL de remolacha con el incremento de la concentración de sacarosa por encima de 60%. Sin embargo, con 1,0 cm se obtuvieron mayores valores de WL con 65°Bx a partir de las 5 h de tratamiento sin encontrarse diferencias significativas entre 45 y 55°Bx durante todo el proceso (Fig. I.8b), comportamiento similar al de los cubos de 1,5 cm de lado (datos no mostrados). Castilho García *et al.* (2007) tampoco

encontraron una relación definida entre estas variables durante la DO de zapallo (*C. moschata*), atribuyendo este fenómeno a diferencias en la composición inicial de la materia prima.

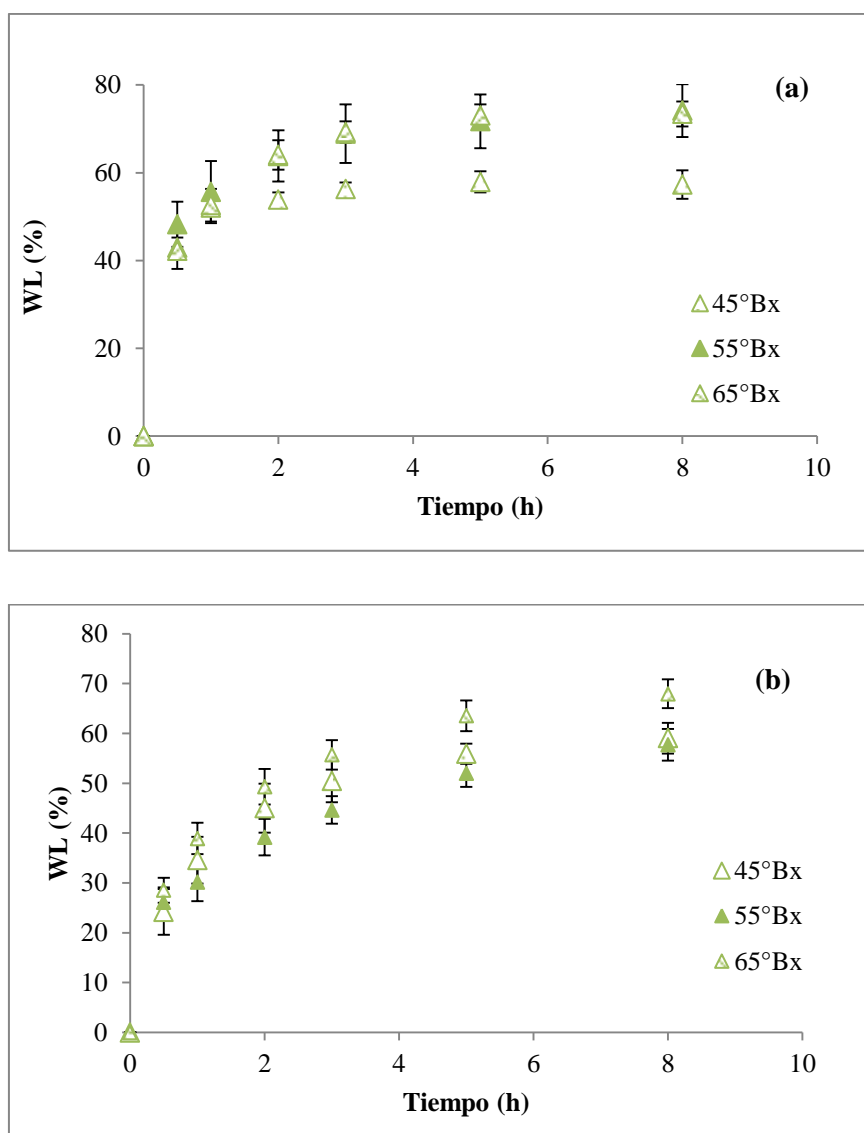


Figura I.8: Pérdida de agua de cubos de 0,5 (a) y 1,0 cm (b) en soluciones de sacarosa de diferente concentración.

Con respecto a SG, cuya evolución puede observarse en la Fig. I.9, se registró que la menor dimensión característica presentó una mayor incorporación de sacarosa (7,81% - 3 h DO) con la solución de 55°Bx, no encontrándose diferencias significativas para los otros tamaños. Igualmente, para la solución de 65°Bx (Fig. I.9b), la mayor SG se

registró en los cubos más pequeños; cabe destacar que no se observaron diferencias significativas entre las muestras de distintos tamaños para la solución de menor concentración (datos no mostrados). Según Vázquez-Vila *et al.* (2009) el aumento de la dimensión característica provoca una disminución del área por unidad de volumen que aumenta la resistencia a la transferencia de masa.

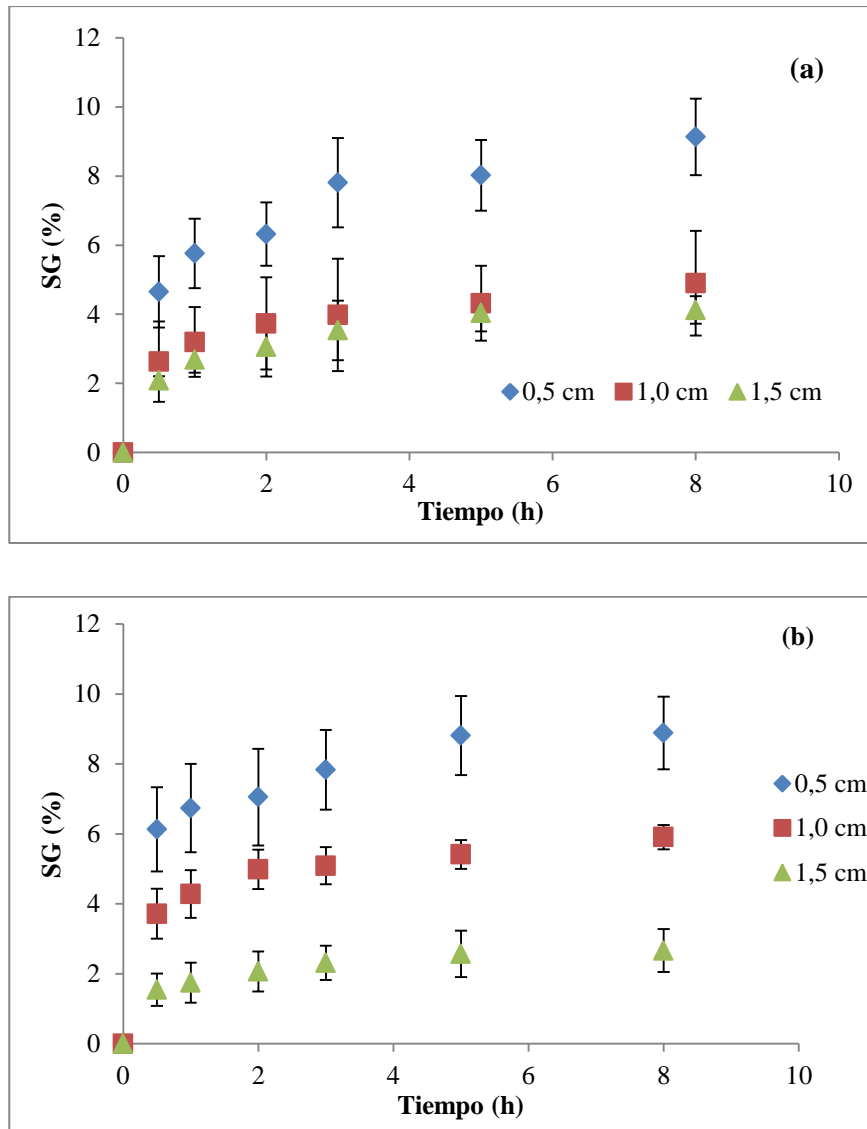


Figura I.9: Ganancia de sólidos para muestras de diferentes tamaños en solución de 55 (a) y 65°Bx (b)

Castilho García *et al.* (2007) encontraron para rodajas de zapallo (*C. moschata*) de 0,4 cm de espesor SG de 6,76 %, 8,21 % y 8,84 % con soluciones de sacarosa de 40, 50 y 60°Bx y 3 h de tratamiento, mientras que en este trabajo se encontraron valores de



5,94 %, 7,81 % y 7,84 % en cubos de 0,5 cm con concentraciones de 45, 55 y 65°Bx, respectivamente.

Si bien la fuerza impulsora aumenta con la concentración de la solución, se encontraron mayores SG cuando se utilizó una solución de 45°Bx para tiempos mayores a las 2 h de proceso y no se encontraron diferencias al emplear las otras concentraciones. A manera representativa de este comportamiento, la Fig. I.10 muestra los resultados obtenidos durante la DO de cubos de anco de 1,0 cm de lado. Arballo *et al.* (2012) deshidrataron rodajas de anco de 1,0 cm de espesor y observaron una menor SG con solución de 20°Bx sin encontrar diferencias significativas cuando emplearon soluciones de 40 y 60°Bx atribuyéndolo al aumento en la resistencia a la penetración de los sólidos debido al incremento de la viscosidad de la solución que da lugar a la formación de una capa superficial de azúcar (candyng effect) al igual que lo expresado por Ferrari y Hubinger (2008). Similares resultados fueron encontrados por Ferrari *et al.* (2010) en melón y Bellocq (2012) en anco.

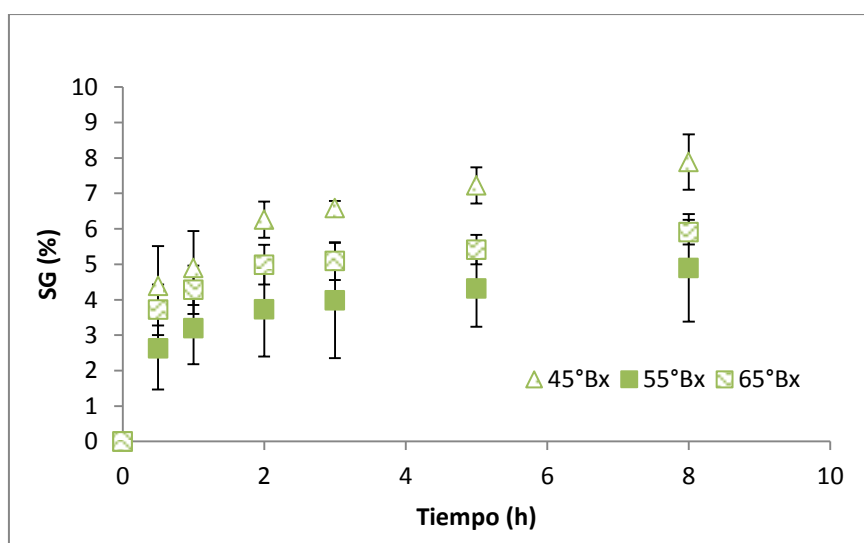


Figura I.10: Ganancia de sólidos para cubos de 1,0 cm en soluciones de sacarosa de diferentes concentraciones.

A partir de los datos registrados se calcularon los índices WL/SG, que miden la eficiencia del proceso de DO, y se muestra en la Tabla I.1. Se observa que para los cubos de 0,5 cm deshidratados con solución de 45°Bx, el índice descendió con el tiempo debido a la SG ya que WL permaneció prácticamente constante predominando, por lo tanto, el fenómeno de impregnación lo que podría deberse a la baja concentración

de la solución osmótica que permite que el flujo de soluto tenga menor resistencia y la SG sea superior (Bellocq, 2012). Para las soluciones de 55 y 65°Bx, los valores permanecieron prácticamente constantes durante todo el proceso. Para las muestras de 1,0 cm, se obtienen los menores valores del índice con la solución de 45°Bx y no se observaron diferencia significativas entre 55 y 65°Bx alcanzando valores promedio de 11. Kowalska *et al.* (2008) encontraron un índice de 8 en cubos de 1 cm de zapallo var. Justynka y Kowalska y Lenart (2001) obtuvieron un valor de 8,09 luego de 3 h de DO de cubos de zapallo var. Melonowa, pudiéndose atribuir esta diferencia a la menor relación producto/solución usada por estos autores (1:4) que limitaría la transferencia de masa. Con respecto a la mayor dimensión característica, se observa que cuanto mayor es la concentración de la solución de sacarosa, mayor es el índice, debido a la menor incorporación de sólidos, predominando el fenómeno de deshidratación sobre el de impregnación.

Tabla I.1: Valores del índice WL/SG para los tamaños ensayados con las distintas soluciones de sacarosa.

Tiempo (h)	0,5 cm					
	45°Bx		55°Bx		65°Bx	
	PROM	SD	PROM	SD	PROM	SD
0,5	11,15	2,14	10,90	3,51	7,20	2,34
1	9,88	1,14	9,86	2,10	8,08	2,19
2	8,28	2,04	10,20	1,42	9,40	2,45
3	9,47 <sup>c</sup>	0,98	9,01 <sup>c</sup>	1,93	9,23 <sup>c</sup>	2,67
5	7,02	1,06	9,01	1,03	8,61	2,26
8	5,45 <sup>d</sup>	2,03	8,16 <sup>d</sup>	0,77	8,65 <sup>cd</sup>	2,57
	1,0 cm					
0,5	6,13	2,14	10,70	2,88	7,93	1,97
1	7,10	0,67	10,32	1,74	9,32	2,15
2	7,22	1,02	11,07	0,64	10,26	2,57
3	7,67 <sup>cd</sup>	0,68	11,95 <sup>b</sup>	1,38	11,04 <sup>b</sup>	1,43
5	7,83	0,75	12,24	0,85	11,80	1,26
8	7,66 <sup>d</sup>	1,20	12,34 <sup>b</sup>	0,52	11,53 <sup>bc</sup>	0,93
	1,5 cm					
0,5	3,32	0,76	9,34	0,46	10,90	2,97
1	4,08	0,84	9,13	1,35	14,59	5,35
2	4,77	1,07	10,76	1,46	16,53	5,38
3	4,97 <sup>d</sup>	0,91	11,16 <sup>b</sup>	1,76	15,98 <sup>a</sup>	1,79
5	5,77	1,13	11,00	1,26	18,89	3,25
8	5,67 <sup>d</sup>	0,60	11,92 <sup>b</sup>	1,21	20,83 <sup>a</sup>	3,51

\*Valores con una misma letra para idéntico tiempo de tratamiento de DO, no difieren significativamente a  $p < 0,05$  con la prueba de LSD Fisher.

El análisis estadístico realizado, tanto a las 3 como 8 h de tratamiento, demostró que la interacción entre los efectos de las variables concentración y tamaño es significativa, obteniendo el mayor índice WL/SG ( $\approx 15$ ) para la combinación 1,5 cm/65°Bx seguida por las combinaciones 1 cm/55°Bx, 1 cm/65°Bx y 1,5 cm/55°Bx con valores de WL/SG  $\approx 11$  sin diferencias significativas entre ellas a las 3 h y con el mismo orden de relevancia para las 8 h de DO. Sin embargo, la solución de mayor concentración tendría como desventaja su alta viscosidad que requeriría una mayor potencia de agitación, correlacionada con un mayor costo energético (Chenlo *et al.*, 2002), y crearía problemas importantes como la flotación de piezas de alimentos lo que dificultaría el contacto entre éste y la solución (Ramya y Jain, 2016).

#### I.4.2. Modelado empírico de la DO

Los coeficientes de difusión efectivos que se obtuvieron con los modelos de Azuara y Hawkes y Flink se reportan en la Tabla I.2, con valores del orden de  $10^{-10}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) coincidiendo con los encontrados por Bellocq (2012) para anco, Abrãao *et al.* (2013) para zapallo y Silva *et al.* (2014) para ananá. Si bien no se observó una misma relación con la concentración de solución osmodeshidratante para los coeficientes de difusión de sólidos y agua, se encontró que  $D_{e,s}$  disminuye cuando aumenta la concentración para las muestras de 1,0 y 1,5 cm aplicando el modelo de Hawkes y Flink al igual que en los cubos de 1,5 cm cuando se aplicó el modelo de Azuara; similar tendencia fue reportada por Castilho García *et al.* (2007) en zapallo. Igualmente,  $D_{e,w}$  de Hawkes y Flink, aumentó con la concentración para los cubos más pequeños; por el contrario Mundada *et al.* (2011) no encontraron una tendencia de ambos coeficientes con la concentración de sacarosa para la deshidratación de granada.

Además, estos coeficientes disminuyeron con la reducción de la dimensión característica coincidiendo con lo encontrado por Falade *et al.* (2007) para rodajas de melón de diferentes espesores. Este comportamiento podría atribuirse a la variación del coeficiente de difusión con la cantidad de agua y/o sólidos presentes en el vegetal de acuerdo a lo reportado por Singh *et al.* (2007) quienes informaron que  $D_e$  es menor cuanto menor es la cantidad de agua, mayor la ganancia de sólidos y menor el tamaño.

Los valores de RMS para el ajuste del modelo de Azuara se mantuvieron entre 1,95 y 7,28 % para agua y entre 3,89 y 10,91 % para sólidos; para el modelo de Hawkes y Flink estos valores fueron 1,93 - 4,42 y 2,98 - 7,81%, respectivamente. Así, los valores encontrados se ajustaron muy bien a ambos modelos ( $R^2 > 0,95$ ) y con valores de RMS del orden del 10% o menores.

Tabla I.2: Valores de coeficiente de difusión y de ajustes de los datos experimentales a los modelos de Azuara y Hawkes y Flink.

		Agua				Sólidos			
		Azuara		H. y Flink		Azuara		H. y Flink	
Tamaño (cm)		$D_{e,w} \times 10^{10}$	RMS	$D_{e,w} \times 10^{10}$	RMS	$D_{e,s} \times 10^{10}$	RMS	$D_{e,s} \times 10^{10}$	RMS
		( $m^2/s$ )	(%)	( $m^2/s$ )	(%)	( $m^2/s$ )	(%)	( $m^2/s$ )	(%)
<b>45°Bx</b>	0,5	0,75	2,15	0,20	4,42	0,31	3,96	0,26	7,71
	1,0	3,55	1,95	4,52	4,28	3,05	5,58	3,96	5,95
	1,5	7,02	3,38	9,06	3,36	6,05	5,13	7,03	4,05
<b>55°Bx</b>	0,5	0,73	3,48	0,52	2,00	0,55	8,70	0,65	7,81
	1,0	2,14	7,28	2,40	2,05	2,12	6,81	2,53	5,18
	1,5	5,90	7,06	6,36	1,93	6,02	3,89	6,98	5,47
<b>65°Bx</b>	0,5	0,83	2,32	0,87	2,66	0,52	4,40	0,17	2,98
	1,0	3,05	2,05	3,61	3,14	2,64	5,49	1,40	4,67
	1,5	5,80	2,57	7,62	3,23	5,78	10,91	4,12	5,13

Los resultados obtenidos al aplicar el modelo de Peleg (Tabla I.3) indican que tanto la constante de velocidad como la de capacidad para la pérdida de agua aumentan con el espesor; por el contrario, no se observó una tendencia clara con la concentración concordando con lo informado por Park *et al.* (2002) para cubos de pera. Similar comportamiento con respecto al tamaño se observa en la constante de velocidad para la ganancia de sólidos y en la constante de capacidad para las mayores concentraciones de solución empleada. Ferrari y Hubinger (2008) no encontraron una clara tendencia de  $k_2$  con la concentración cuando deshidrataron cubos de melón en soluciones de sacarosa, al igual que en este trabajo.

Los coeficientes de correlación  $R^2$  y RMS indican un muy buen ajuste entre los datos experimentales y el modelo aplicado.

Tabla I.3: Coeficientes y parámetros de ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg.

<b>Agua</b>					
	<b>K<sub>1,w</sub></b>	<b>K<sub>2,w</sub></b>	<b>RMS</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	
	<b>(h(g/100g)<sup>-1</sup>)</b>	<b>(g/100g)<sup>-1</sup></b>	<b>(%)</b>		
<b>45°Bx</b>					
<b>Tamaño (cm)</b>					
0,5	0,0029	0,0168	2,15	0,99	
1,0	0,0118	0,0143	1,95	0,99	
1,5	0,0236	0,0220	2,76	0,99	
<b>55°Bx</b>					
0,5	0,0044	0,0133	3,47	0,99	
1,0	0,0145	0,0190	7,28	0,98	
1,5	0,0183	0,0208	6,88	0,98	
<b>65°Bx</b>					
0,5	0,0068	0,0125	2,32	0,99	
1,0	0,0109	0,0145	2,04	0,99	
1,5	0,0215	0,0233	2,54	0,99	
<b>Sólidos</b>					
	<b>K<sub>1,s</sub></b>	<b>K<sub>2,s</sub></b>	<b>RMS</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	
	<b>(h(g/100g)<sup>-1</sup>)</b>	<b>(g/100g)<sup>-1</sup></b>	<b>(%)</b>		
<b>45°Bx</b>					
<b>Tamaño (cm)</b>					
0,5	0,0519	0,1414	3,96	0,99	
1,0	0,0520	0,1326	5,58	0,99	
1,5	0,0671	0,1228	4,89	0,99	
<b>55°Bx</b>					
0,5	0,0280	0,1290	8,62	0,99	
1,0	0,0632	0,2857	6,81	0,98	
1,5	0,1034	0,2756	3,89	0,99	
<b>65°Bx</b>					
0,5	0,0258	0,1265	4,40	0,99	
1,0	0,0659	0,1693	5,49	0,99	
1,5	0,2569	0,3875	10,85	0,96	

### I.4.3. Parámetros fisiológicos y físico-químicos

#### I.4.3.1. Actividad de agua

Los valores de  $a_w$  del anco fresco fueron alrededor de 0,988, coincidiendo con el informado por Abraão *et al.* (2013).

En la Fig. I.11 se presentan los valores medidos de  $a_w$  para los distintos tamaños y concentración de sacarosa ensayados y se observa una disminución a medida que avanza el tiempo de DO, siendo más marcado el descenso para los cubos de menor dimensión en cualquiera de las concentraciones estudiadas, lo cual podría estar relacionado con la mayor WL alcanzada. Para las muestras de mayor tamaño sólo hubo diferencias significativas a partir de 2 h de tratamiento con las concentraciones de 55 y 65°Bx, alcanzándose valores finales de 0,939 y 0,944 para 1,0 cm y 0,970 y 0,958 para 1,5 cm, respectivamente.

El efecto del tamaño se evidencia más marcadamente en los valores de  $\Delta a_w$  a las 3 h de tratamiento, presentados en la Tabla I.4, ya que ésta disminuye a medida que aumenta la dimensión; porcentajes menores fueron determinados por Mújica-Paz *et al.* (2003) quienes encontraron una  $\Delta a_w$  de 0,61 a 1,11 % para rodajas de manzana de 1,2 cm de espesor deshidratadas con soluciones de sacarosa de 40 a 60°Bx.

Según Alzamora *et al.* (1993), valores de  $a_w$  mayores a 0,92 no son determinantes para la conservación del producto pero combinando otras barreras se pueden lograr alimentos con características similares a los frescos.

Tabla I.4: Depresión de actividad de agua ( $\Delta a_w$ ) para los diferentes tratamientos osmóticos aplicados.

Concentración (°Bx)	$\Delta a_w$ (%)		
	Tamaño (cm)		
	0,5	1,0	1,5
45	9,34	3,23	1,07
55	8,60	4,50	0,81
65	8,50	4,45	1,99

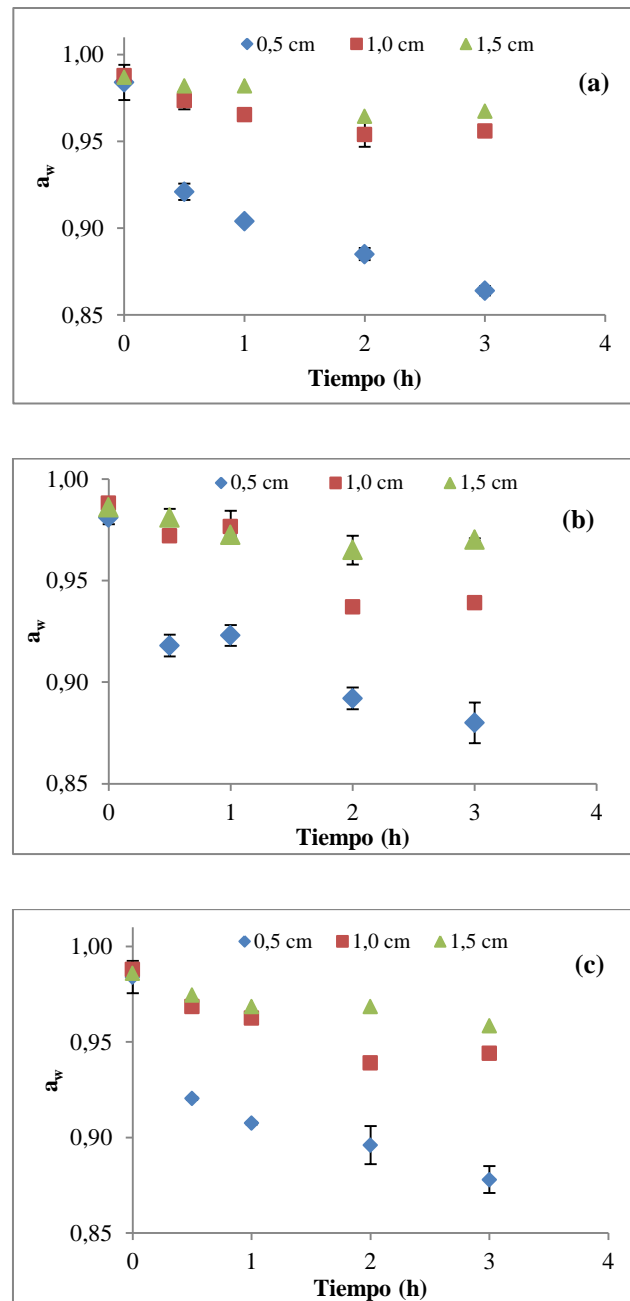


Figura I.11: Efecto del tamaño sobre la actividad de agua en cubos deshidratados en solución de sacarosa 45 (a), 55 (b) y 65°Bx (c).

### I.4.3.2. Intensidad respiratoria

La IR de los cubos se ve afectada por el grado de corte aumentado con la disminución del tamaño del producto, tal como se observa en la Fig. 1.12, inmediatamente después de efectuada la operación y hasta las 2 horas, período a partir

del cual la IR de los cubos de 0,5 cm fue menor a la de 1,0 cm. Este comportamiento confirmaría que el aumento del grado de corte produce un incremento en la IR debido al daño celular que se ocasiona, coincidiendo con lo expresado por Martínez *et al.* (2005), Iqbal *et al.* (2008) y Rodríguez *et al.* (2015).

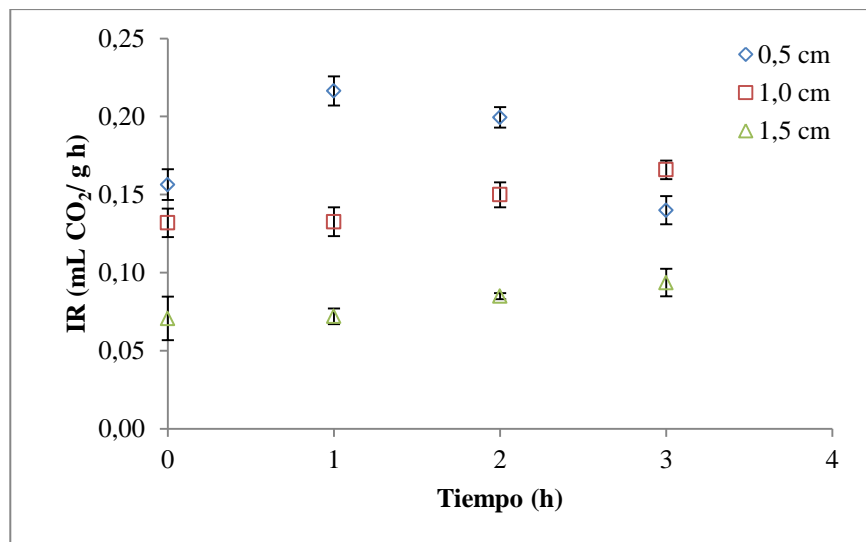


Figura I.12: Variación de la IR después del corte de cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm.

El efecto de la temperatura sobre la IR de cubos de 1,5 cm de lado, medida inmediatamente después del corte, se representa en la Fig. I.13 en la que se observa que ésta aumenta con el incremento de la misma. Cantwell y Suslow (2014), por su parte, reportaron una IR en zapallos enteros en un rango de 0,030 a 0,060 mL CO<sub>2</sub>/ g h a 25 °C mientras que Habibunnisa *et al.* (2001) encontraron que la IR de rodajas (espesor  $\approx$  3 cm) de zapallo (*C. máxima*) mínimamente procesado fue de 0,155 y 0,024 mL CO<sub>2</sub>/ g h a 28° y 5 °C, respectivamente, y similares a los registrados en este trabajo.



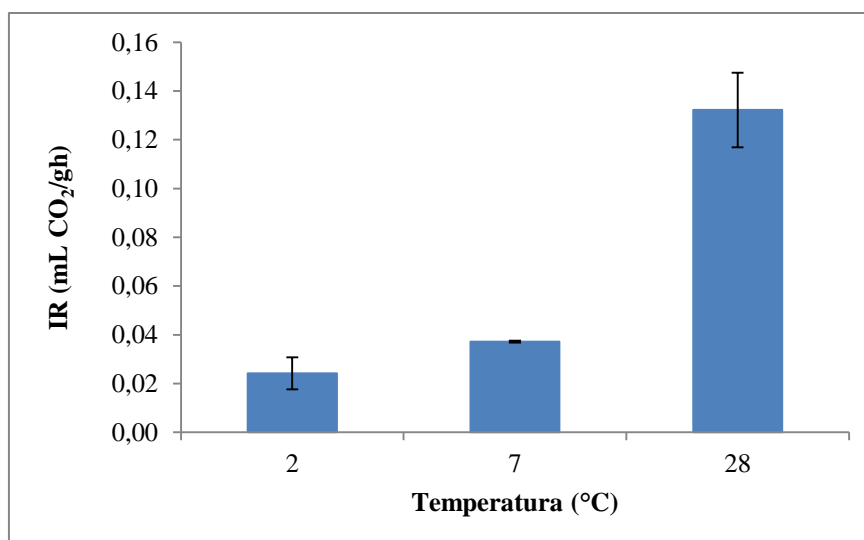


Figura I.13: Variación de la IR de cubos de anco almacenados a diferentes temperaturas.

Por otra parte, como se observa en la Fig. I.14, la DO disminuye en general la IR de los cubos de 0,5 y 1,0 cm deshidratados con solución de 55°Bx que se presenta a manera representativa debido a que el comportamiento con las otras soluciones fue similar. Para los cubos de mayor tamaño, sólo se registró una intensidad respiratoria menor cuando fueron tratados con solución de 45 y 65°Bx, no encontrándose diferencias significativas para el tratamiento con 55°Bx. Este comportamiento podría deberse al aumento del grado de células inviables y/o el colapso de la estructura celular en el tejido deshidratado (Castelló *et al.*, 2006) que se contrapone al incremento de la IR debida al corte, resultando de la suma de estos efectos una reducción neta de este parámetro.

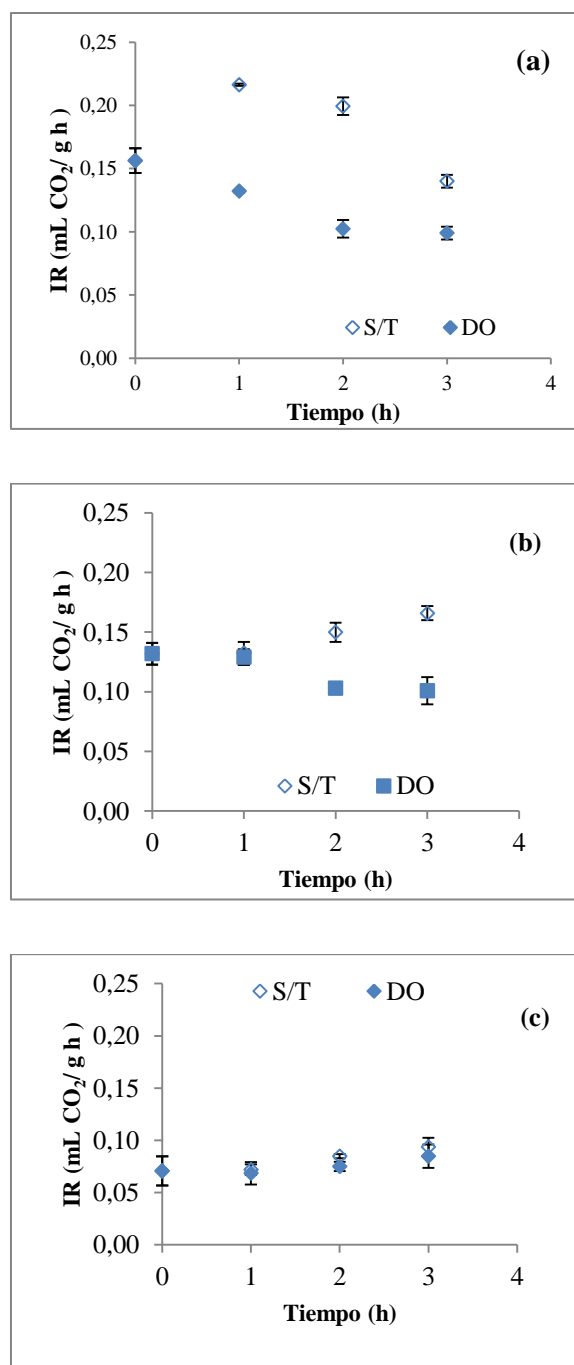


Figura I.14: Intensidad respiratoria de cubos de anco fresco y deshidratado osmóticamente de 0,5 (a), 1,0 (b) y 1,5 cm (c) en solución de sacarosa 55°Bx.

### I.4.3.3. Color

Los valores de los parámetros de color de los cubos de anco sin tratar fueron  $L^* = 71,97 \pm 2,39$ ,  $a^* = 12,36 \pm 1,37$  y  $b^* = 59,14 \pm 2,42$  los que proporcionaron un valor de  $C^* = 60,41 \pm 1,39$ , similares a los informados por Bellocq (2012).

Los valores relativos de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$  se muestran en las Fig. I.5 a I.17. En general, se observa una tendencia a la disminución de  $L^*$  con respecto al tiempo de DO, coincidiendo con otros autores (Heredia *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2006; Osorio *et al.*, 2007) y posiblemente debido a la deshidratación sufrida por las células (Cortez-Vega *et al.*, 2017). Por su parte, las variaciones de  $a^*$  y  $b^*$  presentaron comportamientos opuestos aumentando el primer parámetro y disminuyendo el segundo con el proceso de deshidratación que se traducen en un incremento del  $C^*$  que indica un color anaranjado más intenso. No se observaron tendencias claras con el tamaño ni con la concentración de la solución, coincidiendo con lo expresado por Moreno-Castillo *et al.* (2005), pero sí se observaron las mayores variaciones durante las primeras horas de proceso, donde la cinética de WL y SG es más rápida, coincidiendo con lo expresado por Heredia *et al.* (2009). Además, Krokida *et al.* (2001) sostienen que la incorporación de azúcares en las frutas provoca una relativa estabilidad en los parámetros de color tal como sucede para tiempos mayores de deshidratación. Por otra parte, la deshidratación favorece la pérdida de agua y genera un efecto de concentración en los pigmentos que alteran los parámetros de color (Silva *et al.*, 2014).

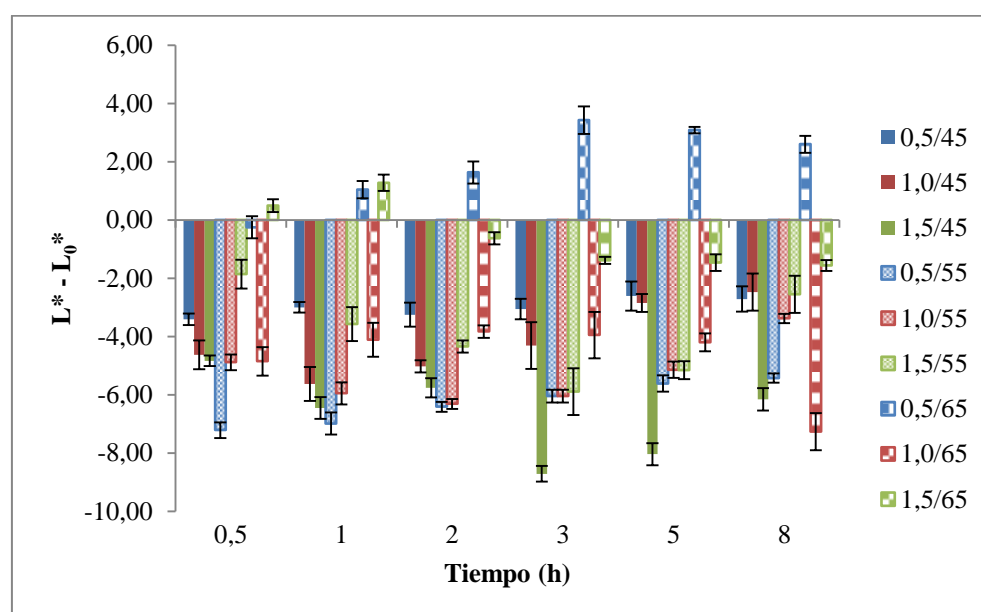


Figura I.15: Valores de  $L^*$  relativos a sus valores iniciales para anco de diferentes tamaños deshidratado en soluciones de sacarosa.

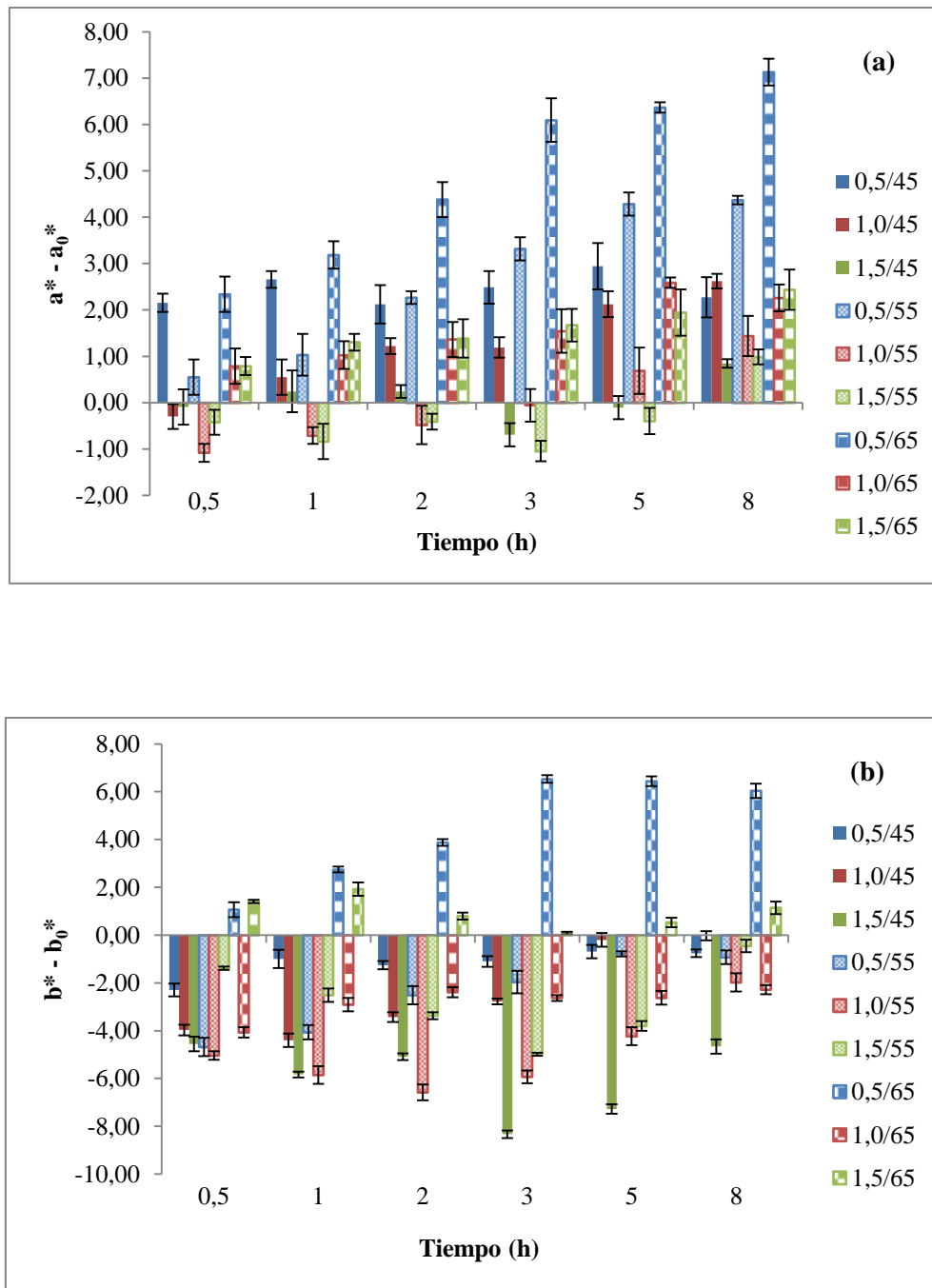


Figura I.16: Valores de  $a^*$  (a) y  $b^*$  (b) relativos a sus valores iniciales para anco de diferentes tamaños deshidratado en soluciones de sacarosa.

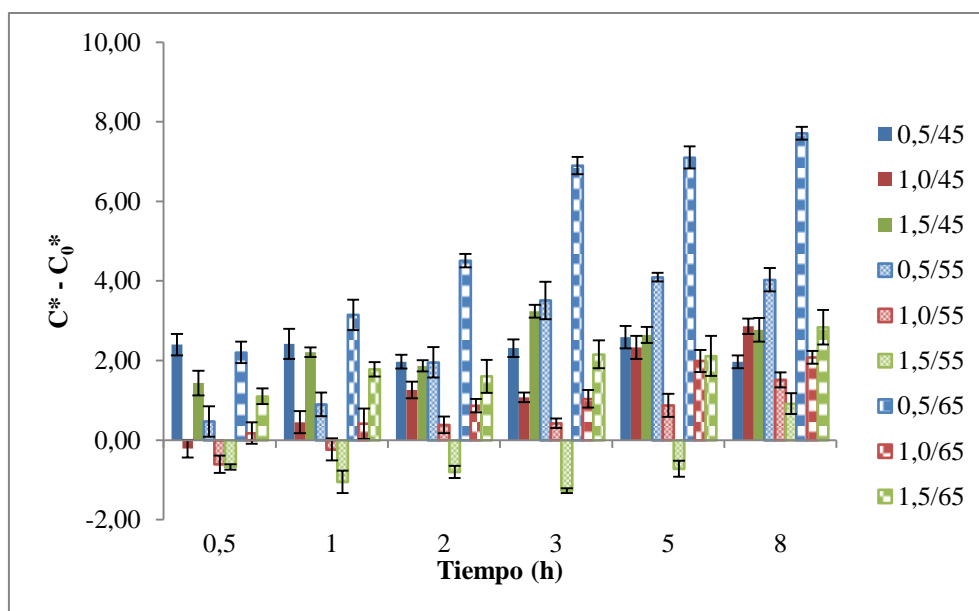


Figura I.17: Valores de  $C^*$  relativos a sus valores iniciales para anco de diferentes tamaños deshidratado en soluciones de sacarosa.

#### I.4.4. Análisis sensorial

Según Gamble *et al.* (2006), existe la necesidad de conocer las preferencias de los consumidores sobre la apariencia de un producto, ya que éstos deciden la compra en función de este atributo. Así, al realizar la prueba de preferencia por ordenamiento, los consumidores indicaron que el menor tamaño fue el menos preferido, no encontrándose diferencias significativas entre los cubos de 1,0 y 1,5 cm de lado. Por ejemplo, algunos de los comentarios expresados por los consumidores fueron “los cubos más grandes son más atractivos para acompañar platos o ensaladas” y “los cubos de 1,0 y 1,5 cm son apropiados para usar el tenedor”.

La prueba de triángulo es un tipo de prueba de discriminación utilizada comúnmente para determinar si existen diferencias sensoriales perceptibles entre dos muestras (Watts *et al.*, 1992). Con respecto a esta prueba, cuando se utilizó para comparar el efecto de la concentración de sacarosa en los atributos sensoriales del anco, el análisis de los resultados, de acuerdo con la tabla estadística correspondiente, indicó que no existen diferencias significativas, entre los cubos tratados con sacarosa de 45 y 55 °Bx. Azuara *et al.* (2002) tampoco obtuvieron diferencias significativas cuando evaluaron el sabor de manzanas deshidratadas osmóticamente con una solución de concentración de sólidos constante (700 g/kg) preparada con diferentes proporciones de

sacarosa y maltodextrina (90:10, 70:30 y 50:50), aunque ellos utilizaron una prueba hedónica de nivel de agrado. Esto revaloriza los resultados encontrados en esta tesis, dado que la prueba triangular se realiza con evaluadores entrenados, que demuestran mayor agudeza sensorial. Por otra parte es importante recalcar que es la prueba indicada para comparar el efecto que los tratamientos imprimen al producto de manera global, cuando no es posible caracterizarlo por la evaluación de 1 o 2 atributos individuales.

## 5. Conclusiones

- La WL fue mayor cuando se utilizó la menor dimensión característica aunque no se encontró una tendencia con respecto a la concentración de sacarosa utilizada como agente osmótico; WR presentó un comportamiento similar.
- A igual concentración de solución, la menor dimensión característica registró una mayor SG con las soluciones osmodehidratantes de 55 y 65°Bx comparada con las dimensiones mayores; además, este parámetro no varió en los cubos de 0,5 cm con la concentración de la solución y sólo se registraron valores más altos con la solución de 45°Bx para los cubos de 1,0 y 1,5 cm no encontrándose diferencias significativas para las otras concentraciones.
- El índice WL/SG para la combinación 1,5 cm/65°Bx resultó significativamente mayor a las 3 h de tratamiento, siguiendo en orden de magnitud las combinaciones 1,0 cm/55°Bx, 1,0 cm/65°Bx y 1,5 cm/55°Bx con valores de WL/SG  $\approx 11$ , sin diferencias significativas entre ellas.
- Se obtuvieron buenos ajustes para los modelos de Azuara, Hawkes y Flink y Peleg.
- La actividad de agua disminuyó con el tiempo de deshidratación osmótica, siendo mayor el descenso cuanto menor fue la dimensión sin influir la concentración de sacarosa empleada.
- La IR se vio afectada tanto por el corte como por el tratamiento de DO; mientras que el corte incrementó la IR, la deshidratación tuvo un efecto inverso.
- Las primeras horas de deshidratación causaron las mayores variaciones en el color de las muestras que tendieron a un anaranjado más apagado.
- De acuerdo a las pruebas sensoriales, los tamaños mayores fueron los más preferidos y los jueces no detectaron diferencias significativas con la concentración de sacarosa empleada.

- Se seleccionaron para los ensayos posteriores los cubos de 1,0 y 1,5 cm, por ser los de mayor preferencia, y las soluciones de 45 y 55°Bx ya que la de mayor concentración presentaría limitaciones tecnológicas.



**CAPITULO II:**  
**DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE**  
**ANCO CON**  
**SOLUCIONES TERNARIAS Y**  
**CUATERNARIAS**

## II.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que influye en la cinética de DO de vegetales es el tipo y concentración de solutos de la solución. Además, su elección depende del efecto sobre las propiedades organolépticas, su solubilidad, la permeabilidad de la membrana celular, su efecto estabilizador y costo (Ramya y Jain, 2016). Los más comunes son azúcares (principalmente para frutas) y sales (para verduras, carne y queso), con predominio del uso de sacarosa y cloruro de sodio (Antonio *et al.*, 2008). Sereno *et al.* (2001) refieren la conveniencia en la combinación de ambos solutos para obtener una pérdida de agua máxima con una baja ganancia de sólidos por parte del producto sin afectar significativamente su sabor, afirmación ésta compartida por Telis *et al.* (2004). Sin embargo, si bien el cloruro de sodio es un excelente agente osmótico para vegetales su uso es limitado debido al sabor salado que imparte al alimento (Lerici *et al.*, 1985; Antonio *et al.*, 2008) por lo que sólo se utiliza cuando permite mantener o mejorar la calidad del producto (Mayor *et al.*, 2006).

Lenart y Flink (1984a) encontraron que la mezcla de sal y azúcar redujo el contenido de agua comparado con la solución de sacarosa pura, debido a la gran incorporación de cloruro de sodio. Antonio *et al.* (2008) atribuyeron lo observado al aumento de los gradientes de presión osmótica que ocasiona valores de pérdida de agua más altos, a lo largo del período de ósmosis, debido a la adición de sal a la solución que, además, reduce la actividad del agua y permite una mayor tasa de penetración en el material por su bajo peso molecular. Sin embargo, Passo Tsamo *et al.* (2005) advirtieron el inconveniente de extender el tratamiento por más de 15 min y 20 horas en cebolla y tomate, respectivamente, ya que produce daños estructurales en la célula y altera el intercambio de masa.

El estudio de los parámetros cinéticos con el agregado de cloruro de sodio es complejo (Ahmed *et al.*, 2016) y varía en función del objetivo de la DO: obtener mayores WL y/o menores SG. Por ejemplo, Antonio *et al.*, (2008) encontraron que el agregado de sal incrementó la WL cuando deshidrataron batatas en soluciones binarias (sacarosa) y ternarias de sacarosa/NaCl; sin embargo, la disminución de SG sólo se verificó para la máxima concentración de sal usada. Por otra parte, Vasconcelos *et al.*,

(2012) obtuvieron menores valores de WL con soluciones binarias comparado con la ternaria cuando trataron tunas osmóticamente. Por lo tanto, la predicción y control de la relación WL/SG es un requerimiento básico para el diseño del proceso y, según Sacchetti *et al.*, (2001) para tratamientos de tejidos vegetales se trata de obtener altos valores de WL/SG reduciendo la impregnación. Para el caso de las cucurbitáceas, se encontraron algunos estudios donde se emplearon mezclas de solutos para su DO pudiéndose citar el trabajo de Mokhtarian *et al.* (2014), que optimizaron la deshidratación de cubos de zapallo (*Cucurbita* spp.) con soluciones osmóticas de sacarosa/NaCl; Manzoor *et al.* (2017) quienes evaluaron el efecto de soluciones ternarias en rodajas de calabaza; y, Derossi *et al.* (2008) que analizaron el comportamiento de *Cucurbita moschata* con el uso de soluciones cuaternarias (sacarosa/cloruro de sodio/ácido láctico).

La complejidad del estudio cinético con soluciones ternarias se traduce al modelado y algunos de los autores que trabajaron en este tema fueron Rodrigues y Fernandes (2007) en melón, Mercalli *et al.* (2011) en banana; Sacchetti *et al.* (2001) y Monnerat *et al.*, (2010) en manzana; Bambicha *et al.*, (2012) aplicaron en calabacita (anco), Torres Celis *et al.* (2013) en espárragos y Mokhtarian *et al.* (2014) así como Mayor *et al.* (2007b) en zapallo.

La textura es un atributo de calidad de los productos osmodeshidratados cuya importancia se ha incrementado considerablemente por lo que entender la estructura del alimento y cómo es afectada por la DO resultan relevantes (Ferrari *et al.*, 2013) ya que se producen modificaciones en las propiedades mecánicas que dependen de las condiciones de proceso y las características del producto (Chiralt *et al.*, 2001). Además, la firmeza de los productos frutihortícolas pueden sufrir modificaciones como consecuencia del pelado y troceado debido a factores enzimáticos, la transformación de protopectina en pectina soluble en agua, el engrosamiento de las paredes celulares, la difusión de azúcares a los espacios intercelulares y la pérdida de turgencia de las células, entre otros (Chan, 2005).

La adición de sales de calcio se utilizaron para reducir el daño causado a la estructura de la pared celular durante la DO (Sanjinez-Argandoña *et al.*, 2010). Éstas forman complejos con la pared celular y las pectinas de la lámina central mejorando la estructura y promoviendo tejidos más firmes (Ferrari *et al.*, 2010); además, la adición de

calcio puede incrementar la pérdida de agua, reducir la  $a_w$  e incrementar el contenido del mineral en frutas y vegetales (Silva *et al.*, 2014). Las sales de calcio más empleadas son: cloruro de calcio (Tortoe, 2010; Chauhan *et al.*, 2011; Mavroudis *et al.*, 2012; Molina Filho *et al.*, 2016; Rane y Dabhi, 2017) pero su uso está restringido por el sabor amargo y el desarrollo de sabores no característicos en el producto; gluconato de calcio (Anino *et al.*, 2006; Martín-Diana *et al.*, 2007); y, lactato de calcio (Torres *et al.*, 2006; Castelló Gómez, 2007; Barrera *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2014; Tappi *et al.*, 2017) que no deja sabores residuales, reduce el pardeamiento enzimático y aumenta la resistencia del tejido celular a los ataques bacterianos y fúngicos (Luna-Guzmán y Barrett, 2000; Barksi-Golan, 2001). Sin embargo, los estudios de la adición de calcio a la solución osmótica presentan resultados contradictorios; por ejemplo, Moraga *et al.* (2009) no encontraron diferencias en las propiedades mecánicas de pomelos deshidratados osmóticamente mientras que Castelló Gómez (2007) reportó que su efecto depende de la concentración utilizada. Igualmente, Ferrari *et al.*, (2013) y Pereira *et al.* (2010) advirtieron el enmascaramiento del sabor típico de frutas cuando utilizaron lactato de calcio.

## **II.2. OBJETIVOS**

### **II.2.1. General**

Estudiar el efecto del agregado de cloruro de sodio en la cinética de deshidratación y de lactato de calcio como agente de firmeza analizando su influencia en las características físico-químicas y sensoriales de los cubos de anco.

### **II.2.2. Específicos**

- Estudiar el efecto del agregado de cloruro de sodio a soluciones de sacarosa y el tamaño del producto en la cinética de DO.
- Evaluar el ajuste de los valores experimentales obtenidos a los modelos de Azuara, Peleg y Hawkes y Flink.
- Determinar la influencia del lactato de calcio como agente mejorador de la firmeza.
- Analizar las consecuencias de la DO en los parámetros de calidad del producto.
- Seleccionar el tamaño y la solución osmodeshidratante más conveniente.

## II.3. MATERIALES Y METODOS

### II.3.1. Materia prima

Los ancos, obtenidos del mercado local y seleccionados de acuerdo a los parámetros descritos en el Capítulo I, fueron lavados, pelados y cortados manualmente en cubos de 1,0 y 1,5 cm de lado.

### II.3.2. Proceso de DO

Se utilizaron soluciones osmóticas de sacarosa, cloruro de sodio y/o lactato de calcio de grado comercial, preparadas con agua destilada, según las indicaciones de la Tabla II.1.

Tabla II.1: Descripción de la composición de las soluciones osmóticas utilizadas.

<b>Solución</b>	<b>Composición</b>
a	Sacarosa 45°Bx
b	Sacarosa 55°Bx
c	Sacarosa 45°Bx-1% NaCl
d	Sacarosa 55°Bx-1% NaCl
e	Sacarosa 45°Bx-2% NaCl
f	Sacarosa 55°Bx-2% NaCl
g	Sacarosa 55°Bx-2% Lactato de Calcio
h	Sacarosa 55°Bx-2% NaCl-2% Lactato de Calcio

La DO de las soluciones binarias y ternarias de sacarosa-NaCl se realizó con la metodología descrita en el Capítulo I.

A fin de evaluar el efecto del agregado de calcio sobre la cinética y las propiedades mecánicas, cubos de 1,0 cm se deshidrataron osmóticamente con las soluciones b, f, g y h en vasos de precipitado con agitación magnética, manteniendo la temperatura a 30°C, y con una relación solución/producto de 5:1 ya que Bellocq (2012) reportó que por encima de relaciones 4:1 no se encontraron diferencias entre los valores cinéticos analizados durante la DO de cubos de anco con sacarosa y sal. Las muestras se extrajeron a 1, 3 y 5 horas de tratamiento, se lavaron con agua destilada para quitar la solución superficial y se secaron con papel absorbente.

### **II.3.2.1. Cinética de DO**

Tanto WR como el contenido de TS se determinaron siguiendo la metodología descrita en el punto I.3.2. del Capítulo I.

WR, WL y SG se calcularon con las ecuaciones I.1, I.2 y I.3 del Capítulo I y, además, se calculó el índice WL/SG.

### **II.3.3. Modelado empírico de la DO**

Los datos experimentales se ajustaron a los modelos de Azuara, Hawkes y Flink y Peleg según lo descrito en el apartado I.3.4.

### **II.3.4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

#### **II.3.4.1. Actividad de agua**

Para evaluar el efecto del agregado de sal, se determinó la  $a_w$  de las muestras deshidratadas con soluciones de sacarosa y sacarosa-NaCl a las 3 horas de tratamiento según lo detallado en el ítem I.3.5.1.

#### **II.3.4.2. Firmeza**

Para su medición se utilizó un ensayo de compresión simple con un analizador de textura TA.XT Plus (Stable Micro Systems) dotado de un cilindro de aluminio de 20 mm de diámetro a una velocidad de 2 mm/s (pre test y test) y 50% de deformación. Se realizaron 12 repeticiones en las muestras frescas y deshidratadas ubicándose los cubos centrados con respecto a la probeta (Fig. II.1). El área de contacto ( $A_0$ ) y la altura de cada cubo ( $H_0$ ) fueron medidas antes de la compresión, asumiendo que su volumen se mantiene constante durante el ensayo (Mayor *et al.*, 2007a).

Los datos de fuerza/distancia obtenidos fueron convertidos a esfuerzo ( $\varepsilon_H$ ) y deformación ( $\sigma_T$ ) de Hencky utilizando las ecuaciones II.1 a II.4, citadas por Norton *et al.* (2011).

$$\varepsilon_E = (H_0 - h) / H_0 \quad (\text{II.1})$$

$$\varepsilon_H = \ln(1 + \varepsilon_E) \quad (\text{II.2})$$

$$\sigma_E = F / A_0 \quad (\text{II.3})$$

$$\sigma_T = \sigma_E(1 + \varepsilon_E) \quad (\text{II.4})$$

donde  $\varepsilon_E$  y  $\sigma_E$  corresponden a esfuerzo y deformación de ingeniería, respectivamente, mientras que F y h son la fuerza de compresión aplicada y la altura de la muestra luego del ensayo, respectivamente.

El esfuerzo máximo o esfuerzo a la ruptura ( $\sigma_{\text{máx.}}$ , MPa) se obtuvo del pico de la curva esfuerzo vs. deformación (Silva *et al.*, 2014). El trabajo a la ruptura o dureza (W), definido como la energía que absorbe el material hasta el punto de ruptura por unidad de volumen, fue obtenido como el área bajo la curva esfuerzo vs. deformación hasta el punto de ruptura (Mayor *et al.*, 2007a). Finalmente la pendiente de la región lineal inicial fue usada para determinar el módulo de Young (Norton *et al.*, 2011).



Figura II.1: Medición de firmeza de anco por compresión con analizador TA.XT Plus.



### II.3.4.3. Análisis microbiológico

Para determinar el efecto del agregado de sales en la DO sobre el desarrollo microbiano, se realizaron determinaciones microbiológicas con las muestras obtenidas de los tratamientos b, f, g y h luego de 3 horas de inmersión. Los cubos tratados y frescos (testigo) se envasaron en bandejas plásticas que se recubrieron con película polietileno de baja densidad de 30  $\mu\text{m}$  (PEBD 30) y luego se almacenaron a 4 °C durante 10 días.

Se efectuaron recuentos de aerobios mesófilos (RAM), de aerobios psicrófilos (RAP) y de mohos y levaduras (MyL) por el método de recuento en placa según la metodología descrita por Gutiérrez (2016). Para ello, se colocaron 10 g de muestra en 90 mL de solución fisiológica dentro de una bolsa estéril que se homogeneizó por 90 s en homogeneizador (IUL Instruments, Barcelona, España) (Fig. II.2). Luego, se realizaron diluciones sucesivas y se sembró en profundidad, incubando a 37 °C para RAM durante 48-72 h, HyL a 25 °C durante 7-10 días y RAP a 5 °C durante 7-10 días. Los ensayos se realizaron a los 0, 7 y 10 días de almacenamiento, por duplicado, expresando los resultados como log UFC/g.



Figura II.2: Preparación de diluciones de muestras de anco (izquierda) y homogeneización (derecha) para recuentos microbiológicos.

### II.3.5. Análisis sensorial

Para el análisis sensorial, se utilizaron las muestras preparadas y almacenadas según el apartado anterior.

Se aplicó el método de puntaje compuesto, identificando como muestras 1, 2, 3 y 4 las deshidratadas con soluciones b, f, g y h, respectivamente.

El análisis sensorial se realizó, en una sala de evaluación sensorial, con ocho panelistas entrenados que evaluaron apariencia, olor, sabor y textura bucal analizando los factores de calidad que se detallan en la Tabla II.2 y que fueron consensuados en sesiones previas.

Tabla II.2: Planilla de evaluación de muestras con diferentes tratamientos utilizando el Test de Puntaje Compuesto.

Atributo	Factores de calidad	Puntaje parcial máximo	Puntaje de muestras				
			xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Apariencia	Forma	10					
	Color	10					
	Exudado	20					
Olor	Típico	10					
	Fermentado	20					
Sabor	Típico	20					
Textura Bucal	Conservada	10					

Los datos se multiplicaron por 0,1 a los efectos de obtener valores comprendidos entre 0 y 10 para facilitar su interpretación. Los resultados se analizaron estadísticamente a través del análisis de la varianza (ANOVA) y la prueba de LSD de Fisher para establecer diferencias entre las muestras.

### II.3.6. Análisis estadístico

Se realizaron las mismas pruebas estadísticas descritas en el punto I.3.8 del Capítulo anterior.



## II.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### II.4.1. Cinética de DO

#### II.4.1.1. Efecto del agregado de NaCl

Los valores experimentales obtenidos de WR, WL y SG con las soluciones binarias (soluciones a y b) y ternarias (soluciones c, d, e y f) se muestran en las Figs. II.3, II.4 y II.5, respectivamente. En ellas se observa la predominancia de WL comparado con SG y, en todos los casos, las mayores variaciones se producen durante las 3 primeras horas de tratamiento, a partir de las cuales se tiende al equilibrio.

La WR resultó ser mayor para los cubos de menor tamaño a igual concentración de solución osmodeshidratante. Por ejemplo, al cabo de 3 horas de deshidratación, los cubos de 1,0 cm sumergidos en solución 45°Bx-2% NaCl alcanzaron una pérdida de peso del 48,03% mientras que los cubos de 1,5 cm alcanzaron valores del orden de 29,04% (Fig. II.3.a). En general, para la mayor concentración de NaCl en la solución osmodeshidratante mayores son WR y WL, independientemente de la concentración de sacarosa empleada coincidiendo con los resultados obtenidos por otros autores (Passo Tsamo *et al.*, 2005; Mercali *et al.*, 2011; Monnerat *et al.*, 2010; Sacchetti *et al.*, 2001; Ozdemir *et al.*, 2008; Telis *et al.*, 2004). Sin embargo, la adición del 1% de sal a la solución no presentó, en general, diferencias significativas en estas variables cinéticas en comparación con los valores obtenidos con la solución binaria.

Valores de WL del mismo orden de magnitud fueron obtenidos por Kowalska y Lenart (2001) para cubos de 1,0 cm de zapallo var. Melonowa deshidratados con solución de sacarosa al 61.5 %. El efecto del tamaño de la muestra en la cinética de deshidratación fue analizado por van Nieuwenhuijzen *et al.* (2001) para anillos de manzana, quienes atribuyeron el incremento en WL con la disminución de la dimensión característica a la mayor relación superficie/volumen. Este comportamiento también fue verificado para otros productos como por ejemplo Chavarro-Castrillon *et al.* (2006) y Salvatori y Alzamora (2000).

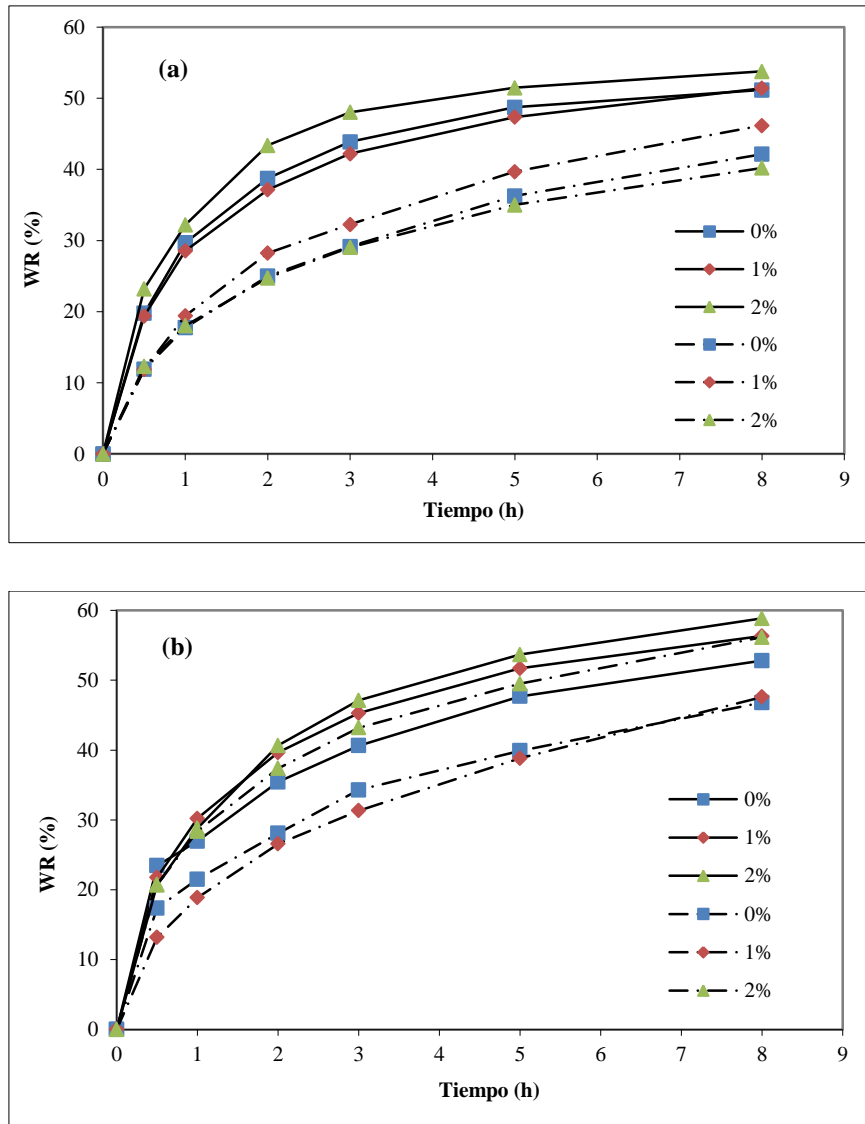


Figura II.3: Pérdida de peso (%) durante la deshidratación osmótica de cubos de anco de cubos de 1,0 cm (líneas llenas) y 1,5 cm (líneas cortadas) en soluciones binarias y ternarias de sacarosa de 45 (a) y 55°Bx (b).

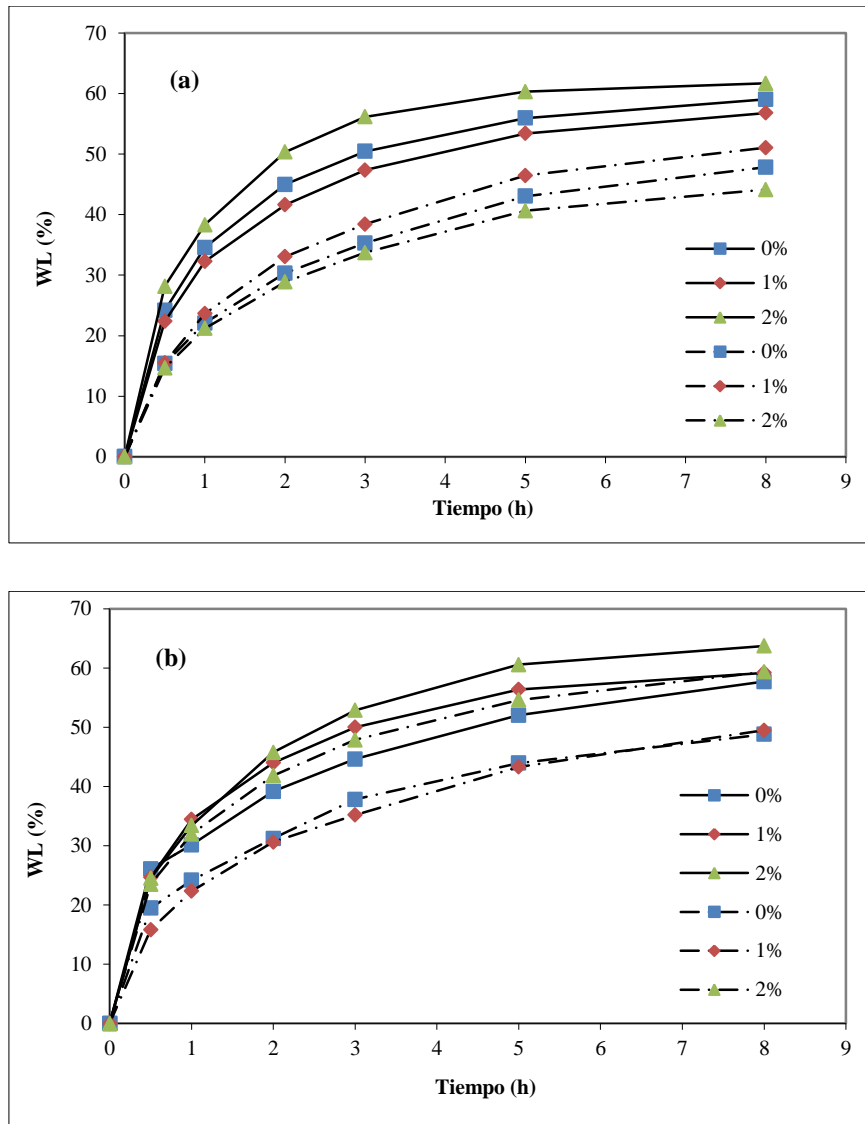


Figura II.4: Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de cubos de anco de 1,0 cm (líneas llenas) y 1,5 cm (líneas cortadas) en soluciones binarias y ternarias de sacarosa de 45 (a) y 55°Bx (b).

Al analizar los resultados de los SG (Fig. II.5), se observa que el agregado de sal en la concentración más baja no produjo cambios significativos; sin embargo, cuando la concentración de NaCl fue del 2%, en general se evidenció un aumento de este parámetro, tal como lo reportaron otros autores cuando emplearon soluciones ternarias con bajas concentraciones de sal (Jokić *et al.*, 2007; Sacchetti *et al.*, 2001). Cuando el agregado de sal en soluciones combinadas es de elevada concentración, se evidencia un aumento de SG con la concentración de sal (Azoubel *et al.*, 2004, Telis *et al.*, 2004) pero cuando lo es en baja concentración, no se evidencian efectos (Lerici *et al.*, 1985). Así, el efecto del agregado de sal en SG dependería de la concentración empleada,

probablemente debido al incremento del gradiente de presión osmótica y la consecuente pérdida de funcionalidad de la membrana que permite la entrada de sólidos (Jokić *et al.*, 2007, Herman-Lara *et al.*, 2013). Por otra parte, también se encontraron diferencias significativas en los valores obtenidos para las diferentes concentraciones de sacarosa, coincidiendo con los resultados obtenidos por Singh *et al.* (2008) para cubos de zanahoria de 1,0 cm, Mújica-Paz *et al.* (2003) para rodajas de manzanas sometidas a DO bajo vacío y Pereira *et al.* (2006) para guayabas rojas. Los menores valores de SG se observaron cuando se utilizaron soluciones binarias y ternarias de sacarosa 55°Bx. Ferrari y Hubinger (2008) atribuyeron este comportamiento al aumento en la resistencia a la penetración de los sólidos debido al aumento de la viscosidad de la solución que da lugar a la formación de una capa superficial de azúcar (candyng effect).

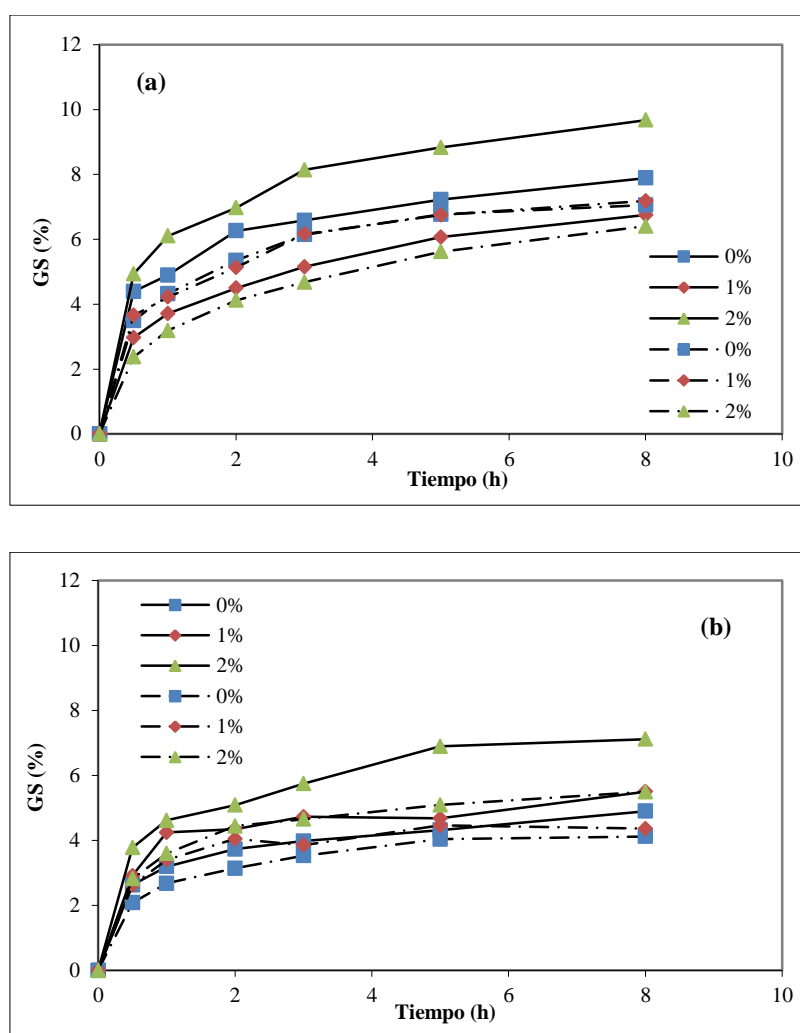


Figura II.5: Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de cubos de anco de 1,0 cm (líneas llenas) y 1,5 cm (líneas cortadas) en soluciones binarias y ternarias de sacarosa de 45 (a) y 55°Bx (b).

La variación del índice WL/SG se presenta en la Fig. II.6 para cubos de 1,0 y 1,5 cm. Cualquiera sea la dimensión característica, los valores más elevados se obtuvieron en muestras deshidratadas con soluciones binarias y ternarias de 55°Bx. Asimismo se observa que el índice permanece prácticamente constante luego de 3 horas de tratamiento por lo que no sería conveniente proseguir con la deshidratación por tiempos mayores cuando el propósito de la DO es la eliminación de agua. Mayor *et al.* (2006) observaron una tendencia similar durante la DO de cilindros de 1,5 cm de diámetro de zapallo (*Cucurbita Pepo* L.) en soluciones de cloruro de sodio al 10%. Los valores máximos, obtenidos con solución de sacarosa de 55°Bx, fueron 11,22 y 10,72 para cubos de 1,0 y 1,5 cm, respectivamente, mayores a los informados por Kowalska y Lenart (2001) para cubos de zapallo var. Melonowa.

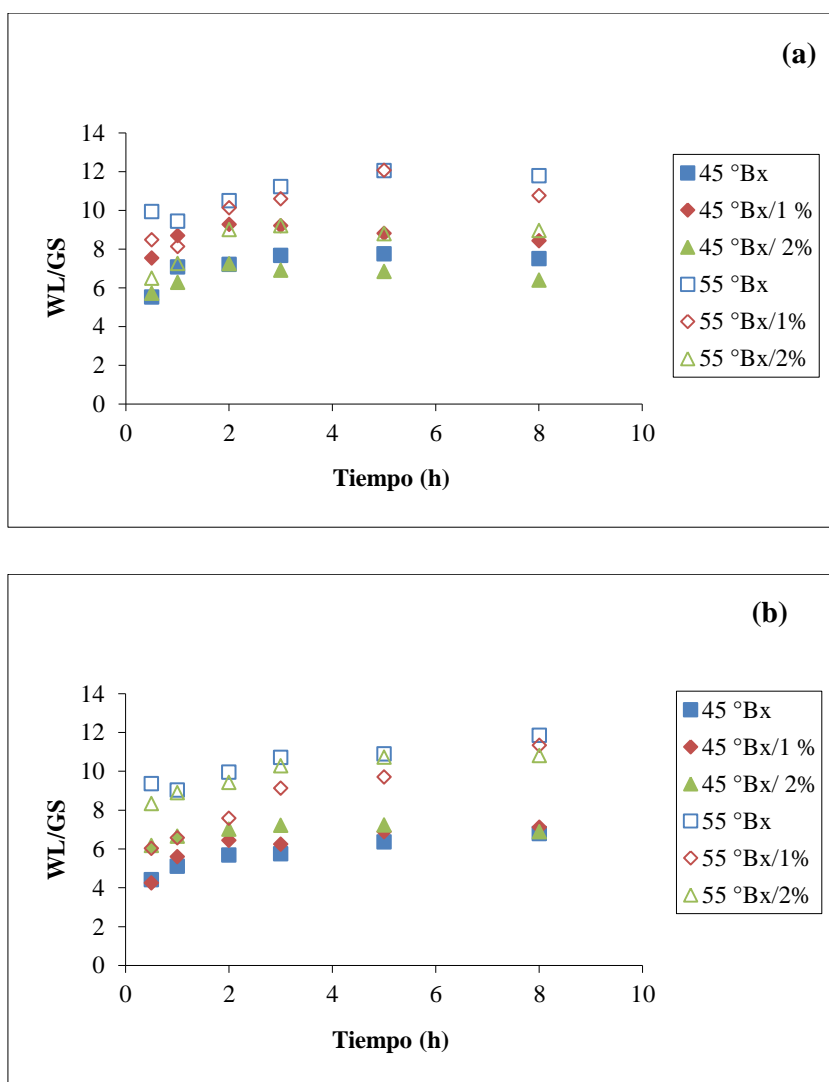


Figura II.6: Índice WL/SG de la DO de muestras de 1,0 (a) y 1,5 cm (b) en soluciones binarias y ternarias.



Arballo *et al.* (2012) identificaron como óptimas, para la DO de frutas y vegetales, combinaciones de tiempo de procesado de 114 a 240 min y concentración de sacarosa de 54 a 60°Bx. Así, en función de los datos cinéticos obtenidos y el índice WL/SG, las mejores condiciones para los cubos de anco serían 180 min y 55°Bx con o sin el agregado del 2% de NaCl debiéndose analizar el efecto de estas combinaciones en la  $a_w$ .

#### II.4.1.2. Efecto del agregado de lactato de calcio

En la Tabla II.3 se presentan los resultados de WL y SG obtenidos con las distintas soluciones para cubos de 1,0 cm luego de 1, 3 y 5 horas de deshidratación.

Se observó que la WL aumentó con el tiempo de DO en todos los casos. Además, a las 3 h de deshidratación, el agregado de otros solutos a la solución de sacarosa resultó en un incremento significativo de este parámetro. Según Lewicki y Lenart (2006), el agregado de NaCl facilita el proceso de deshidratación osmótica; además, Ferrari *et al.* (2013) reportaron un incremento de WL cuando deshidrataron cubos de melón en soluciones de sacarosa (40°Bx) y lactato de calcio (2%). Un comportamiento similar observaron también Pereira *et al.* (2006); Ferrari *et al.* (2010); Moraga *et al.* (2009); Tappi *et al.* (2017); entre otros, con el agregado de sales de calcio en la DO de guayaba, melón, pomelo y manzana, respectivamente. Al final del proceso, sólo se observaron diferencias significativas en las soluciones ternarias, siendo mayores con respecto a las soluciones cuaternaria y binaria, las cuáles no presentaron diferencias entre ellas. Silva *et al.* (2014) encontraron que, a igual concentración de sacarosa, el agregado de un 4% de lactato de calcio a la solución produjo un incremento en la variación de masa de cubos de ananá comparada con el testigo durante todo el proceso; sin embargo, el agregado del 2% de esta sal ocasionó un comportamiento diferente ya que sólo se incrementó este parámetro a las 6 h de deshidratación.

Con respecto a SG, al inicio de la DO no se observaron diferencias significativas entre las soluciones binaria y ternarias; sin embargo, a partir de las 3 horas el agregado sólo de lactato de calcio ocasionó una disminución significativa de SG coincidiendo con lo reportado por Ferrari *et al.* (2010), Silva *et al.* (2014) y Mavroudis *et al.* (2012), Schincariol Paes *et al.* (2019) entre otros.

Tabla II.3: WL y GS para tratamientos con sacarosa, con y sin el agregado de Cloruro de sodio y/o Lactato de calcio.

		Tratamiento			
Parámetro	Tiempo	55°Bx	55°Bx/ 2%NaCl	55°Bx /2% Lact	55°Bx /2%NaCl/ 2%Lac
WL (%)	1	24,4 <sup>ab,A</sup>	27,7 <sup>bc,A</sup>	27,5 <sup>bc,A</sup>	21,8 <sup>a,A</sup>
	3	31,4 <sup>c,B</sup>	36,8 <sup>d,B</sup>	36,5 <sup>d,B</sup>	36,1 <sup>d,B</sup>
	5	39,9 <sup>de,C</sup>	46,6 <sup>g,C</sup>	48,1 <sup>g,C</sup>	42,9 <sup>e,D</sup>
GS (%)	1	6,8 <sup>a,A</sup>	7,6 <sup>ab,A</sup>	6,5 <sup>a,A</sup>	8,3 <sup>b,A</sup>
	3	12,1 <sup>d,B</sup>	13,5 <sup>ef,B</sup>	10,9 <sup>c,B</sup>	13,1 <sup>def,B</sup>
	5	12,5 <sup>de,B</sup>	12,4 <sup>d,B</sup>	10,7 <sup>c,B</sup>	13,6 <sup>f,B</sup>

\*Valores con una misma letra minúscula para idéntico tiempo de tratamiento de DO y letra mayúscula en la misma columna, no difieren significativamente a  $p < 0,05$  con la prueba de LSD Fisher

Tappi *et al.* (2017) observaron, igualmente, que el agregado de lactato de calcio permitió menores contenidos de sacarosa luego de 4 h de proceso de cilindros de manzana. De acuerdo a estos autores, durante la DO se producen daños en los tejidos vegetales debido posiblemente a la liberación de enzimas que causan la despolimerización, solubilización y desmetilación de las pectinas, formadas por bloques de homogalacturonanos y que son componentes principales de la pared celular; luego, en presencia de cationes divalentes como el  $\text{Ca}^{+2}$ , el homogalacturonano puede dimerizarse, reforzando la adhesión celular y controlando la porosidad de la pared. Debido a este comportamiento, el calcio limitaría la impregnación de sacarosa debido a estas interacciones con la pectina. Esto está de acuerdo con lo expresado por Sereno *et al.* (2001), citado por Ferrari *et al.* (2010), quienes atribuyeron la disminución en los SG a la influencia del calcio en la estructura celular que causaría alteraciones en la permeabilidad de la membrana celular.

#### II.4.2. Modelado empírico de la DO

La Tabla II.4 muestra los valores obtenidos de los  $D_e$  calculados con los diferentes modelos para los tratamientos con soluciones binarias de sacarosa y ternarias de sacarosa/cloruro de sodio. En general, los valores obtenidos para la difusión del agua, aplicando el modelo de Hawkes y Flink, resultaron significativamente mayores ( $\alpha = 0,05$ ) que los obtenidos con el modelo de Azuara. Sin embargo, al referirnos a la

difusión de sólidos no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las condiciones ensayadas. Por otra parte, sólo se encontró un efecto significativo de la variable tamaño siendo mayores los coeficientes obtenidos para los cubos más grandes. Falade *et al.* (2007) encontraron similares resultados para rodajas de melón de diferentes espesores. Asimismo, la disminución en la concentración de sacarosa permitió obtener mayores valores de los  $D_e$  en general. De la misma manera, Rodrigues y Mauro (2008) encontraron que el coeficiente de difusión de agua promedio disminuía cuando aumentaba la concentración de la solución de sacarosa empleada para la deshidratación de rodajas de manzana mientras que el coeficiente de difusión de sólidos permanecía prácticamente constante. Además, Castilho Garcia *et al.* (2007) no encontraron una dependencia del  $D_{e,w}$  con la solución osmotizante, atribuyendo este comportamiento a una conjunción de factores opuestos. Los valores encontrados se ajustaron muy bien a ambos modelos ( $R^2 > 0,98$ ) no superando en ningún caso el 10% de RMS.

Tabla II.4: Coeficientes de difusión de agua y sólidos obtenidos con los modelos de Azuara y Hawkes y Flink para cubos de anco deshidratados osmóticamente.

		Agua				Sólidos				
		Azuara		H. y Flink		Azuara		H. y Flink		
		$D_{e,w} \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	RMS (%)	$D_{e,w} \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	RMS (%)	$D_{e,s} \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	RMS (%)	$D_{e,s} \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	RMS (%)	
45°Bx	Tamaño (cm)									
S/ sal	1.0	3.55	1.95	4.52	4.28	3.05	5.58	3.96	5.95	
	1.5	7.02	3.38	9.06	3.36	6.05	5.13	7.03	4.05	
	1%	1.0	3.50	1.34	4.46	4.11	1.82	6.10	2.25	4.50
		1.5	9.11	2.13	11.48	3.36	4.98	7.75	6.68	2.55
	2%	1.0	3.93	3.29	4.83	3.83	2.06	5.31	2.60	3.19
		1.5	6.98	2.55	9.63	2.56	6.15	9.41	7.70	2.84
55°Bx										
S/ sal	1.0	2.14	7.28	2.40	2.05	2.12	6.81	2.53	5.18	
	1.5	5.90	7.06	6.36	1.93	6.02	3.89	6.98	5.47	
1%	1.0	3.38	1.94	4.15	3.50	1.61	6.48	2.70	9.59	
	1.5	6.29	2.59	8.13	4.71	6.65	5.93	5.08	8.08	
2%	1.0	2.48	3.92	4.67	3.64	3.70	6.15	1.72	4.42	
	1.5	7.16	3.13	8.73	2.62	6.52	3.25	6.16	5.01	

Los parámetros de la ecuación de Peleg, calculados luego de 3 h de DO, tanto para WL como SG, se presentan en la Tabla II.5. El ajuste del modelo fue muy bueno en

todas las condiciones, manteniéndose los valores de RMS inferiores al 10% y valores de  $R^2$  superiores a 0,98. Además,  $k_{1,w}$  y  $k_{2,w}$  registraron diferencias significativas con el tamaño, siendo menores para cubos de 1,0 cm deshidratados con soluciones binaria o ternarias de 45°Bx y con la solución 55°Bx-1% NaCl; el agregado de 2% de sal ocasionó valores menores de las constantes sólo cuando se utilizó la solución de mayor concentración de sacarosa coincidiendo con Sacchetti *et al.* (2001) que encontraron resultados similares en bastones de manzana deshidratados en sacarosa con el agregado de igual porcentaje de NaCl. Con respecto a  $k_{1,s}$  no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas; sin embargo, al analizar los valores obtenidos de  $k_{2,s}$  se observó que sólo la concentración de sacarosa tuvo efecto significativo, siendo menores para la concentración más baja de azúcar.

Tabla II.5: Coeficientes de difusión de agua y sólidos obtenidos con el modelo de Peleg para cubos de anco deshidratados osmóticamente.

Agua					
		$K_{1,w}$	$K_{2,w}$	RMS	$R^2$
		$(h(g/100g)^{-1})$	$(g/100g)^{-1}$	(%)	
<b>45°Bx</b>					
<b>Tamaño (cm)</b>					
S/ sal	1,0	0,0137	0,0157	1,95	0,998
	1,5	0,0255	0,0208	3,38	0,992
1%	1,0	0,0145	0,0165	1,33	0,999
	1,5	0,0252	0,0178	2,13	0,997
2%	1,0	0,0113	0,0141	3,29	0,998
	1,5	0,0250	0,0219	2,55	0,997
<b>55°Bx</b>					
S/ sal	1,0	0,0216	0,0190	7,28	0,988
	1,5	0,0183	0,0212	7,06	0,981
1%	1,0	0,0130	0,0159	1,94	0,998
	1,5	0,0229	0,0211	2,59	0,997
2%	1,0	0,0145	0,0143	3,92	0,991
	1,5	0,0142	0,0165	3,13	0,996
Sólidos					
		$K_{1,s}$	$K_{2,s}$	RMS	$R^2$
		$(h(g/100g)^{-1})$	$(g/100g)^{-1}$	(%)	
<b>45°Bx</b>					
<b>Tamaño (cm)</b>					
S/ sal	1,0	0,0708	0,1301	5,58	0,992
	1,5	0,1079	0,1382	5,13	0,990
1%	1,0	0,1061	0,1723	6,10	0,989
	1,5	0,1107	0,1388	7,75	0,978
2%	1,0	0,0575	0,1087	5,31	0,985
	1,5	0,1670	0,1429	9,41	0,995
<b>55°Bx</b>					
S/ sal	1,0	0,1041	0,2432	6,81	0,983
	1,5	0,1186	0,2611	3,89	0,989
1%	1,0	0,0667	0,1981	6,48	0,989
	1,5	0,0631	0,2460	5,93	0,984
2%	1,0	0,0682	0,1667	6,15	0,987
	1,5	0,0912	0,1956	3,25	0,994

### II.4.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

#### II.4.3.1. Actividad de agua

El efecto del agregado de cloruro de sodio en las soluciones de sacarosa sobre la  $a_w$  se observa en la Fig. II.7, donde se muestran los valores obtenidos para las muestras de 1,0 cm a las 3 horas de DO a manera representativa dado que los cubos de 1,5 cm registraron una tendencia similar. Así, en soluciones ternarias de 45°Bx, la  $a_w$  se encuentra entre 0,94 y 0,95 mientras que para 55°Bx hubo una disminución significativa de este valor. Sin embargo, la concentración de sal agregada no evidenció diferencias significativa coincidiendo con Derossi *et al.* (2015), quienes reportaron que el uso de pequeñas cantidades de cloruro de sodio puede disminuir la  $a_w$  del producto no siendo afectada por su concentración.

Por otra parte, en la Fig. II.8 se presentan las  $a_w$  para ambos tamaños ensayados y se observa que se obtuvieron menores valores para los cubos de 1,0 cm tratados con solución ternaria probablemente debido a la mayor WL registrada. Además, el agregado de NaCl puede causar cambios estructurales de la membrana celular, lo cual afecta sus propiedades físicas e incrementa su permeabilidad, facilitando la penetración de sacarosa con una consecuente disminución de la  $a_w$  (Derossi *et al.*, 2015).

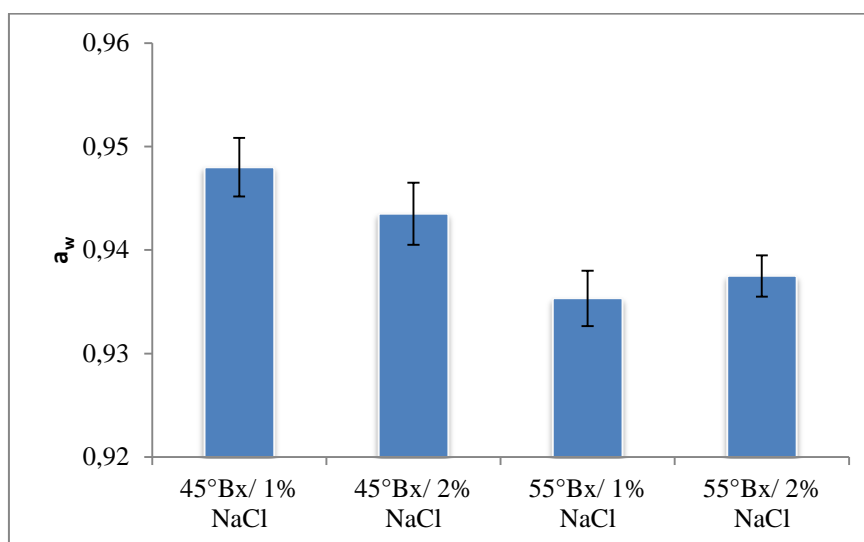


Figura II.7: Valores de  $a_w$  de cubos de anco de 1,0 cm sometido a diferentes soluciones osmóticas.

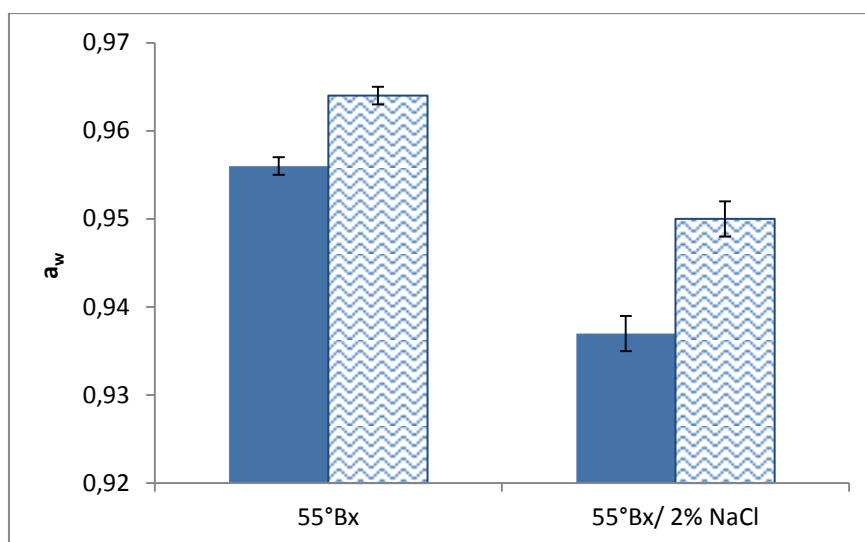


Figura II.8: Valores de  $a_w$  para cubos deshidratados de 1,0 (barras llenas) y 1,5 cm (barras tramadas) en solución binaria y ternaria de sacarosa/cloruro de sodio.

### II.4.3.2. Firmeza

Los valores de firmeza (Tabla II.6), expresados como esfuerzo máximo, variaron de 1,82 MPa en la muestra fresca a 0,26 MPa en todas las muestras al final del tratamiento de DO, cualquiera sea la solución empleada. En todos los casos, además, se verificó una disminución significativa de la firmeza con el tiempo de inmersión lo que, según Mayor *et al.* (2007a) y Ferrari *et al.* (2010), se debería a la pérdida de agua. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las soluciones cuando se agregaron cloruro de sodio o lactato de calcio o ambos, coincidiendo con los resultados de Castello *et al.* (2009) en rodajas de manzana y de Moraga *et al.* (2009) cuando deshidrataron pomelo bajo vacío. Por otra parte, Ferrari *et al.* (2010) reportaron que el uso esta sal de calcio, entre 0,5 y 1,5%, optimizó la firmeza de cubos de melón osmodeshidratados pero la adición del 2% demostró tener un efecto contrario, debido a los daños estructurales que causa. Asimismo, Silva *et al.* (2014) reportaron que la adición de lactato de calcio, en concentraciones superiores a 1,5 %, a la solución de sacarosa de 40°Bx disminuyó el esfuerzo máximo de rodajas de ananá, comparado con muestras frescas, justificando este comportamiento al incremento de la plasmólisis celular y la disolución de pectinas. Pereira *et al.* (2007) estudiaron el comportamiento de cloruro y lactato de calcio en la DO de guayabas y observaron que éste último logró menores valores de firmeza, a idénticas concentraciones de sal, debido a que se obtienen menores cantidades de calcio libre por lo que la fuente de calcio sería determinante de este comportamiento.

Tabla II.6: Valores de esfuerzo máximo de anco sometido a diferentes soluciones osmóticas.

Tiempo	$\sigma_{\text{máx}}$ (Mpa)				
	Fresco	55°Bx	55°Bx/ 2%NaCl	55°Bx /2% Lact	55°Bx /2%NaCl/ 2%Lac
0	1,82 <sup>d</sup>				
1		1,12 <sup>c,A</sup>	0,81 <sup>bc,A</sup>	1,04 <sup>c,A</sup>	1,00 <sup>c,A</sup>
3		0,42 <sup>a,A</sup>	0,28 <sup>a,A</sup>	0,42 <sup>a,A</sup>	0,46 <sup>ab,A</sup>
5		0,25 <sup>a,A</sup>	0,26 <sup>a,A</sup>	0,27 <sup>a,A</sup>	0,26 <sup>a,A</sup>

\*Valores con una misma letra minúscula en la misma columna y letra mayúscula para idéntico tiempo de tratamiento de DO, no difieren significativamente a  $p < 0,05$  con la prueba de LSD Fisher

Con respecto al módulo de Young, los valores obtenidos para el tejido fresco coinciden con los reportados por Mayor *et al.* (2007a) para zapallo. Además, su valor disminuyó un 90% luego de 1 hora de deshidratación, alcanzándose niveles de 0,06 MPa, aproximadamente, los que se mantuvieron constante para tiempos mayores; sin embargo, no hubo diferencias entre las muestras deshidratadas con las distintas soluciones ensayadas. Chiralt *et al.* (2001) observaron también una disminución en este parámetro en muestras deshidratadas de kiwi, frutilla y mango. Un comportamiento similar se observó en W, el cual descendió de 0,158 a 0,004 J al final del tratamiento, sin encontrarse diferencia entre las muestras tratadas (Tabla II.7).

Tabla II.7: Valores módulo de Young y trabajo con el tiempo de DO para las diferentes tratamientos osmóticos de anco.

Tiempo (h)	55°Bx	55°Bx-2%NaCl	55°Bx-2%Lact.	55°Bx-2%NaCl-Lact.
Módulo de Young (MPa)				
0	1,692 <sup>a,A</sup>	1,692 <sup>a,A</sup>	1,692 <sup>a,A</sup>	1,692 <sup>a,A</sup>
1	0,064 <sup>b,A</sup>	0,057 <sup>b,A</sup>	0,069 <sup>b,A</sup>	0,069 <sup>b,A</sup>
3	0,075 <sup>b,A</sup>	0,048 <sup>b,A</sup>	0,057 <sup>b,A</sup>	0,049 <sup>b,A</sup>
5	0,058 <sup>b,A</sup>	0,047 <sup>b,A</sup>	0,071 <sup>b,A</sup>	0,050 <sup>b,A</sup>
W (J)				
0	0,158 <sup>a,A</sup>	0,158 <sup>a,A</sup>	0,158 <sup>a,A</sup>	0,158 <sup>a,A</sup>
1	0,027 <sup>b,A</sup>	0,020 <sup>b,A</sup>	0,017 <sup>b,A</sup>	0,028 <sup>b,A</sup>
3	0,007 <sup>c,A</sup>	0,005 <sup>c,A</sup>	0,005 <sup>c,A</sup>	0,009 <sup>c,A</sup>
5	0,004 <sup>c,A</sup>	0,004 <sup>c,A</sup>	0,004 <sup>c,A</sup>	0,004 <sup>c,A</sup>

\*Valores con una misma letra minúscula en la misma columna y letra mayúscula para idéntico tiempo de tratamiento de DO, no difieren significativamente a  $p < 0,05$  con la prueba de LSD Fisher



### II.4.3.3. Recuentos microbiológicos

Los valores iniciales de recuentos de los cubos de anco fresco fueron 2,5, 2,3 y < 2 log UFC/g para AM, AP y MyL, respectivamente. La Tabla II.8 muestra los valores de estos recuentos a los 7 y 10 días de almacenamiento refrigerado; para el período de almacenamiento más corto sólo se registraron diferencias significativas entre el control y las muestras tratadas que no evidenciaron diferencias entre sí. Al comparar estos resultados con el producto fresco, se observó el efecto positivo en el RAM tanto de la DO como del agregado de sales en el retraso del crecimiento microbiano. Sin embargo, a los 10 días de almacenamiento los recuentos menores se obtuvieron en las muestras tratadas con soluciones ternarias y cuaternarias por lo que el agregado de sales a la solución osmodeshidratante redundaría en beneficio de la calidad microbiológica del producto. En ese sentido, Moraga *et al.* (2009) y Luna-Guzmán y Barreto (2000) reportaron que el lactato de calcio mejora la calidad microbiológica prolongando la vida útil de pomelo deshidratado osmóticamente y melón fresco cortado.

Tabla II.8: Recuento microbiológico luego de 7 y 10 días de almacenamiento de muestras con diferentes tratamientos.

Solución DO	RAM (log UFC/g)		RAP (log UFC/g)		MyL (log UFC/g)	
	7 d	10 d	7 d	10 d	7 d	10 d
Sin tratamiento	6,17	6,90	4,5	6,08	4,04	4,45
55°Bx	2,94	6,32	< 2	4,81	< 2	2,60
55°Bx-2%NaCl	3,46	4,85	< 2	3,32	< 2	2,48
55°Bx-2%Lact.	3,00	4,50	< 2	3,54	< 2	2,48
55°Bx-2%NaCl-Lact.	3,32	4,95	< 2	3,74	< 2	2,70

### II.4.4. Análisis sensorial

“Los resultados obtenidos del análisis sensorial no arrojaron diferencias significativas a los 7 días de almacenamiento en cuanto a la calidad global entre los tratamientos 0 y 1, siendo estos valores significativamente mayores con respecto a los restantes (datos no mostrados).

En la Tabla II.9 se presentan los resultados obtenidos de la prueba sensorial, a los 10 días de almacenamiento, y se observa que el olor fue el atributo que obtuvo el puntaje más bajo en los cubos frescos, siguiendo en orden de importancia la apariencia general y la textura, para el tratamiento 0; estos valores impactaron en el bajo puntaje obtenido de la calidad global. Por otra parte, la adición de sales permitió obtener puntajes más altos (con sales: 8,6; 6,9 y 7,2, sin sales: 1,6 y 1,8).

En el mismo sentido, la puntuación de la apariencia general para el tratamiento 0 impactó en la calidad global. Además, el agregado de lactato de calcio a la solución de sacarosa (tratamiento 3) disminuyó el puntaje asignado a este atributo, que fue similar al de la muestra fresca. Por otra parte, el puntaje más alto lo obtuvo el tratamiento 1, seguido en orden de importancia por el tratamiento 2 y el tratamiento 4. Otros autores (Sgroppo y Sosa, 2005), quienes trabajaron con anco cubeteado almacenado durante 9 días a 5 °C, informaron que los cambios en el aspecto superficial y la pérdida de la apariencia de “fresco”, fueron los que le otorgaron un índice de calidad global a este producto inferior al límite de aceptabilidad establecido.

Tabla II.9: Puntajes obtenidos de la prueba sensorial para cubos de anco con DO en diferentes soluciones durante 10 días de almacenamiento.

Día 10					
Tratamiento	Ap. Gral	Olor	Text.	Sabor	Global
0	5,0 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>	8,0 <sup>b</sup>	4,6 <sup>a</sup>
1	9,5 <sup>d</sup>	1,8 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>	9,7 <sup>c</sup>	7,1 <sup>c</sup>
2	8,8 <sup>c</sup>	7,2 <sup>b</sup>	7,7 <sup>b</sup>	7,7 <sup>b</sup>	8,0 <sup>d</sup>
3	4,8 <sup>a</sup>	6,9 <sup>b</sup>	8,7 <sup>b</sup>	8,7 <sup>bc</sup>	6,7 <sup>b</sup>
4	7,8 <sup>b</sup>	8,6 <sup>c</sup>	8,3 <sup>b</sup>	4,3 <sup>a</sup>	7,4 <sup>c</sup>

\*Valores con una misma letra no difieren significativamente a  $p < 0,05$  con la prueba de LSD Fisher

El agregado de lactato de calcio a la solución ternaria de sacarosa y NaCl, tuvo un efecto negativo en el sabor del producto ya que la muestra sometida al tratamiento 4 obtuvo el menor puntaje para este atributo.

En cuanto a la textura, la DO fue el factor que permitió mantener puntajes altos ya que solo se observó diferencia significativa entre la muestra fresca y las deshidratadas sin evidenciarse diferencias entre estas últimas.

La calidad global fue significativamente mejor ponderada en los cubos sometidos al tratamiento 2 seguido de los tratamientos 4 y 1, 3 y 0 por lo que se podría inferir que los jueces privilegiaron aquellas muestras que ostentaron puntajes similares para cada uno de los atributos en forma individual, como se advierte en el tratamiento 2. Pereira *et al.* (2010), si bien realizaron una prueba de aceptación sensorial, encontraron una menor preferencia de guayabas deshidratadas con sacarosa y maltosa adicionadas con lactato de calcio debido al enmascaramiento del dulzor. Por su parte, Ferrari *et al.* (2013) encontraron resultados similares a los 14 días de almacenamiento de cubos de melón tratados con calcio adjudicando la disminución de la aceptación sensorial por parte de los consumidores también al enmascaramiento del sabor típico.

## II.5. Conclusiones

- La WR y WL resultó ser mayor cuando el tamaño de los cubos de anco fue menor; lo mismo se observó con el agregado de 2% de NaCl mientras que la concentración menor de sal no produjo diferencias significativas con respecto a la solución binaria en dichos parámetros.
- La adición de la mayor concentración de NaCl produjo un aumento en los SG mientras que los menores valores se obtuvieron con soluciones binarias y ternarias de sacarosa de 55 °Bx.
- El índice WL/SG permaneció prácticamente constante a partir de las 3 horas, por lo que no sería conveniente extender el tratamiento. Además, se obtuvieron los mayores valores del índice en soluciones binarias y ternarias de sacarosa 55°Bx y cloruro de sodio (1-2%).
- Los datos experimentales ajustaron muy bien a los modelos matemáticos de Azuara, Hawkes y Flink y Peleg ( $R^2 > 0,98$ ) no superando en ningún caso el 10% de RMS.
- Las soluciones ternarias y cuaternarias aumentaron WL, sin encontrarse diferencia entre ellas, y el agregado de lactato de calcio permitió una menor SG; sin embargo, esta sal no mejoró la firmeza del producto.
- El agregado de 2% de NaCl disminuyó la  $a_w$  de las muestras deshidratadas y se obtuvieron menores valores para cubos de 1,0 cm.
- Las sales utilizadas retrasaron el crecimiento microbiano a los 10 días de almacenamiento de muestras deshidratadas osmóticamente; sin embargo, desde el punto de vista sensorial, las muestras que resultaron de mejor calidad global fueron las sometidas a tratamiento osmótico de sacarosa y NaCl (55°Bx-2%) a dicho tiempo.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se seleccionaron para los ensayos posteriores de vida útil, cubos de 1,0 cm y solución de sacarosa/NaCl (55°Bx/2%).

**CAPÍTULO III:**

**VIDA ÚTIL DE ANCO**

**MÍNIMAMENTE PROCESADO**

### III.1. INTRODUCCIÓN

Como ya se comentó en los capítulos anteriores, la DO es un tratamiento que disminuye la  $a_w$  de los vegetales pero no lo suficiente para impedir la proliferación de microorganismos por lo que es necesario combinarla con otros métodos de conservación (Lewicki y Lenart, 2006) aplicando el concepto de tecnología de barreras. Así, la DO y el envasado en atmósfera modificada puede ser una alternativa viable para la obtención de productos mínimamente procesados de calidad y con vida útil prolongada (Pereira *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2006) aumentando su estabilidad microbiológica y preservando sus características sensoriales como consecuencia de la reducción del contenido de humedad, la disminución del oxígeno disponible para los tejidos y el aumento de la concentración de gas carbónico (Rodrigues *et al.*, 2008). En ese sentido, se pueden mencionar los trabajos realizados por Rodrigues (2005) en mango, Sanjinez-Argandoña *et al.* (2010) en kiwi, Pereira *et al.* (2004, 2010) en guayaba y Castelló Gómez (2007) en frutilla y manzana, entre otros.

Las condiciones de procesamiento y almacenamiento determinan en gran medida la vida útil de los VMP, limitada por los cambios de composición, fisiológicos y microbiológicos que afectan su calidad (Chafer *et al.*, 2007). Además, la vida útil de estos productos debe ser lo suficientemente prolongada para permitir su distribución (Castelló *et al.*, 2009) y satisfacer la demanda de los consumidores que requieren productos listos para usar de calidad mayor o igual a la del producto entero (Rodrigues *et al.*, 2008). Es por ello que existe un gran interés en evaluar la calidad desde el punto de vista nutricional y sensorial así como las variaciones de color y textura de los VMP (Landim *et al.*, 2016).

Se sabe de la importancia del consumo de fitoquímicos con capacidad antioxidante (Landim *et al.*, 2016) ya que puede prevenir enfermedades degenerativas (Deng *et al.*, 2013) por lo que se recomienda el consumo de frutas y hortalizas frescas o mínimamente procesadas (Cano *et al.*, 2005). Los principales antioxidantes naturales presentes en los vegetales, responsables de estos efectos quimiopreventivos, son las vitaminas y los compuestos fenólicos (Ruxton *et al.*, 2006; Saura-Calixto y Goñi, 2006). Particularmente, distintos cultivares de *C. moschata* poseen vitaminas del complejo B y

son fuente importante de carotenoides, especialmente  $\beta$ -caroteno (Priori *et al.*, 2017); además, Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011) destacan el contenido de compuestos fenólicos y vitamina C en anco (*Cucurbita moschata* Duchense vs. Cehualca). Debido a la complejidad de la composición de antioxidantes en los alimentos, el estudio de la capacidad antioxidante (CA) total puede resultar más interesante ya que generalmente estos compuestos tienen un efecto sinérgico dentro de la matriz alimentaria (Serrano *et al.*, 2007). Para medirla en frutas y vegetales se recomienda usar al menos dos métodos (Müller *et al.*, 2010) siendo los más usados el del poder antioxidante del 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) y el del hierro reductor (FRAP) (Ramírez-Anaya, 2013).

Según Landim *et al.* (2016), la mayoría de los estudios que se realizaron hasta el momento sobre DO, evaluaron los procesos cinéticos de pérdida de agua y ganancia de sólidos y muy pocos reportaron su efecto en las propiedades funcionales de los alimentos osmotizados. Dentro de los investigadores que estudiaron el comportamiento de los compuestos bioactivos con la DO se pueden citar Almeida *et al.* (2015); Giovanelli *et al.* (2012); Singla *et al.* (2010); Heredia *et al.* (2009); Stojanovic y Silva (2007), Sharif *et al.* (2018), Sangeeta y Hathan (2016), Azeez *et al.* (2017), Ramallo y Mascheroni (2009), entre otros. Por otra parte, se puede mencionar a Almeida *et al.* (2015) quienes reportaron una retención del 97% de la CA en la DO de banana; Singla *et al.* (2010) que observaron que este tratamiento no disminuye los antioxidantes de hongos comestibles; y, Giovanelli *et al.* (2012) quienes encontraron similares resultados en arándanos. Sin embargo, no se encontraron estudios del efecto de la DO y el almacenamiento en atmósferas modificadas de anco.

## **III.2. OBJETIVOS**

### **III.2.1. General**

Determinar la vida útil de cubos de anco mínimamente procesados y almacenados en atmósferas modificadas evaluando su calidad desde el punto de vista físico-químico, microbiológico y sensorial.

### **III.2.2. Específicos**

- Seleccionar la película más conveniente para el envasado de cubos de anco mínimamente procesados.
- Determinar los efectos combinados de la DO y el almacenamiento en atmósfera modificada de anco mínimamente procesado sobre los compuestos bioactivos .
- Evaluar los parámetros de calidad que limitan la vida útil del anco mínimamente procesado.



### III.3. MATERIALES Y METODOS

#### III.3.1. Preparación de las muestras

Los ancos, obtenidos del mercado local, fueron elegidos de acuerdo a los parámetros descritos en el Capítulo I. Los mismos fueron lavados, pelados y cortados manualmente con cuchillo en cubos de 1,0 cm de lado (Fig. III.1), manteniendo las condiciones de higiene durante todo el procesamiento.

Una parte del producto, se sometió a DO en solución de sacarosa-NaCl (55°Bx/2%), en baño termostático a 30°C con agitación constante, durante 3 horas. Una vez transcurrido el tiempo, se retiraron y sumergieron rápidamente en agua para eliminar el excedente de jarabe; finalmente se secaron superficialmente con papel absorbente.



Figura III.1: Preparación de cubos de anco para el estudio de almacenamiento.

#### III.3.2. Selección de la película de envasado

Se realizó una prueba de selección (screening) para determinar la película más conveniente para el almacenamiento de los cubos de anco osmodeshidratados utilizando como criterio de elección su influencia sobre el retardo del desarrollo microbiano por ser éste el principal limitante de la vida útil de los VMP.

Para ello, 40 g de muestra de cubos deshidratados, según se describió en el punto III.3.1, se colocaron en bandejas de PET las que fueron recubiertas con las películas ensayadas resultando en los tratamientos que se describen en la Tabla III.1. Se utilizó como referencia muestras frescas y deshidratadas osmóticamente con sacarosa 55°Bx.

Tabla III.1: Tratamientos aplicados para la selección de la película plástica.

Tratamiento	DO	Película plástica
1	-	PEBD 30 (Polietileno de baja densidad de 30 $\mu\text{m}$ )
2	-	PVC (Cloruro de polivinilo)
3	-	PP (Polipropileno)
4	b	PEBD 30
5	b	PP
6	b	PVC
7	f	PEBD 30
8	f	PP
9	f	PVC

Las bandejas se almacenaron a 4°C, se tomaron muestras (por duplicado) a los 0, 7 y 10 días de conservación y se realizaron recuentos de AM, AP y MyL según la metodología descrita en el apartado II.3.5 del Capítulo II. Los resultados se expresan como log UFC/g.

Las permeabilidades a los gases y la velocidad de transmisión de vapor de agua de las películas empleadas se resumen en la Tabla III.2. Las mediciones de permeabilidad fueron realizadas por el INTI siguiendo la metodología establecida en la Norma ASTM D 1434-82/2009 y los datos de velocidad de transmisión de vapor de agua se tomaron del trabajo de Ospina Meneses y Cartagena Valenzuela (2008).

Tabla III.2: Características de las películas plásticas usadas para VMP.

Película	Permeabilidad al O <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día atm)	Permeabilidad al CO <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día atm)	Velocidad de transmisión de vapor de agua (g/m <sup>2</sup> día)
PVC	14260	44206	2001
PP	3000	9000	10 - 12
PEBD 30	6260	20032	16 - 24

### III.3.3. Condiciones de almacenamiento

Se colocaron 40 g de producto, tanto fresco como deshidratado con la solución de sacarosa-NaCl (55°Bx-2%), en bandejas de PET dentro de bolsas de PP selladas térmicamente. Las muestras se conservaron a 4 °C y se distribuyeron de manera aleatoria en la cámara refrigerada (Fig. III.2). El almacenamiento se realizó por 15 días y se extrajeron 3 muestras de cada tratamiento a los días 1, 3, 7, 10, 13 y 15 para realizar los ensayos correspondientes.

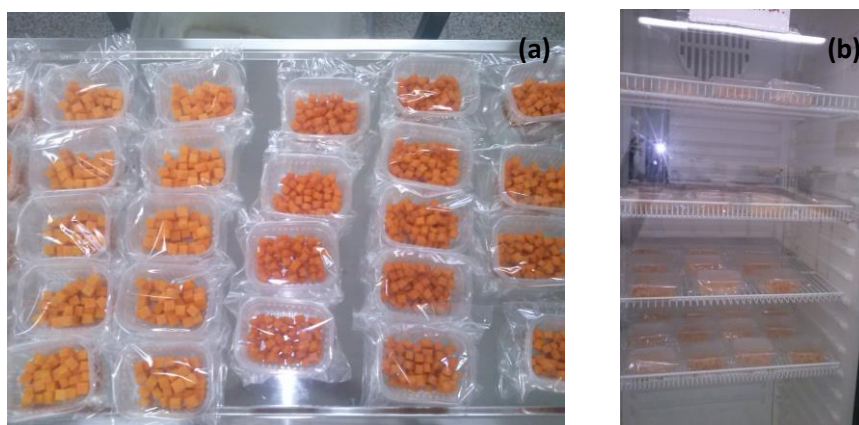


Figura III.2: Bandejas con anco mínimamente procesado, fresco y deshidratado, recubiertas con PP (a) y almacenamiento de las mismas en refrigeración (b).

### III.3.4 Determinaciones de parámetros fisiológicos y fisicoquímicos

#### III.3.4.1. Intensidad respiratoria

Se midió la IR de las muestras frescas y deshidratadas siguiendo la metodología descrita en el apartado I.3.5.2 del Capítulo I.

#### III.3.4.2. Composición de gases de la atmósfera de envasado

La determinación de la composición de gases en el interior del envase se realizó con un medidor de gases portátil Dansensor-Checkpoint (PBI Dansensor, Ringsted, Dinamarca). Los resultados fueron expresados como presiones parciales del O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, en KPa.

### III.3.4.3. Firmeza

Se empleó la metodología detallada en el ítem II.3.4.2 del Capítulo II.

### III.3.4.4. Color

Los parámetros de color se determinaron de acuerdo a lo descrito en el apartado I.3.5.3 del Capítulo I.

## III.3.5. Compuestos bioactivos

### III.3.5.1. Preparación de los extractos

Se pesaron aproximadamente 5 g de muestra y se homogeneizaron con 20 mL de metanol (Fig.III.3a) y se trasvasó la mezcla a frascos color caramelo que se almacenaron refrigerados durante 24 h a 4 °C. Luego, las muestras fueron filtradas (Fig. III.3b) y centrifugadas en una centrífuga refrigerada HERMLE Z 323 K, a 4°C y 10.000 r.p.m. durante 15 minutos. El sobrenadante se colocó nuevamente en frascos color caramelo que se almacenaron a -18 °C hasta el momento de su utilización y no superando un período de 2 meses de conservación. Estos extractos se utilizaron para las determinaciones de capacidad antioxidante (CA) y fenoles totales.

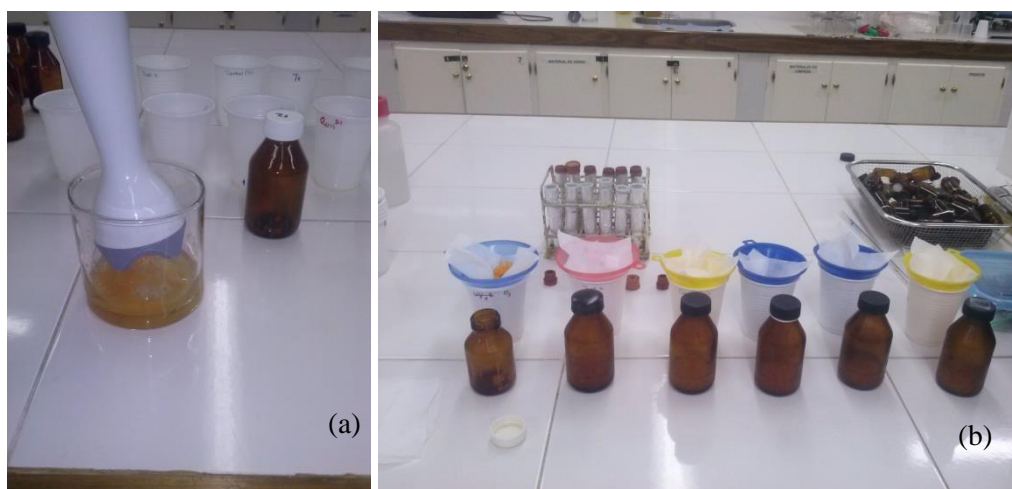


Figura III.3: Homogeneización de muestra con metanol (a) y filtración luego del almacenamiento (b) para determinación de compuestos bioactivos.

### III.3.5.2. Capacidad antioxidante

#### III.3.5.2.1. Método DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil)

Se siguió la metodología propuesta por Brand-Williams *et al.* (1995) con algunas modificaciones propuestas por Gutiérrez (2016).

Para ello, se preparó una solución metanólica 0,7 mM de DPPH al momento del ensayo y se ajustó su valor de absorbancia (a 515 nm) a  $1,1 \pm 0,02$ , tomando este valor como inicial. Luego se mezclaron 150  $\mu\text{L}$  del extracto vegetal con 1850  $\mu\text{L}$  de reactivo DPPH en un frasco color caramelo y se dejó reaccionar durante 4 horas, tiempo establecido previamente mediante la cinética de reacción de desarrollo de color en el cual se estabiliza el mismo pero sin decaer. Finalmente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Visible (Jasco V-630).

Se elaboró una curva de calibración utilizando Trolox como estándar y se calcularon los valores tomando en cuenta la variación de absorbancia del DPPH con respecto a la inicial.

Los resultados se expresan como mg equivalente de Trolox/g tejido fresco y las determinaciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

#### III.3.5.2.2. Método FRAP (2,4,6-tripiridil-S-triazina - TPTZ)

El poder reductor del hierro fue aplicado para medir la CA de acuerdo a la metodología descrita por Benzie y Strain (1999) con algunas modificaciones que se detallan a continuación.

La solución FRAP se preparó, en el momento del análisis, mezclando Buffer Acetato 300 mmol/L (pH = 3,5), solución acuosa de  $\text{FeCl}_3$  20 mmol/L y TPTZ 10 mmol en HCl 40 mmol en proporción 10:1:1. La mezcla se agitó y se mantuvo durante 10 minutos en baño termostático a 37-40 °C.

Para la reacción, 80  $\mu\text{L}$  del extracto vegetal y 1980  $\mu\text{L}$  de reactivo FRAP se colocaron en frascos color caramelo y se dejaron reaccionar en la oscuridad por 4 horas.

Luego, se midió la absorbancia a 593 nm expresándose los resultados en mg eq. de Trolox/g tejido fresco, para lo cual se realizó la curva de calibración correspondiente, y las determinaciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

### **III.3.5.3. Fenoles totales**

El contenido de fenoles totales fue cuantificado usando el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton *et al.* (1999).

Así, se mezclaron 500  $\mu$ L de extracto vegetal con 8 mL de agua destilada y 0,5 mL del reactivo de Folin–Ciocalteu en frasco color caramelo, se agitó y dejó reaccionar por 3 minutos. Transcurrido este tiempo, se adicionó 1 mL de carbonato sódico al 10% (p/v) y se dejó reaccionar nuevamente por 90 minutos en oscuridad; finalmente, se midió la absorbancia a 725 nm.

Se realizó la curva de calibración correspondiente y los resultados se expresan en mg eq. ácido clorogénico/g tejido fresco realizándose las determinaciones por triplicado para cada muestra.

### **III.3.6. Análisis microbiológico**

Se realizaron RAM, RAP y recuentos de MyL utilizando como medios de cultivo láminas de recuento RidaCount Aerobios Totales para los dos primeros y RidaCount Hongos y Levaduras Rapid para los últimos. La preparación de las muestras y las condiciones de incubación fueron las descritas en II.3.4 del Capítulo II.

Los resultados se expresan como log UFC/g.

### **III.3.7. Análisis sensorial**

El análisis sensorial se realizó siguiendo la metodología descrita por Lucera *et al.* (2011) para evaluar la calidad global.

Para ello, los atributos utilizados en la prueba de puntaje compuesto descrita en el Capítulo II se cuantificaron utilizando una escala de 9 puntos en la que el mayor valor corresponde a la calidad óptima. La calidad global se obtuvo como promedio de los puntajes asignados a cada atributo por los jueces entrenados (9) que realizaron la determinación.

Se tomó como límite de aceptación de la calidad global el valor 5.

### **III.3.8. Análisis estadístico**

Se realizaron las mismas pruebas estadísticas descritas en el punto I.3.8 del Capítulo I.

## III.4. RESULTADOS y DISCUSIÓN

### III.4.1. Selección de la película plástica

En la Fig. III.4, que presenta los resultados de los recuentos obtenidos a los 7 y 10 días de almacenamiento, se observa un mayor desarrollo de AM para las muestras frescas con respecto a las tratadas con DO en todos los casos, coincidiendo con lo reportado por Castelló *et al.* (2009). Tortoe (2010) indicó que la disminución del desarrollo microbiano de los productos obtenidos por DO podría deberse a su menor actividad de agua comparado con el fresco. A los 10 días de conservación, los valores menores de RAM para las muestras deshidratadas con solución de sacarosa se obtuvieron con las películas de PEBD y PP; y, para las tratadas con sacarosa-NaCl las recubiertas con PP proporcionaron los menores recuentos registrados.

Con respecto al RAP, también las muestras testigo sin deshidratar fueron las que registraron los mayores recuentos tanto a los 7 como a los 10 días de conservación. Además, el PP fue el que permitió obtener los valores menores de estos microorganismos en las muestras sometidas a DO a los 10 días de almacenamiento refrigerado siendo significativamente inferiores los de las muestras deshidratadas con la solución ternaria. El efecto inhibitorio del crecimiento del cloruro de sodio podría deberse a que ejerce un incremento en la presión osmótica y una disminución de la actividad de agua (Anbalagan *et al.*, 2013; Gill y Holley, 2003).

Sin embargo, si bien el PP fue efectivo para retrasar el desarrollo de MyL en las muestras osmotizadas con sacarosa, en las tratadas con la solución ternaria lo fue el PVC que permitió obtener los menores recuentos tanto a los 7 como a los 10 días de conservación.



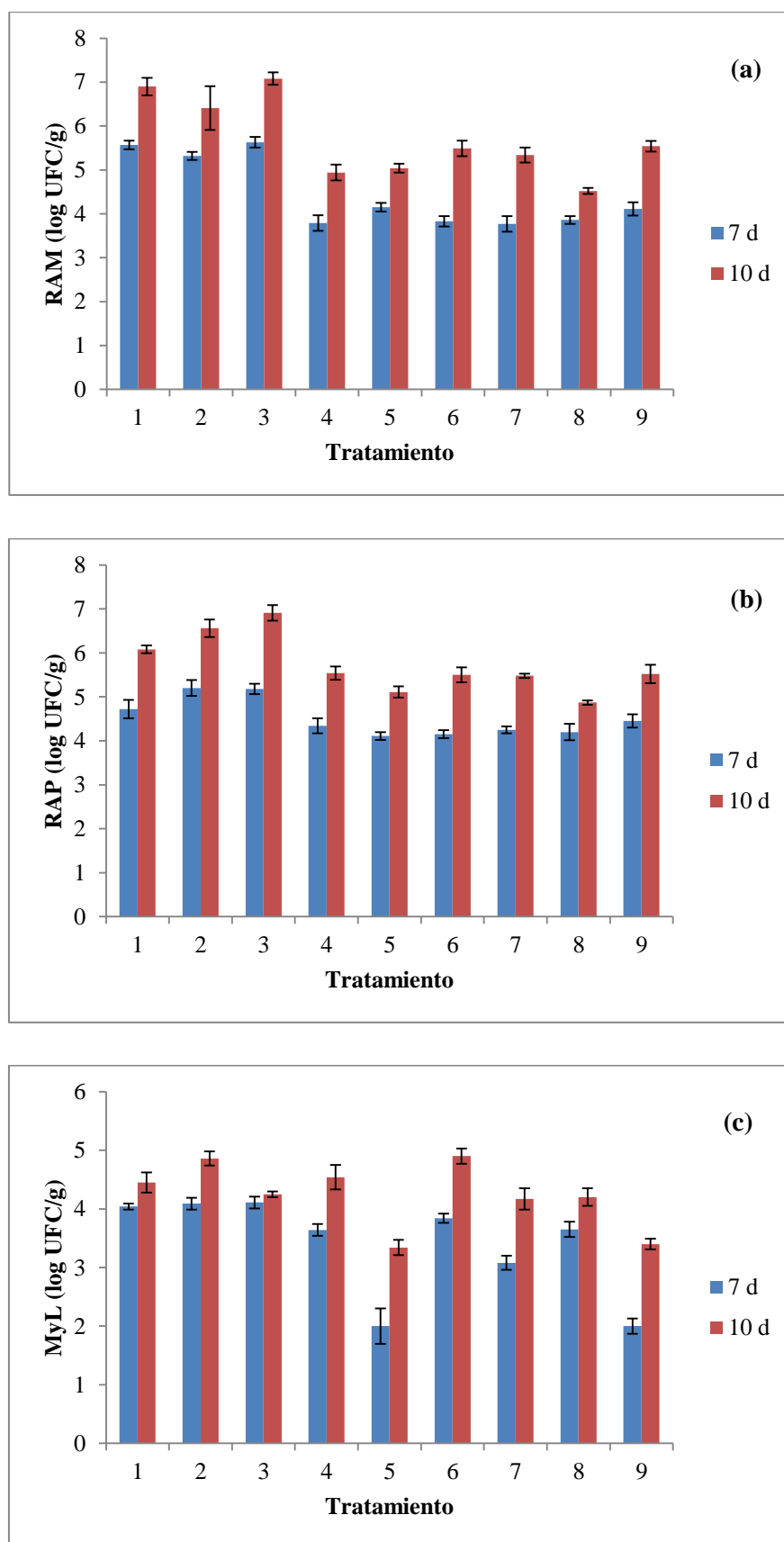


Figura III.4: Recuento de aerobios mesófilos totales (a), psicrófilos (b) y mohos y levaduras (c) durante el almacenamiento refrigerado de anco mínimamente procesado con diferentes tratamientos, osmóticos y películas plásticas.

El Real Decreto 3484/2000, publicado en el Boletín Oficial del Estado de España, que establece las normas microbiológicas para las comidas preparadas envasadas con vegetales crudos, utiliza como indicador el recuento total de aerobios mesófilos y fija como límites un valor de  $10^6$  UFC/g para el día de fabricación y  $10^7$  UFC/g para el día de caducidad. En función de estos límites, se seleccionó el PP para los ensayos de almacenamiento posteriores ya que los RAM obtenidos de las muestras DO con solución ternaria fueron significativamente menores a los obtenidos con las otras películas.

## **III.4.2. Determinación de parámetros fisiológicos y fisicoquímicos**

### **III.4.2.1. Intensidad respiratoria**

La Fig. III.5 presenta los valores de IR de muestras frescas y osmotizadas en todo el período de almacenamiento. Se observó que la muestra testigo posee mayores valores de IR en todo el período de almacenamiento, coincidiendo con los autores Castelló *et al.* (2009), Ferrari *et al.* (2010), Chafer *et al.* (2007) quienes estudiaron este parámetro en manzanas, melón y naranjas, respectivamente. Ferrari *et al.* (2013) atribuyeron los mayores valores de IR de muestras frescas comparadas con las deshidratadas osmóticamente al estrés provocado por el procesamiento mínimo, como pelado y cortado, del producto. Si bien la DO disminuye la IR, este efecto se hace más marcado a partir de los 7 días, donde el valor de IR es 6-7 veces menor que la del vegetal sin tratamiento. Según Lewicki *et al.* (2001), la disminución de la IR de rodajas de manzanas deshidratadas se debe a que se reduce la disponibilidad de agua para las reacciones biológicas, fenómeno éste que prevalece a la mayor disponibilidad de sustratos disponibles para la respiración debido a la incorporación de sólidos. Por otra parte, Chafer *et al.* (2007) atribuyó la disminución de IR en rodajas de naranjas osmodeshidratadas a la limitación de la difusión del oxígeno en los poros del vegetal, debido a la presencia de solución osmótica que ocupa los espacios.

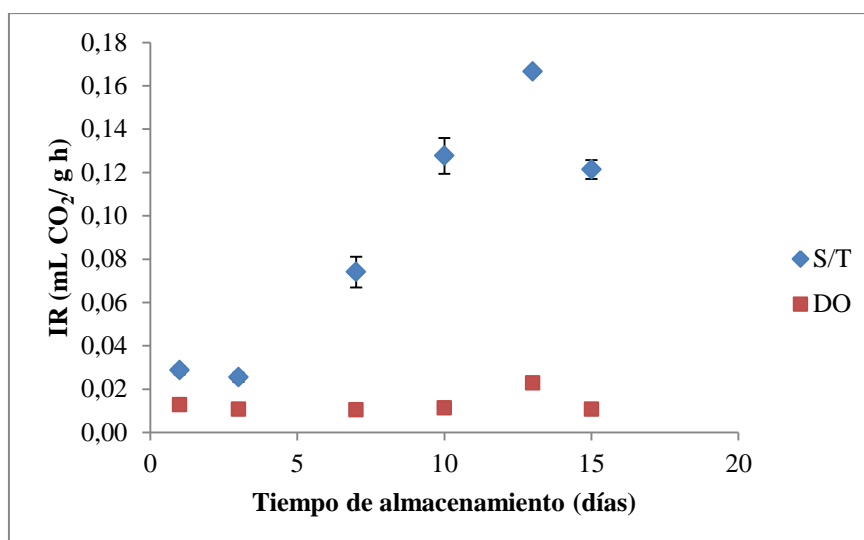


Figura III.5: Intensidad respiratoria de anco fresco y deshidratado durante el almacenamiento refrigerado.

El pico en la IR registrado a los 13 días de conservación del producto fresco coincidió con lo observado por Sasaki (2005) quien atribuyó este comportamiento al estrés provocado por el procesamiento que causa la ruptura celular y permite el contacto de sustratos y enzimas de la respiración. Según esta autora, la disminución posterior de la IR se debería a una autorregulación o a que los sustratos interrumpen la reacción con las enzimas presentes. Un comportamiento similar pero de menor intensidad se observó en el anco deshidratado osmóticamente.

Al final del almacenamiento, la IR del anco deshidratado fue de 0,01 mL CO<sub>2</sub>/g h mientras que para las muestras control se obtuvo 0,12 mL CO<sub>2</sub>/g h en dicho tiempo.

#### III.4.2.2. Composición de gases de la atmosfera de envasado

La concentración de gases en el interior de los envases, tanto de muestras frescas como deshidratadas, se muestra en la Fig. III.6. Hasta los 3 días de almacenamiento, no se observaron diferencias en la composición de la atmósfera de ambas muestras, posiblemente debido a la baja IR que presentaron. A partir de los 7 días, la concentración de O<sub>2</sub> disminuyó mientras que la de CO<sub>2</sub> aumentó hasta los 13 días para la muestra control, patrón que concuerda con el de respiración observado; la

composición de la atmósfera de las muestras deshidratadas también presentó un comportamiento similar pero de menor intensidad debido a su IR más baja.

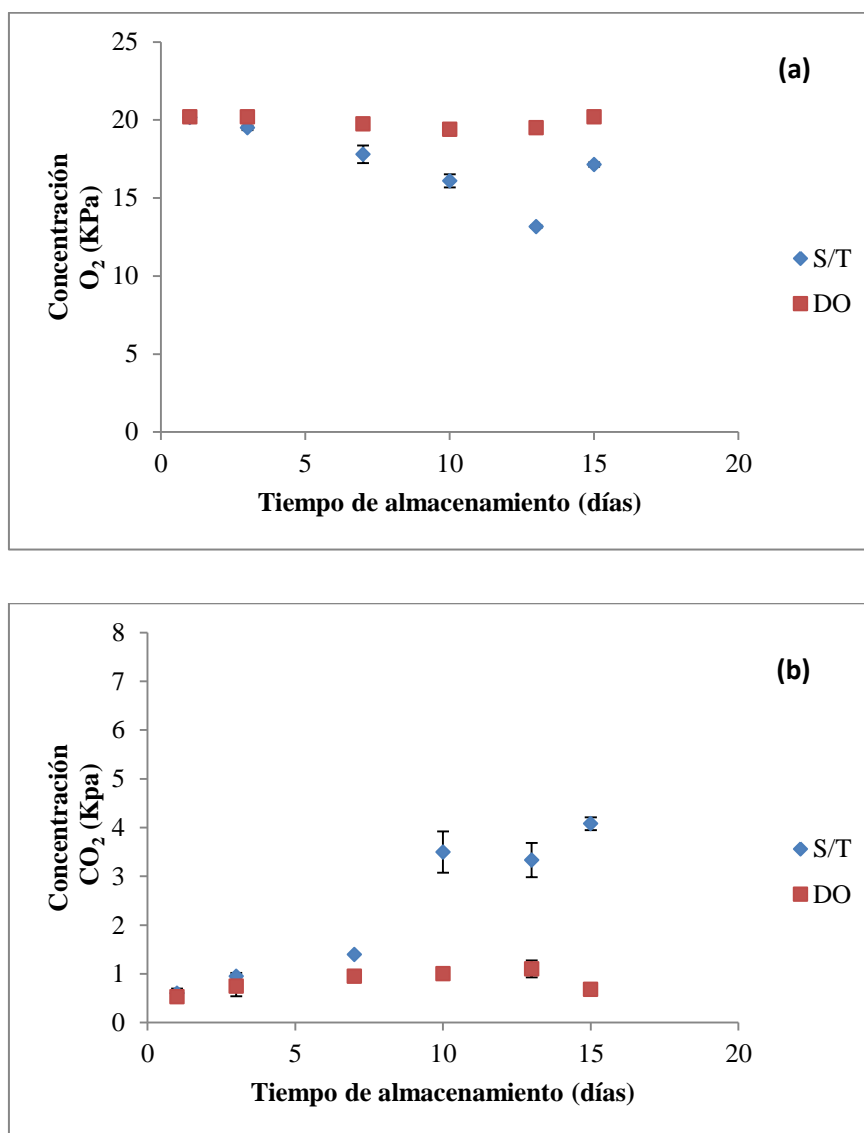


Figura III.6: Evolución de concentración de oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) en el interior de bandejas almacenadas en refrigeración.

Al cabo de 13 días y para la muestra control, la concentración fue de 13,2 y 3,3 Kpa para O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, respectivamente, mientras que para las muestras tratadas se alcanzaron valores de 19,5 y 1,1 KPa para dichos gases por lo que solo se creó una ligera atmosfera modificada. Niveles similares fueron obtenidos por Ferrari *et al.* (2013) y Pereira *et al.* (2010) durante sus estudios de vida útil de melón y guayaba, respectivamente,

deshidratados osmóticamente. Además, el CO<sub>2</sub> es un gas que se disuelve en agua y produce ácido carbónico, lo cual aumenta la acidez y por lo tanto, disminuye el pH (Sandhya, 2010). Por estas razones, se podría inferir que los niveles obtenidos, aunque sea con leves modificaciones, podría aportar beneficios al producto almacenado.

### III.4.2.3. Firmeza

En la Fig. III. 7 se observan los valores de firmeza tanto de la muestra control como tratada. Durante todo el almacenamiento resultó mayor la firmeza para las muestras frescas; sin embargo, a partir del día 7 el esfuerzo máximo de las muestras testigo comienza a descender. En cambio para las muestras tratadas, se mantuvo constante durante todo el período de almacenamiento.

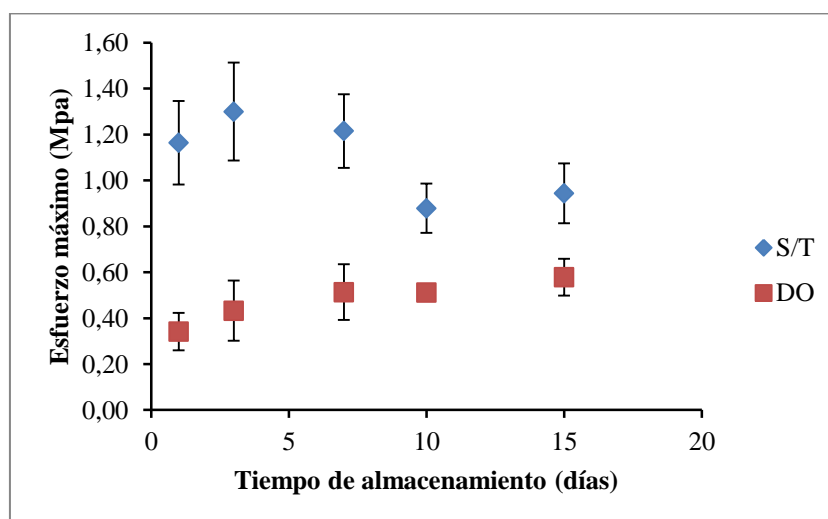


Figura III.7: Esfuerzo máximo durante el almacenamiento de anco fresco y deshidratado.

Ferrari *et al.* (2013) observaron que la firmeza de melón fresco cortado descendió con el tiempo de almacenamiento mientras que el tratamiento de DO combinado con recubrimiento comestible la estabilizó. Dichos autores asociaron esto con la disminución de la IR de los tejidos osmóticamente deshidratados que ocasiona una reducción de la velocidad de las enzimas que degradan su estructura (principalmente poligalacturonasa y polimetilesterasa).

#### III.4.2.4. Color

Los parámetros de color obtenidos se muestran en la Fig. III.8 observándose que los valores de  $L^*$  fueron significativamente menores en las muestras tratadas con solución ternaria hasta los 13 días de conservación alcanzando valores similares a los 15 días. Chafer *et al.* (2007) también observaron idéntico comportamiento durante el almacenamiento de naranjas deshidratadas osmóticamente con pulsos de vacío.

Con respecto al parámetro  $a^*$ , se observó que fue significativamente mayor en todo el período de almacenamiento comparado con el vegetal fresco (Fig. III.b) sin encontrarse diferencias significativas para una misma muestra a lo largo del tiempo. Este comportamiento del parámetro  $a^*$  incidió de la misma manera en el  $C^*$  (Fig. III.8.c) dado que no se observaron diferencias significativas en el parámetro  $b^*$  (datos no mostrados). Ferrari *et al.* (2013) también observaron un aumento de  $C^*$  con la DO y Chafer *et al.* (2007) asociaron la ausencia de cambios de color con el mantenimiento de los pigmentos en naranja mínimamente procesada (osmodeshidratada). En este sentido, también, Sgroppo y Sosa (2009) observaron que el contenido de carotenoides en anco fresco cortado se mantuvo constante durante el almacenamiento refrigerado.

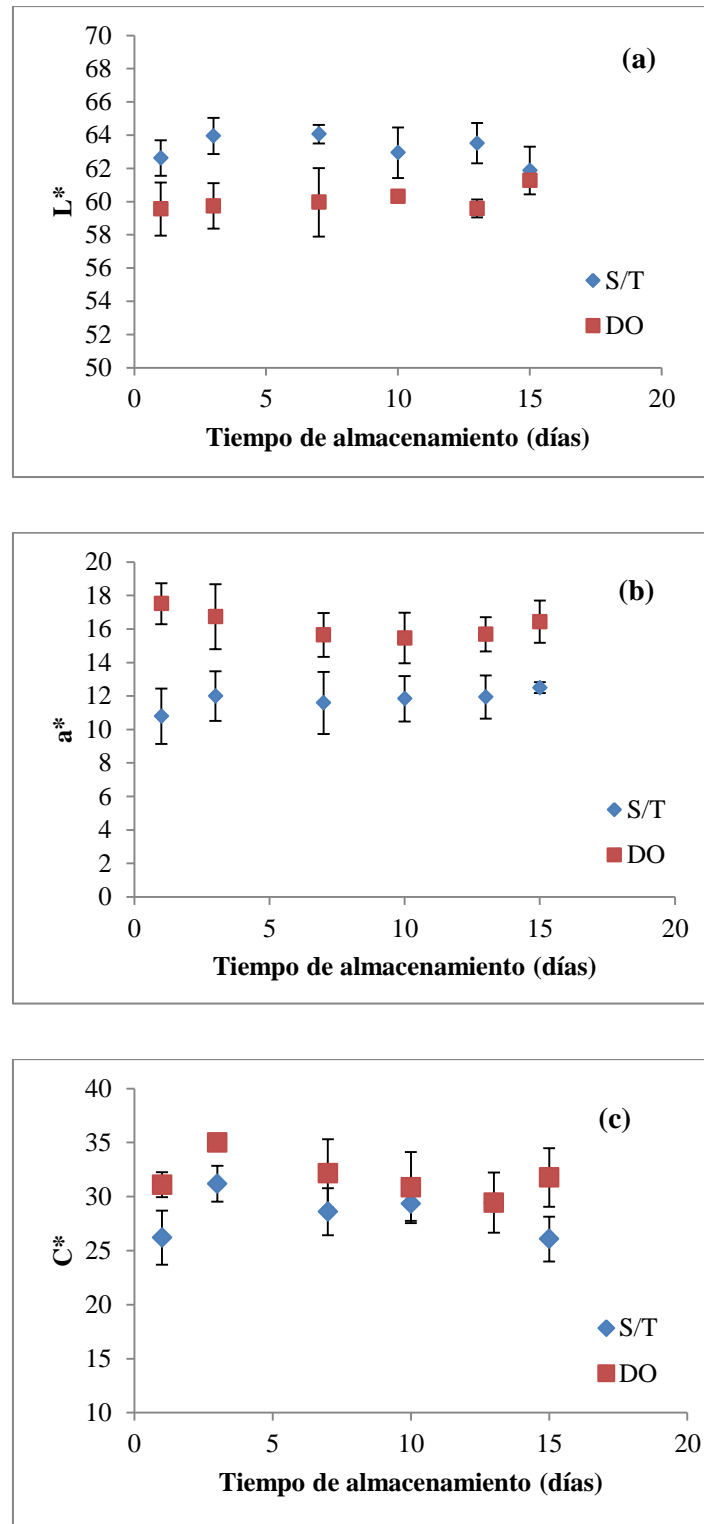


Figura III.8: Parámetros de color  $L^*$  (a),  $a^*$ (b) y  $C^*$  (c) para muestras frescas y deshidratadas durante el almacenamiento refrigerado.

### III.4.3. Compuestos bioactivos

#### III.4.3.1. Capacidad antioxidante

La Fig. III.9 muestra los resultados de la evolución de la CA de cubos de anco fresco, durante el período de almacenamiento ensayado, medida con los dos métodos propuestos. En ambos casos, la CA aumenta con el tiempo siendo significativamente mayores los valores obtenidos con el método de DPPH a partir de los 7 días. Diferencias en los niveles de detección también fueron informadas por Dini *et al.* (2013) en muestras de zapallo (*Cucúrbita máxima* var. Mooregold) fresco al comparar ambos métodos observando mayores valores con DPPH que con FRAP. Dichos autores atribuyeron estas diferencias al alto contenido de carotenoides, los cuales tienen el espectro de absorción superpuesto con el del radical DPPH.

Los valores de CA de la muestra testigo, medidos con DPPH, fueron 0,24 y 1,34 mg eq. Trolox/g tejido al inicio y final del almacenamiento, respectivamente; con el método de FRAP dichos valores fueron 0,24 y 0,54 mg eq. Trolox/g tejido. Por su parte, Ramírez-Anaya (2013) reportó una CA de zapallo fresco (*Cucurbita moschata*) de 0,03 y 1,27  $\mu\text{mol eq. Trolox/g}$  con DPPH y FRAP, respectivamente; Priori *et al.* (2017) obtuvieron valores entre 0,07 y 0,35 mg eq. Trolox/g tejido (DPPH) para muestras frescas de distintos cultivares de *Cucúrbita moschata*.

Al analizar los resultados de la CA de los cubos de anco sometidos a DO, que se muestran en la Fig. III.10, se observó una tendencia creciente registrándose valores iniciales y finales de 0,36 a 0,51 mg eq. Trolox/g tejido, respectivamente, cuando se determinó por el método de FRAP. Sin embargo, al emplear la técnica de DPPH no se evidenciaron diferencias significativas en el tiempo alcanzando valores de aproximadamente 0,27 mg eq. Trolox/g tejido.

El comportamiento y los valores de CA similares registrados con el método de FRAP tanto para la muestra fresca como para la sometida al tratamiento de conservación estudiado no evidenciaron diferencias significativas. Por otra parte, el método de DPPH permitió registrar el incremento de la CA de la muestra fresca con valores significativamente superiores a la muestra deshidratada a partir del tercer día.



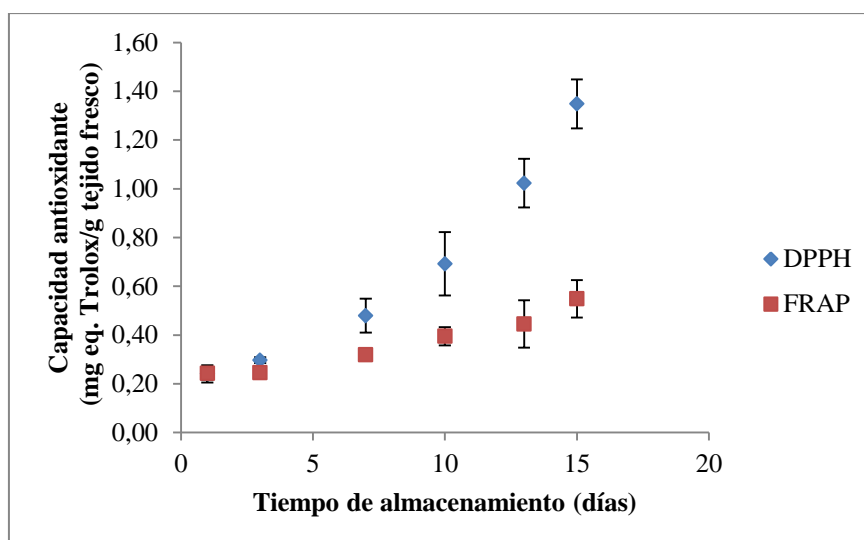


Figura III.9: Capacidad antioxidante durante el almacenamiento de anco fresco por el método de DPPH y FRAP.

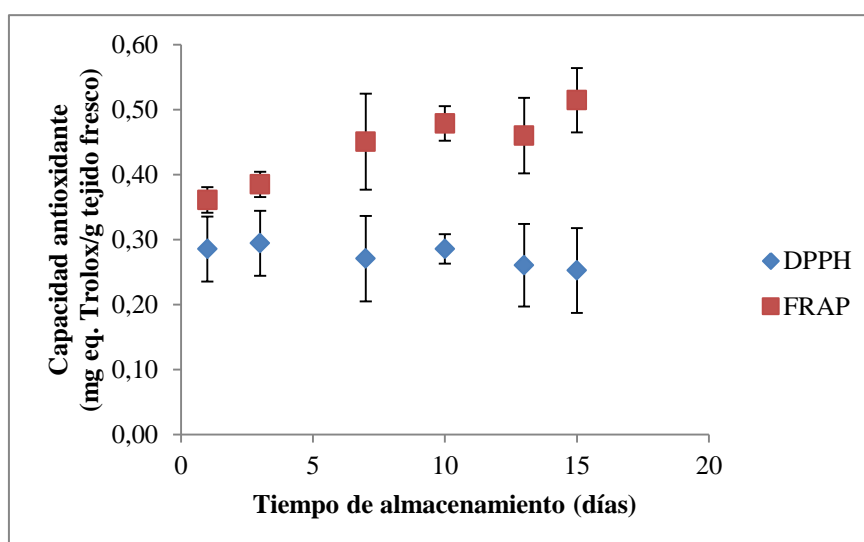


Figura III.10: Capacidad antioxidante durante el almacenamiento de anco con DO por el método de DPPH y FRAP.

#### II.4.3.2. Fenoles Totales

Los fenoles totales (Fig. III.11). resultaron mayores en las muestras deshidratadas osmóticamente que en las muestras frescas manteniéndose sus niveles sin diferencias significativas durante el almacenamiento. Así, los valores finales de las muestras tratadas y frescas fueron 0,40 y 0,29 mg ác. clorogénico/gr de muestra, respectivamente. Sangetta y Hathan (2016) reportaron que la DO aumenta ligeramente la cantidad de

compuestos fenólicos en tubérculos mientras que Singla *et al.* (2010) encontraron que la DO, utilizada como tratamiento previo al secado de hongos comestibles, fue capaz de retener compuestos antioxidantes, fenólicos y flavonoides.

Con respecto a los valores obtenidos del producto fresco, Priori *et al.* (2017) encontraron al estudiar diferentes cultivares de *Cucúrbita moschata*, valores de compuestos fenólicos en el rango de 0,38 a 0,79 mg ác. clorogénico/g tejido fresco. Por su parte, Ramírez-Anaya (2013) obtuvo 0,38 mg eq. ácido gálico/ g tejido para anco crudo; además, reportó el incremento de fenoles en zapallo (*Cucurbita moschata*) luego de la aplicación de algunas técnicas culinarias, atribuyendo este comportamiento al efecto de la concentración por pérdida de agua durante el procesamiento y/o al aumento de la disponibilidad de estos compuestos bioactivos por la ruptura de la estructura celular, fenómenos éstos que podrían explicar también el comportamiento de los cubos de anco deshidratados osmóticamente. En ese sentido, Sakon Nakhon *et al.* (2017) observaron que el secado de zapallo (*Cucurbita moschata*) para la preparación de harina aumentó los compuestos fenólicos.

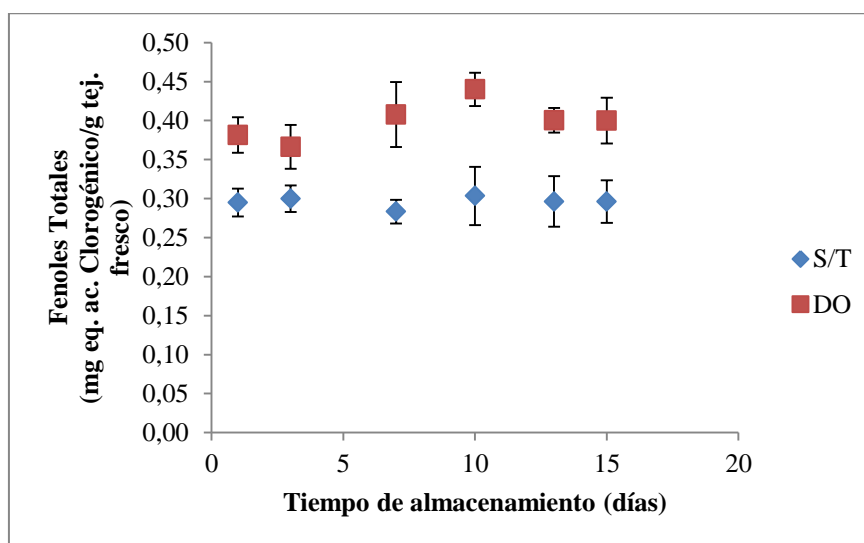


Figura III.11: Fenoles Totales durante el almacenamiento de anco fresco y con tratamiento osmótico.

#### III.4.4. Análisis microbiológico

El recuento tanto de AM como de AP y MyL se muestra en las Fig. III. 12, III.13 y III.14, respectivamente. Al inicio del almacenamiento, la carga de mesófilos totales para

la muestra control fue de 2,5 log UFC/g; similares resultados reportaron Sgroppo y Sosa (2009) para dicho producto. La DO redujo, aproximadamente, en una unidad logarítmica el RAM y el RAP iniciales no evidenciándose efecto sobre los recuentos de MyL. Durante el almacenamiento, también fueron menores las cargas microbianas en las muestras sometidas a DO incluidos MyL. Nowacka *et al.* (2018) observaron que el tratamiento osmótico con sacarosa al 61,5% mejora la calidad microbiológica de arándanos, efecto que se mantiene durante el almacenamiento y que atribuyeron a la disminución de la  $a_w$ . Pereira *et al.* (2010) y Ferrari *et al.* (2013) informaron recuentos de HyL más bajos en guayabas y melón, respectivamente, sometidos a osmodeshidratación y conservados en atmósferas modificadas.

Tomando en cuenta los límites establecidos por el Real Decreto 3484/2000, y tomando límites similares para AP y MyL (Gutiérrez, 2016), el anco fresco superó los valores en RAM a los 13 días de almacenamiento y los RAP y MyL se mantuvieron por debajo de este valor hasta el final del período de conservación estudiado. Por su parte, las muestras tratadas mantuvieron valores inferiores al límite aún a los 15 días de refrigeración.

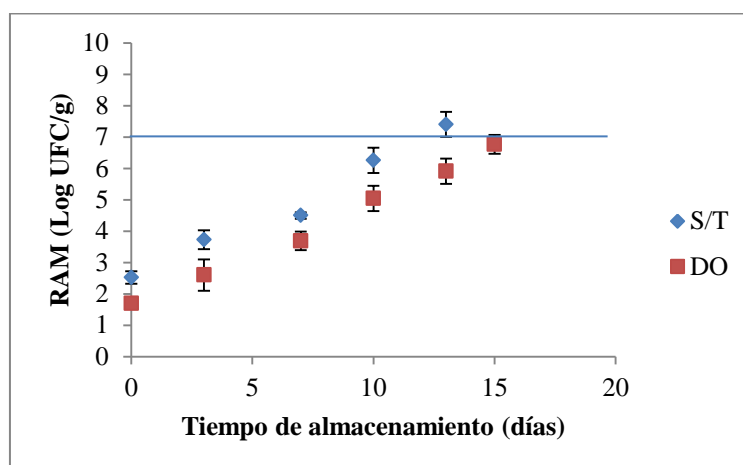


Figura III.12: Recuento de aerobios mesófilos durante el almacenamiento de anco fresco y con DO, mínimamente procesado.

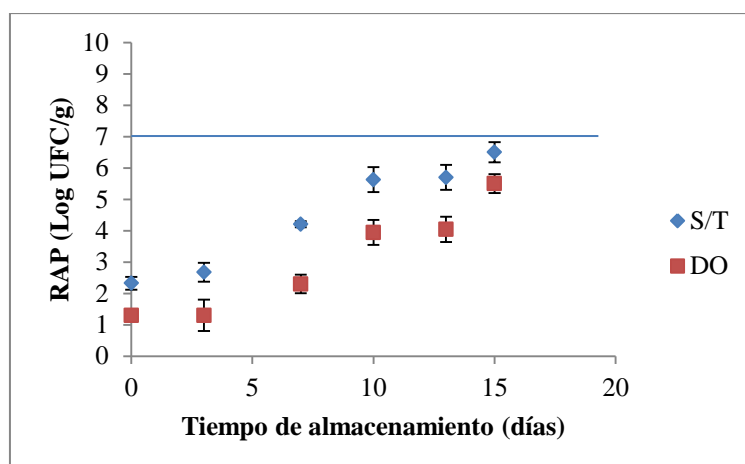


Figura III.13: Recuento aerobios psicrófilos durante el almacenamiento de anco fresco y con DO, mínimamente procesado.

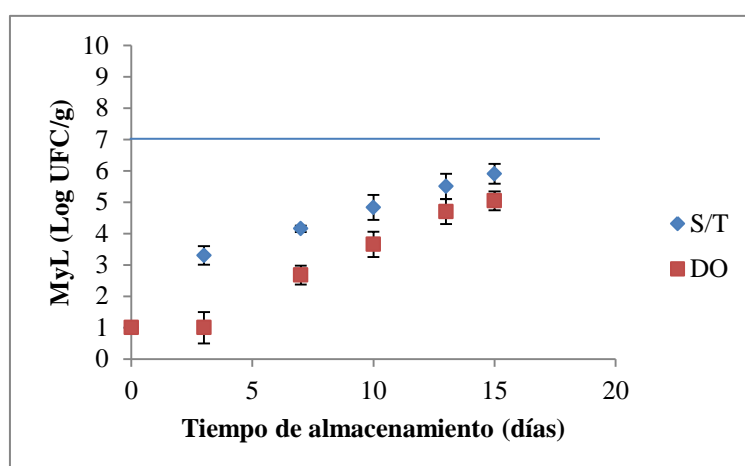


Figura III.14: Recuento Mohos y levaduras durante el almacenamiento de anco fresco y con DO, mínimamente procesado.

### III.4.5. Análisis sensorial

Los puntajes de calidad global obtenidos se observan en la Fig. III.15. Hasta los 3 días, no hubo diferencias significativas entre el anco fresco y deshidratado pero a partir de los 7 días, la valoración para las muestras frescas comenzó a descender, llegando al límite fijado (5) a los 10 días. Las observaciones de los jueces remarcaron el paulatino ablandamiento del tejido fresco, lo cual coincide con los resultados de firmeza, y la pérdida de color de las muestras aunque en las mediciones objetivas de este parámetro no se observaron diferencias significativas. A partir del día 13 las colonias de hongos se

hicieron evidentes, a pesar que el recuento no superó el límite establecido, razón por la cual no se realizó el análisis sensorial de la muestra fresca. Sgroppo y Sosa (2005) reportaron que luego de 9 días, la calidad global de cubos de anco frescos almacenados en refrigeración descendió por debajo de límite fijado por ellos.

Con respecto a las muestras deshidratadas, se observó un mayor puntaje con respecto al control y éstas presentaron una valoración superior al límite establecido hasta los 15 días. Ferrari *et al.* (2013) encontraron que los cubos de melón sometidos a DO y con recubrimiento comestible, mantuvieron su calidad sensorial hasta los 14 días mientras que Rodrigues *et al.* (2008) observaron que rodajas osmodeshidratadas de mango lo hicieron hasta los 18 días.

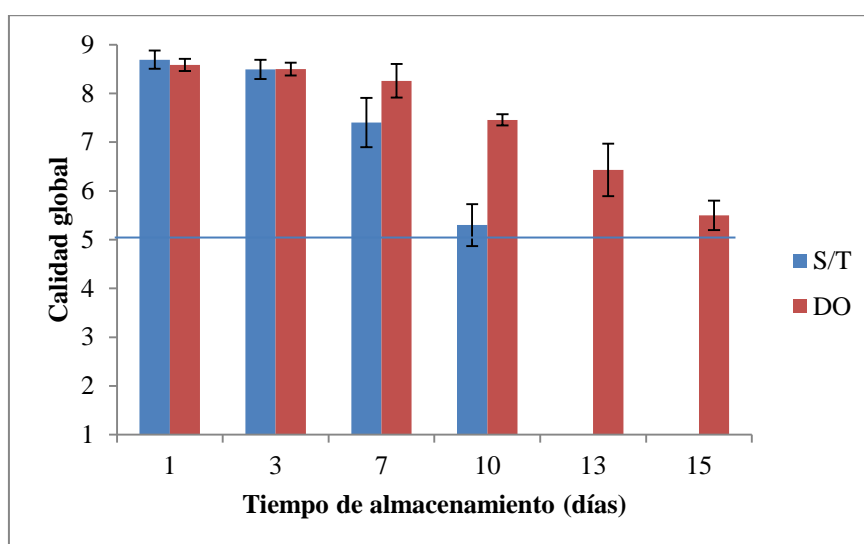


Figura III.15: Valores de calidad global resultantes del análisis sensorial para anco fresco y con DO durante el almacenamiento refrigerado.

### III.5. CONCLUSIONES

- El criterio microbiológico empleado para la selección de la película de envasado permitió determinar que el PP fue el más adecuado al obtenerse los mejores RAM y RAP a los 10 días de refrigeración.
- La DO disminuyó la IR del anco durante el almacenamiento con respecto al producto fresco lo que incidió en las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> del interior de los envases lográndose solo una ligera modificación de la atmósfera con valores de 19,1 KPa de O<sub>2</sub> y 1,1 KPa de CO<sub>2</sub> en el equilibrio.
- Se observó que la firmeza del vegetal deshidratado fue menor pero se mantuvo prácticamente constante durante todo el período de conservación estudiado.
- Con respecto al color, se obtuvieron mayores valores de C\* debido principalmente al incremento de a\*, que fue significativamente mayor durante todo el almacenamiento para el vegetal osmóticamente deshidratado, efecto éste atribuido a la concentración de los pigmentos.
- El aumento de la CA del producto deshidratado se evidenció con el método de FRAP mientras que no se observaron diferencias significativas en el tiempo con el método de DPPH; la CA de los cubos frescos aumentó con el tiempo siendo significativamente mayores los valores obtenidos con el método de DPPH a partir de los 7 días.
- El contenido de fenoles totales aumentó en, aproximadamente, un 25 % con el tratamiento de deshidratación y se mantuvo esta diferencia durante todo el almacenamiento.
- El tratamiento de DO permitió prolongar en 5 días la vida útil de los cubos de anco. El RAM determinó el fin de la vida útil a los 15 días, mientras que tanto el RAP como el recuento de MyL permanecieron por debajo de las 10<sup>7</sup> UFC/g durante todo el ensayo.
- Desde el punto de vista sensorial, las muestras con tratamiento osmótico llegaron a los 15 días de almacenamiento con valores de calidad global superiores al límite fijado.

# **DISCUSIÓN GENERAL**

El beneficio de la incorporación de frutas y verduras en la dieta de las personas está sustentado por evidencia científica; sin embargo el consumo en nuestro país está por debajo del valor recomendado por la FAO. Esto se debe a que estos productos necesitan mayor tiempo de preparación y cocción por lo que, en base a esta problemática, surgen los vegetales mínimamente procesados (VMP) listos para consumir, éstos es frutas y hortalizas que son sometidas a una o varias operaciones como pelado, rallado, rebanado, etc. combinados con tratamientos leves con el fin de prolongar su vida útil manteniendo la calidad similar al producto fresco.

Dentro de las tecnologías de conservación empleadas para los VMP, se encuentran métodos químicos (acidulantes, antioxidantes, antimicrobianos, cloro, etc.) y métodos físicos (tratamientos suaves con calor, atmósfera modificada, luz pulsada, irradiación, etc.) entre otros. En los últimos 20-30 años, se realizaron importantes desarrollos de tecnologías simples basados en el efecto barrera, con la aplicación de factores de estrés individuales suaves para controlar el crecimiento microbiano tales como la disminución del pH, la inclusión de agentes antimicrobianos, el calentamiento moderado y la reducción de la actividad del agua ( $a_w$ ).

La vida útil limitada sigue siendo el principal inconveniente para un mayor desarrollo de la industria y comercialización de estos productos, que deben mantener las cualidades sensoriales y nutricionales que requiere una combinación adecuada de varias técnicas.

Por otra parte, dentro de la familia de los zapallos, el anco (perteneciente a la especie *Cucurbita moschata*) es uno de los más consumido en nuestro país y en el resto de los países latinoamericanos siendo Santiago del Estero la tercera provincia productora de esta hortaliza, con el 9,9% del total de la oferta nacional.

Se reconocieron muchas propiedades del anco, entre las que se pueden citar el destacado aporte de fibras, vitaminas, minerales y antioxidantes, su acción protectora de la mucosa del estómago y su efecto diurético; además, posee bajo contenido de sodio por lo que es recomendado para trastornos renales o de hipertensión arterial. Igualmente, es un producto sano, de bajo contenido energético y de bajo costo, consumido por todos los estratos sociales en diferentes formas: hervido, horneado, deshidratado o procesado (jugo y puré).



Existe una creciente demanda por consumir productos frescos cortados; no obstante, la comercialización del anco mínimamente procesado presenta limitaciones ya que es muy sensible al deterioro microbiológico aun refrigerado. Actualmente esta hortaliza se puede encontrar en forma de cubos, rallado o en rodajas y, de manera alternativa, combinado con otros vegetales como productos frescos listos para consumir. Las investigaciones que se pueden citar se refieren a la temperatura de almacenamiento en rodajas recubiertas con PVC, al efecto de diferentes soluciones de lavado y la incidencia en la conservación del tipo de corte (medias rodajas, cubos y rallado). También, se encontraron estudios de aplicación de nuevas tecnologías como luz UV-C y recubrimientos con películas comestibles. Sin embargo, no se encontraron antecedentes donde se combine la deshidratación osmótica y el envasado con diferentes películas plásticas para obtener anco mínimamente procesado con el fin de prolongar su vida útil. En este sentido, el objetivo de esta tesis fue estudiar la cinética de deshidratación osmótica de anco y analizar la influencia de los factores que determinan la velocidad del proceso evaluando la calidad y la vida útil del producto mínimamente procesado envasado en atmósfera modificada.

En la primera parte, se estudió el efecto del tamaño del producto y de la concentración de sacarosa como agente osmótico. Para ello, se utilizaron cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm de lado y soluciones de sacarosa de 45, 55 y 65°Bx en la determinación de los parámetros cinéticos (WR, WL y GS) y se aplicaron modelos matemáticos preestablecidos para evaluar el ajuste de los datos experimentales. Además, se analizó la influencia del tratamiento en la calidad del producto desde el punto de vista fisiológico, físico-químico, microbiológico y sensorial para seleccionar las condiciones óptimas. Se observó que los mayores cambios en las variables cinéticas se producen a las 2-3 horas de tratamiento y luego se tendió al equilibrio. Los cubos de menor tamaño registraron la menor WR cuando se utilizó sacarosa 55°Bx, coincidiendo con lo reportado en productos como manzana (Van Nieuwenhuijzen *et al.*, 2001) y zapallo (Kowalska y Lenart, 2001), entre otros. Con respecto a la concentración de sacarosa, se encontró que WR tendió a aumentar con la misma, pero no hubo diferencias significativas entre todos los casos estudiados. Los valores de WR estuvieron en un rango de 40 a 65% al final del tratamiento, dependiendo de las condiciones ensayadas. Por otra parte, WL presentó un comportamiento similar a WR con el tamaño y con respecto a la concentración no hubo una tendencia clara; la variación de este parámetro estuvo entre 48 y 75% a las 8 h.

Para la SG solo se encontró diferencias entre los tamaños cuando se utilizó sacarosa a 65°Bx, siendo mayor cuanto menor es el tamaño, mientras que para la menor concentración no se evidenció diferencias significativas con esta variable. Al estudiar la concentración de solución osmótica, se observó que para los cubos de 1,0 y 1,5 cm, se obtuvieron las mayores GS con 45°Bx, sin encontrarse diferencias entre las soluciones más concentradas atribuido al aumento de la viscosidad de la solución que da lugar a la formación de una capa superficial de azúcar (Ferrari y Hubinger, 2008; Ferrari *et al.*, 2010; Bellocq, 2012). El rango de la SG estuvo entre 2 y 9 %, aproximadamente, al final del tratamiento, dependiendo de las condiciones de deshidratación.

El índice WL/SG, que mide la eficiencia de la DO (Mayor *et al.*, 2007a), fue mayor a las 3 h de tratamiento para la combinación 1,5 cm/ 65°Bx ( $\approx 15$ ), seguido de las combinaciones 1,0 cm/55°Bx, 1,0 cm/65°Bx y 1,5 cm/55°Bx con valores de WL/SG  $\approx 1$  en todos los casos. Estos valores fueron mayores a los encontrados por Kowalska *et al.* (2008) y Kowalska y Lenart (2001) para otras variedades de zapallo.

Los coeficientes de difusión obtenidos con los modelos matemáticos de Azuara y Hawkes y Flink estuvieron en el orden de  $10^{-10}$  ( $m^2/s$ ), similar a otros valores reportados para zapallo (Bellocq, 2012; Abrão *et al.*, 2013). Los valores de  $D_e$  (para agua y sólidos) obtenidos con el modelo de Azuara aumentaron con el tamaño, atribuyéndose estas diferencias a los cambios de concentración tanto de agua como sólidos dentro del vegetal (Singh *et al.*, 2007; Falade *et al.*, 2007) y no se obtuvo una tendencia definida de estos coeficientes con la concentración de sacarosa. Los datos experimentales se ajustaron muy bien a ambos modelos ( $R^2 > 0,95$ ) y con valores de RMS  $\leq 10\%$ . En el modelo de Peleg se observó que, en general, las constantes de velocidad y de capacidad para WL así como la constante de velocidad para la SG aumentaron con el espesor de los cubos. El coeficiente de correlación  $R^2$  y el estadístico RMS indican un muy buen ajuste entre los datos experimentales y el modelo aplicado.

Del estudio de los parámetros físico-químicos resultó que la  $a_w$ , disminuye con el tiempo de DO, asociado a una mayor WL; así, se encontraron menores valores de  $a_w$  cuanto menor fue el tamaño, mientras que con la concentración de sacarosa no se observó un comportamiento claro coincidiendo con Mújica-Paz *et al.* (2003). Al cabo de 3 horas de deshidratación, la  $a_w$  fue 0,86, 0,94 y 0,97, aproximadamente, para los cubos de 0,5, 1,0 y 1,5 cm, respectivamente. Se considera que para productos de alta humedad

( $a_w > 0,92$ ), este factor no es determinante en la conservación pero combinado con otras barreras se logran alimentos con características similares a los frescos (Alzamora *et al.*, 1993).

La IR de los cubos de anco fresco de 1,5 cm fue de 0,024, 0,037 y 0,13 ml CO<sub>2</sub>/g h a 2, 7 y 28°C, respectivamente. Asimismo se observó una mayor IR cuanto menor es el tamaño de los cubos, fenómeno asociado a un incremento del daño por corte por unidad específica (Rodríguez *et al.*, 2015; Iqbal *et al.*, 2008). Por otra parte, la DO disminuye la velocidad de respiración lo que podría deberse a una disminución de células viables con el incremento del grado de eliminación de agua (Castelló *et al.*, 2006).

Con respecto al color, se observó que tanto L\* como b\*, disminuyen para los primeros minutos de DO mientras que Cr\* aumenta con el tiempo de deshidratación comportándose de manera similar a a\* y explicando el color anaranjado más apagado de las muestras, posiblemente por la concentración de los pigmentos del vegetal (Silva *et al.*, 2014).

Finalmente, complementando al estudio anterior, se realizó un análisis sensorial para definir las variables para estudios posteriores y se determinó que los cubos de 1,0 y 1,5 cm fueron los más preferidos. Con respecto a la concentración, no se encontraron diferencias significativas entre 45 y 55°Bx y se decidió descartar la solución de mayor concentración por razones tecnológicas (alta viscosidad, mayor flotación del producto, costo elevado, etc. según lo expresado por Chenlo *et al.* (2002) y Ramya y Jain (2016).

Para la segunda parte, se utilizaron soluciones ternarias en la DO, para lo cual se agregó cloruro de sodio (1 y 2%) a las soluciones de sacarosa y se estudió la cinética así como el ajuste de los modelos matemáticos. Luego, se agregó lactato de calcio 2% (solución cuaternaria) como agente de firmeza y se analizaron, para todos los casos, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a fin de seleccionar el tratamiento más conveniente para el almacenamiento en atmósfera modificada.

En general, para la mayor concentración de NaCl en la solución osmodeshidratante mayores son WR y WL, independientemente de la concentración de sacarosa empleada coincidiendo con los resultados obtenidos por Mercali *et al.* (2011), Monnerat *et al.* (2010), Ozdemir *et al.* (2008), entre otros. El agregado de sal en la concentración más baja no produjo cambios significativos en los SG y cuando la concentración de NaCl fue

del 2%, en general, se evidenció su incremento por lo que se deduce que el efecto del agregado de sal en SG dependería de la concentración empleada. Jokić *et al.* (2007) y Herman-Lara *et al.* (2013) reportaron comportamientos similares explicándolos por el incremento del gradiente de presión osmótica y la consecuente pérdida de funcionalidad de la membrana que permite la entrada de sólidos.

Independiente del tamaño, el índice WL/SG fue mayor cuando se utilizó la solución binaria y ternaria de sacarosa 55°Bx, siendo los máximos 11,22 y 10,72 para cubos de 1,0 y 1,5 cm, respectivamente, al final de la DO. Este índice permaneció prácticamente constante luego de 3 horas por lo que no sería conveniente prolongar la deshidratación. El agregado de lactato de calcio (2%) incrementó la WL y redujo, a partir de las 3 horas, la SG comparado con la solución binaria; similares observaciones realizaron Mavroudis *et al.* (2012); Silva *et al.* (2014) y Ferrari *et al.* (2010); Sereno *et al.* (2001) explicaron la disminución de la SG con el agregado de calcio por su influencia en la estructura celular que causa alteraciones en la permeabilidad de la membrana e impide la ganancia de sólidos.

Se observó que, cuando se emplearon soluciones ternarias (sacarosa-cloruro de sodio), los coeficientes de difusión de agua obtenidos con el modelo de Hawkes y Flink resultaron significativamente mayores a los obtenidos con el modelo de Azuara; sin embargo, para los coeficientes de difusión de sólidos no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las condiciones ensayadas. Los mayores  $D_e$  fueron para los cubos de 1,5 cm y, cuanto menor fue la concentración de la solución binaria mayores fueron los coeficientes coincidiendo con lo observado por (Rodrigues y Mauro (2008). Con el modelo de Peleg se determinó que los parámetros  $k_{1,w}$  y  $k_{2,w}$  fueron significativamente menores para cubos de 1,0 cm mientras que los valores de  $k_{2,s}$  fueron menores para la solución de sacarosa de menor concentración. El ajuste de los tres modelos fue muy bueno en todas las condiciones, manteniéndose los valores de RMS inferiores al 10% y valores de  $R^2$  superiores a 0,98.

El agregado de cloruro de sodio a la solución deshidratante sólo disminuyó la  $a_w$  de los cubos deshidratados con la solución ternaria de 55°Bx, independientemente de la concentración de sal usada. Además, la menor  $a_w$  se obtuvo para los cubos de 1,0 cm debido a la mayor WL registrada. Por otra parte, el agregado de calcio no tuvo efecto sobre la firmeza, parámetro éste que disminuye a medida que progresa la

deshidratación; Ferrari *et al.* (2010) informaron un efecto positivo del agregado de lactato de calcio hasta una concentración de sólo 1,5 % y Castello *et al.* (2009) encontraron resultados similares a los de este trabajo.

El agregado de solutos a la solución de sacarosa de 55°Bx redundó en una disminución en los recuentos microbiológicos a los 10 días de almacenamiento y el análisis sensorial permitió discriminar que las muestras deshidratadas con solución de sacarosa/NaCl (55°Bx/2%) mantuvieron la mejor calidad global hasta los 10 días. El agregado de lactato de calcio afectó la apariencia general y el sabor del producto; en ese sentido, Ferrari *et al.* (2013) y Pereira *et al.* (2010) atribuyeron el rechazo de frutas deshidratadas con adición de calcio al enmascaramiento del sabor dulce típico del producto.

Estos resultados permitieron definir que los cubos de 1,0 cm deshidratados con solución de sacarosa 55°Bx y cloruro de sodio 2 % serían los utilizados en los estudios de vida útil los que, según la prueba de selección de películas, fueron envasados con polipropileno (PP) que permitió obtener los menores RAM y RAP.

Durante el almacenamiento a 4°C, a partir de los 7 días los cubos deshidratados osmóticamente disminuyeron su IR (6-7 veces) comparados con los frescos debido posiblemente a la limitación de la difusión del oxígeno en los poros del vegetal por la presencia de solución osmótica que ocupa los espacios expresado por Chafer *et al.* (2007). También, se observó un pico en la IR de la muestra testigo a los 13 días que, según Sasaki (2005), podría estar relacionado con el estrés provocado por la ruptura celular ocasionada por el procesamiento que permite el contacto de sustratos y enzimas de la respiración. Este comportamiento pero de menor intensidad se observó en los cubos tratados. La baja IR del vegetal deshidratado sólo permitió una ligera modificación de la atmósfera de almacenamiento alcanzando valores de equilibrio de 19,5 KPa de O<sub>2</sub> y 1,1 KPa de CO<sub>2</sub>. Pereira *et al.* (2010) también informaron ligeras modificaciones de las atmósferas durante el almacenamiento de guayabas osmóticamente deshidratadas.

Si bien durante los primeros días de conservación, la firmeza del producto fresco fue mayor a la del deshidratado osmóticamente, a partir de los 7 días fue disminuyendo mientras que las muestras deshidratadas mantuvieron su valor prácticamente constante.

Así, la DO tiende a estabilizar este parámetro ya que, según Ferrari *et al.* (2013), se retardan las reacciones enzimáticas que degradan la estructura celular del vegetal.

Con respecto al color, los valores de  $L^*$  de las muestras deshidratadas fueron menores hasta los 13 días de almacenamiento sin verificarse variaciones con el tiempo;  $a^*$  y  $Cr^*$  fueron mayores en las muestras tratadas y también permanecieron constante en el tiempo. Chafer *et al.* (2007) asociaron la ausencia del cambio de color de naranjas osmodeshidratadas con el mantenimiento de los pigmentos durante la conservación.

Los valores de capacidad antioxidante (CA) para anco fresco, del inicio y el final del almacenamiento, fueron 0,24-1,34 y 0,24-0,54 mg eq. Trolox/g tejido para DPPH y FRAP, respectivamente. La CA, medida con el método de FRAP, para las muestras deshidratadas aumentó desde valores iniciales de 0,36 mg eq. Trolox/g tejido hasta 0,51 mg eq. Trolox/g tejido al final de la conservación; sin embargo el método de DPPH no evidenció diferencias significativas alcanzando valores promedios de 0,27 mg eq. Trolox/g tejido. El contenido de fenoles totales fue mayor para las muestras deshidratadas y se mantuvo constante hasta el final del almacenamiento al igual que el de los cubos frescos.

Se observó que la DO redujo en una unidad logarítmica el RAM y el RAP iniciales no teniendo incidencia en el recuento de MyL. Durante el almacenamiento todos los recuentos fueron menores en las muestras osmotizadas corroborando la mejora de la calidad microbiológica de los productos deshidratados osmóticamente también observada por Nowaka *et al.* (2018) en arándanos y atribuida a la disminución en la  $a_w$ . Los RAM de los cubos frescos superaron el límite de  $10^7$  UFC/g, establecido por la norma española para la caducidad de comidas preparadas envasadas con vegetales crudos, a los 13 días de conservación mientras que los cubos deshidratados osmóticamente no superaron el límite aún a los 15 días de refrigeración. Los RAP y los recuentos de MyL se mantuvieron por debajo del valor máximo adoptado por Gutiérrez (2016) como límite de comercialización.

Los puntajes de calidad global hasta los 3 días de almacenamiento no mostraron diferencias significativas y, a partir de los 7 días, las valoraciones de las muestras frescas disminuyeron hasta llegar al límite fijado a los 10 días debido al paulatino

ablandamiento del tejido y el cambio de color observados por los jueces. Las muestras osmotizadas mantuvieron puntajes superiores al límite fijado hasta los 15 días.

Debido a estos resultados, se puede concluir que la DO combinada con el almacenamiento en atmósfera modificada de cubos de anco de 1,0 cm deshidratados osmóticamente con solución de sacarosa-cloruro de sodio (55°Bx-2%) prolongó la vida útil por 5 días con respecto al fresco manteniendo la calidad microbiológica y sensorial.

Por otra parte, en esta tesis se desarrolló un producto novedoso que permitiría aumentar el valor agregado del anco, promoviendo el desarrollo local, con una tecnología que no necesita de grandes instalaciones.

**CONCLUSIONES**  
**GENERALES**



- Durante la DO los mayores cambios en las variables cinéticas se produjeron a las 2-3 horas de tratamiento estando afectadas por el tamaño de los cubos y la concentración de la solución. Los cubos de menor tamaño registraron la menor WL y con respecto a la concentración de la solución no hubo una tendencia clara. Con los cubos de 1,0 y 1,5 cm, se obtuvieron las mayores GS con la menor concentración.
- La eficiencia de la DO, medida a través del índice WL/SG, fue mayor para las combinaciones 1,5 cm/65°Bx, 1,0 cm/55°Bx, 1,0 cm/65°Bx y 1,5 cm/55°Bx sin embargo se descartó la solución de 65°Bx por razones tecnológicas.
- Los coeficientes de difusión obtenidos con los modelos matemáticos de Azuara y Hawkes y Flink fueron de orden similar a otros valores reportados para zapallo; con el modelo de Peleg se observó una dependencia de las constantes de velocidad y de capacidad para WL y de velocidad para la SG con el espesor de los cubos. El coeficiente de correlación  $R^2$  y el estadístico RMS indican un muy buen ajuste entre los datos experimentales y los modelos empleados.
- La  $a_w$ , disminuyó con el tiempo de DO, asociado a una mayor WL; y se encontraron menores valores de  $a_w$  cuanto menor fue el tamaño de los cubos. Asimismo se observó una mayor IR cuanto menor fue el tamaño de los cubos y que la DO disminuyó la velocidad de respiración. Con respecto al color, se observó que  $L^*$  fue menor y el color naranja más intenso de las muestras osmotizadas se debió al incremento de los valores de  $a^*$  que incidieron en los valores de  $C^*$ .
- La WR y WL fueron mayores para la mayor concentración de NaCl en la solución osmódeshidratante, independientemente de la concentración de sacarosa empleada y el índice WL/SG fue mayor cuando se utilizó la solución binaria y ternaria de sacarosa 55°Bx obteniéndose la menor  $a_w$  en los cubos de 1,0 cm. El agregado de lactado de calcio no tuvo efecto en la firmeza y disminuyó la calidad sensorial de los cubos del vegetal. Además, la solución de sacarosa-NaCl de 55°Bx-2% disminuyó los recuentos microbiológicos a los 10 días de almacenamiento.

- La DO con solución de sacarosa-NaCl de 55°Bx-2% redujo la IR del vegetal permitiendo sólo una ligera modificación de la atmósfera de almacenamiento a 4 °C de los cubos de 1,0 cm recubiertos con PP, película seleccionada por los mejores resultados obtenidos desde el punto de vista de la conservación de la calidad microbiológica del producto.
- La CA, medida con el método de FRAP, para las muestras deshidratadas aumentó al final de la conservación; sin embargo el método de DPPH no evidenció diferencias significativas. El contenido de fenoles totales fue mayor para las muestras deshidratadas y se mantuvo constante hasta el final del almacenamiento.
- La tecnología aplicada permitió lograr cubos de anco mínimamente procesados con una vida útil de 15 días, con óptima calidad sensorial y microbiológica.
- Se desarrolló un producto novedoso que permitiría aumentar el valor agregado del anco, promoviendo el desarrollo local, con una tecnología de sencilla implementación y bajo costo.

# BIBLIOGRAFÍA

- Abraão, A.S., A.M. Lemos, A. Vilela, J.M. Sousa y F.M. Nunes. 2013. Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food and Bioproducts Processing*. 91, 481-494.
- Agnelli, M.E., C.M. Marani y R.H. Mascheroni. 2005. Modelling of heat and mass transfer during (osmo) dehydrofreezing of fruits. *Journal of Food Engineering*. 69, 415-424.
- Ahmed, I., I.M. Qasi y S. Jamal. 2016. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 34, 29-43.
- Ahvenainen R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables, *Trends in Food Science & Technology*. 7(6), 179-187.
- Akbarian M., N. Ghasemkhani y f. Moayedi. 2013. Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *International Journal of Biosciences*. 3(12), 1-16.
- Akharume F., K. Singh y L. Sivanandan. 2019. Effects of liquid smoke infusion on osmotic dehydration kinetics and microstructural characteristics of apple cubes. *Journal of Food Engineering*. 246, 51-57.
- Almeida, J.A.R., L.P. Mussi, D.B. Oliveira y N.R. Pereira. 2015. Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39, 1061–1069.
- Alonso G. y A. Chiesa. 2009. Hortalizas mínimamente procesadas en los supermercados de Buenos Aires. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XLI. N° 2. 45-57.
- Alves J.A., E. V. de Barros Vilas Boas, E.C. de Souza, B. Monteiro Vilas Boas, R. Hilsdorf Piccoli. 2010. Vida útil de produto minimamente processado composto por abóbora, cenoura, chuchu e mandioquinha-salsa. *Ciênc. agrotec., Lavras*. 34 (1), 182-189.
- Alzamora, S.M., M.S. Tapia, A. Argáiz y J. Welli. 1993. Application of combined methods technology in minimally processed fruits. *Food Research International*. 26,125-130.

- Anbalagan, M., G. Prabu, R.E. Krishnaveni, S. Manivannan. 2014. Effect of Sodium Chloride (NaCl) on the bacterial load in chicken, mutton and beef samples in relation to meat spoilage. *International Journal of Research in Zoology*. 4(1), 1-5.
- Anino, S.V., D.M. Salvatori y S.M. Alzamora. 2006. Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International*. 39, 154-164.
- Antonio G.C., D. Gomes Alves, P.M. Azoubel, F.E. Xidieh Murr y K.J. 2008. Park Influence of osmotic dehydration and high temperature short time processes on dried sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). *Journal of Food Engineering*. 84, 375–382.
- AOAC. 1990. Official Method of Analysis the Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC,
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, seventeenth ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Arballo, J.R., R.R. Bambicha, L.A. Campañone, M.E. Agnelli y R.H.Mascheroni. 2012. Mass transfer kinetics and regressional-desirability optimization during osmotic dehydration of pumpkin, kiwi and pear, *International Journal of Food Science and Technology*. 47, 306–314.
- Artés, F. y Allende, A. 2005. Minimal Processing of Fresh Vegetables, Fruits and Juices. En *Emerging Technologies for Food Processing*, 583-597.
- Artés Calero, F. 2006. El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortifrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 7 (2), 61-85.
- Assis, F.R., R.M.S.C. Morais, A.M.M.B. de Morais. 2016. Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Food Products: Comparison Between Mathematical Models. *Food Eng Rev*. 8, 116–133.
- Assis F.R., R.M.S.C. de Morais, A.M.M.B. de Morais. 2018. Mathematical modelling of the osmotic dehydration of physalis. *Brazilian Journal of Food Technology*. 21, 1-5.
- Azeez, L., A.O. Oyedeji, S.A. Adebisi, A.L. Adejumo, K.O. Tijani. 2017. Chemical components retention and modelling of antioxidant activity using neural networks in

- oven dried tomato slices with and without osmotic dehydration pre-treatment. Food measure. 11, 2247–2258.
- Azoubel P.M. y F.E. Xidieh Murr. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. Journal of Food Engineering. 61, 291–295.
  - Azuara, E., C.I. Beristain y H.S. García. 1992. Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. Journal of Science and Technology. 29, 239-242.
  - Barman N. y L.S. Badwaik. 2017. Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola* L.) slices during osmotic dehydration. Ultrasonics Sonochemistry. 34, 37-44.
  - Bellocq, E.C. 2012. Deshidrocongelación de Zapallo Anco. Tesis de Maestría en Tecnología de Alimentos. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Argentina. Pp 160.
  - Benzie, I.F.F. y J.J. Strain. 1999. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. Analytical Biochemistry. 239, 70–76.
  - BOE 12-1-2001. (R.D.3484/200,029-12-2000). Boletín Oficial del Estado del viernes 12 de enero de 2001. Real Decreto 3484/2000 de 29 de diciembre. Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas pp.1435-1441.
  - Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier y C. Berset. 1995. Use of the free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT – Food Sci. Technol. 28, 25-30.
  - Brilhante São José, J. F. y M.C. Dantas Vanetti. 2012. Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and Salmonella enterica *Typhimurium* on cherry tomatoes. Food Control. 24, 95-99.
  - Bui, H., J. Makhlof y C. Ratti. 2009. Osmotic Dehydration of Tomato in Sucrose Solutions: Fick’s Law Classical Modeling. Food Engineering and Physical Properties. 74 (5), 250-258.
  - Cano, M.P., C. Sánchez-Moreno, S. de Pasual-Teresa, B. de Ancos. 2005. Procesado Mínimo y Valor Nutricional. En Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados. Logiprint Digital s. de R.L. de C.V. (Ed). 558 pp.

- Cardoso Andrade, S. Alvachian Cardoso Andrade, B. de Barros Neto, A. Cavalcanti Nóbrega, P. Moreira Azoubel y N. Barbosa Guerra. 2007. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana* L.). *Journal of Food Engineering*. 78, 551–555.
- Castelló, M.L., P.J. Fito y A. Chiralt. 2006. Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. *LWT*. 39, 1171-1179.
- Castelló Gómez, Marisa. 2007. Efecto de las condiciones de operación en los cambios fisicoquímicos y fisiológicos de frutas mínimamente procesadas por deshidratación osmótica. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, p237.
- Castelló, M.L., M. Igual, P.J. Fito, A. Chiralt. 2009. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*. 91, 1–9.
- Castelló M.L., P.J. Fito y A. Chiralt. 2010. Changes in respiration rate and physical properties of strawberries due to osmotic dehydration and storage. *Journal of Food Engineering*. 97, 64–71.
- Castilho García, C., M.A. Mauro y M.M. 2007. Kimura, Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of Food Engineering*. 82, 284-291.
- Castro-Ibañez, I., M.I. Gil y A. 2017. Allende. Ready-to-eat vegetables: Current problems and potential solutions to reduce microbial risk in the production chain. *LWT - Food Science and Technology*. 85, 284-292.
- Chafer M., S. Perez, M. Vargas y A. Chiralt. 2007. Stability and quality of minimally processed orange slices. *Journal of Food Processing and Preservation*. 32, 319–334.
- Chan, G.E.C. 2005. Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica, tesis doctoral, Valencia.
- Chauhan, O.P., A. Singh, A. Singh, P.S. Raju y A.S. Bawa. 2011. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. *International Journal of Food Properties*. 14, 1037–1048.
- Chavarro-Castrillón L.M., C.I. Ochoa-Martínez y A. Ayala-Aponte. 2006. Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la

- deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol). Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas. 26(3), 596-603.
- Chenlo F., R. Moreira, G. Pereira y A. Ampudia. 2002. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. Journal of Food Engineering. 54,347–352.
  - Chenlo, F., R. Moreira, C. Fernández-Herrero y G. Vázquez. 2006. Experimental results and modeling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solutions. Journal of Food Engineering. 74, 324-334.
  - Chenlo, F., R. Moreira, C. Fernández-Herrero, G. Vázquez. 2007. Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modelling. Journal of Food Engineering. 78 (3), 765-774.
  - Chiralt, A., N. Martínez-Navarrete, J. Martínez-Monzó, P. Talens, G. Moraga, A. Ayala y P. Fito. 2001. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes Cryoprotectant effect. Journal of Food Engineering. 49, 129-135.
  - Cortez-Vega, W., I.B.B. Piotrowicz, C. Prentice y C.D. Borges. 2014. Influence of different edible coatings in minimally processed pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch). International Food Research Journal. 21(5), 2017-2023.
  - de Escalada Pla, M.F., N.M. Ponce, M.E. Wider, C.A. Stortz, A.M. Rojas y L.N. Gerschenson. 2005. Chemical and biochemical changes of pumpkin (*Cucumis moschata*, Duch) tissue in relation to osmotic stress. Journal of the Science of Food and Agriculture. 85(11), 1852–1860.
  - De Souza Silva, K., L.C. Caetano, C. Castilho García, J. Telis Romero, A. Barbosa Santos y M.A. Mauro. 2011. Osmotic dehydration process for low temperatura blanched pumpkin. Journal of Food Engineering. 105, 56-64.
  - Della Gaspera, P. 2013. Manual del cultivo del zapallo anquito (*Cucurbita moschata* duch.), Ediciones INTA. La Consulta, Mendoza, Argentina.
  - Della Roca, P. 2010. Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica Nacional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 181 pp.



- 
- Derossi A., T. de Pilla, C. Severivi y M.J. Mc Carthy. 2008. Mass transfer during osmotic dehydration of apple. *Journal of Food Engineering*. 86, (519-528).
  - Derossi A., C. Severini, A. Del Mastro y T. De Pilli. 2015. Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. *Food Science and Technology*. 60, 641 – 648.
  - Derossi A., T. de Pilli , R. Giuliani , I. Orlando ,L. Palmieri y C. Severin. 2011. Study on prestabilization of pumpkin (*Cucurbita moschata*) by osmotic dehydration in quaternary complex solution. *Journal of Food Process Engineering*. 34, 398–413.
  - Dini I., G.C. Tenore y A. Dini. 2013. Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp. *LWT - Food Science and Technology*. 53, 382-385.
  - Dini I., G.C. Tenore y Antonio Dini. 2010. Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *WT - Food Science and Technology*. 43, 447–451.
  - El-Aouar, A. A., P.M. Azoubel, J.L. Barbosa Jr. y F.E.X. Murr. 2006. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*. 75, 267–274.
  - Erle, U. y H. Schubert. 2001. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*. 49, 193-199.
  - Falade K.O., J.C. Igbeka y F.A. Ayanwuyi. 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*. 80, 979-985.
  - Fernandes Fabiano A. N., S. Rodrigues, C. Lim Law y A.S. Mujumdar. 2011. Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. *Food Bioprocess Technol*. 4, 163–185.
  - Ferrando M. y W.E.L, Spiess. 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., C.I.G.L. Sarantópoulos, S.M. Carmello-Guerreiro y M.D. Hubinger. 2013. Effect of Osmotic Dehydration and Pectin Edible Coatings on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Melon. *Food Bioprocess Technol.* 6, 80–91.
- Ferrari, C.C. y M.D. Hubinger. 2008. Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science and Technology.* 43, 2065–2074.
- Ferrari, C.C. y S.M. Carmello-Gerreiro. 2010. Structural changes, mechanical properties and sensory preference of osmodehydrated melón pieces with sucrose and calcium lactate solutions. *International Journal of Food Properties.* 112-130.
- Francis, G. A., A. Gallone, G. J. Nychas, J. N. Sofos, G. Colelli y M. L. Amodio. 2012. Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Critical reviews in food science and nutrition.* 52, 595-610.
- Gamble, J., S.R. Jaeger y F. Roger Harker. 2006. Preferences in pear appearance and response to novelty among Australian and New Zealand consumers. *Postharvest Biology and Technology.* 41, 38–47.
- Ganjloo A., R.A. Rahman, J. Bakar, A. Osman y M. Bimakr. 2012. Kinetics modeling of mass transfer using Peleg's equation during osmotic dehydration of seedless guava (*Psidium guajava*. L.): effect of process parameters. *Food Bioprocess Tech.* 5:2151–2159.
- Genina Soto, P. 2002. Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales. *Avance y Perspectiva.* 21, 321-324.
- Genina Soto, P. y Altamirano-Morales, S. 2005. Deshidratación osmótica de prismas de camote, manzana y papa. *Interciencia.* 30 (8), 485-487.
- Gil, M. I., M. V. Selma, F. Lopez-Galvez y A. Allende. 2009. Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: Problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology.* 134, 37-45.
- Gill, A. y R. Holley. 2003. Interactive inhibition of meat spoilage and pathogenic bacteria by lysozime, nisin and EDTA in the presence of nitrite and sodium chloride at 24 °C. *International Journal of Food Microbiology.* 80, 251-259.

- Giovanelli, G., A. Brambilla, A. Rizzolo y N. Sinelli. 2012. Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physicochemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Research International*. 49, 263-271.
- Giraldo G., P. Talens, P. Fito y A. Chiralt. 2003. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*. 58, 33–43.
- Gomes Corrêa J. L., D.B. Ernesto y K. S. de Mendonça. 2016. Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. *LWT - Food Science and Technology*. 71, 17-24.
- Goodburn, C., C. A. Wallace. 2013. The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control*. 32, 418 – 427.
- Graça A., M. Abadias, M. Salazar y C. Nunes. 2011. The use of electrolyzed water as a disinfectant for minimally processed apples. *Postharvest Biology and Technology*. 61 (2–3), 172-177.
- Gutiérrez, D.R. 2016. Efecto del ozono y radiación UV-C en la conservación, fisiología poscosecha y propiedades bioactivas de rúcula mínimamente procesada. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. 332 pp.
- Keqing, X. 2004. Optimización del secado por aire caliente de pera (variedad blanquilla). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 258 pp.
- Habibunnisa, R., R. P. Baskaran y M. S. Krishnaprakash. 2001. Storage behaviour of minimally processed pumpkin (*Cucurbita maxima*) under modified atmosphere packaging conditions. *European Food Research and Technology*. 2 (1), 212-165.
- Hawkes, J. y J. M. Flink. 1978. Osmotic concentration on fruit slice prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2, 265-284.
- Heredia, A., I. Peinado, C. Barrera y A. Grau. 2009. Influence of process variable on color changes, carotenoides retention and celular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22, 285-294.

- Herman-Lara, E., C.E. Martínez-Sánchez, H. Pacheco-Angulo, R. Carmona-García, H. Ruíz-Espinosa y I.I. Ruíz-López. 2012. Mass transfer modeling of equilibrium and dynamic periods during osmotic dehydration of radish in NaCl solutions. *Food and Bioproducts Processing*. 91 (3), 216-224.
- Inestroza-Lizardo, C., K. Magalhães Marques, H. Gomez-Gomez, V. Cury Galati y J. Ribeiro Guimarães. 2015. Principales consideraciones en el procesamiento mínimo de tubérculos y raíces para industrias pequeñas y medianas (artesanales). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 16 (2), 158-164.
- Ispir, A. y D.T. Toğrul. 2009. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemistry of Engineering research and Design*. 87, 166-180.
- Iqbal, T, F.A.S. Rodrigues, P.V. Mahajan, J.P. Kerry, L. Gil, M.C. Manso y L.M. Cunha. 2008. Effect of Minimal Processing Conditions on Respiration Rate of Carrots, *Food Engineering and Physical Properties*. 73,8, 396-402.
- IRAM. 1995. Equivalente a ISO 6658: 1985. Análisis Sensorial. Directivas generales para la metodología. Norma 2002.
- Jacobo-Valenzuela, N., M.R. Maróstica-Junior, J.d.J. Zazueta-Morales y J.A. Gallegos-Infante. 2011. Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata* Duchense vs. Cehualca. A Review. *Food Research International*. 44, 2587–2593.
- Jokić, A., J. Gyura, L. Lević y Z. Zavargó. 2007. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solution of sucrose and sodium chloride. *Journal of Food Engineering*. 78, 47-51.
- Kaur K. y A. K. Singh. 2013. Mass transfer kinetics and optimization during osmotic dehydration of beetroot (*Beta vulgaris L.*). *International Journal of Scientific and Research Publications*. 3 (8), 1-8.
- Kaymak-Ertekin, F. y M. Sultanoglu. 2000. Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*. 46, 243–250.
- Khan, M.A.M., L. Ahrne, J.C. Oliveira y F.A.R. Oliveira. 2008. Prediction of water and soluble solids concentration during osmotic dehydration of mango. *Food and bioproducts processing*. 86, 7–13.

- Khoyi M.R. y J. Hesari. 2007. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering*. 78, 1355–1360.
- Kowalska, H. y A. Lenart. 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*. 49, 137-140.
- Kowalska, H., A. Lenart y D. Leszczyk. 2008. The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*. 86, 30-38.
- Krokida, M. K., V. T. Karathanos y Z. B. Maroulis. 2000. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*. 18(4–5), 937–950.
- Landim A.P.M., M.I. Martins Jacintho Barbosa y J.L. Barbosa Júnior. 2016. Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review. *Ciência Rural, Santa Maria*. 46(10), 1714-1722.
- Lee J.Y., H.J. Parka, C.Y. Lee y W.Y. Choia. 2003. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*. 36, 323- 329.
- Lenart, A. y J.M. Flink. 1984. Osmotic concentration of Potato.I. Criteria for the end-point of the osmosis process. *Journal Food Technology*. 19, 45-63.
- Lericci C.R., G. Pinnavaia, M. Dalla Rosa y L. Bartolucci. 1985. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. 50 (5), 1217-1219.
- Lewicki, P.P, E. Gondek, D. Witrowa-Rajchert, D. Nowak. 2001. Effect of drying on respiration of apple slices. *Journal of Food Engineering*. 49 (4), 333-337.
- Lewicki, P.P. y A. Lenart. 2006. Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. En *Handbook of Industrial Drying*, 3° Edición. Arum S. Mujumdar (Ed). 1261 pp.
- Lo Scalzo, R., C. Papadimitriu, G. Bertolo, A. Maestrelly y D. Torregiani. 2001. Influence of cultivar and osmotic dehydration time on arome profiles of muskmelon (*Cucumis melo, cv reticulatus Naud.*) spheres. *Journal of Food Engineering*. 49, 261-264.

- Lucera A., F. Simşek, A. Conte y M.A. Del Nobile. 2012. Minimally processed butternut squash shelf life. *Journal of Food Engineering*. 113,322–328.
- Lucera, A., C. Costa, M. Mastromatteo, A. Conte y M.A. del Nobile. 2011. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties, *Journal of Food Engineering*. 102, 122-129.
- Luna-Guzmán, I. y D.M. Barreto. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes, *Postharvest Biology and Technology*. 19 (1), 61-72.
- Ma L., M. Zhang, B. Bhandari y Z. Gao. 2017. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 64, 23-38.
- Mahesh U., S. Mishra y H. Mishra. 2017. Standardization of Honey and Sugar Solution of Osmotic Dehydration of Pineapple (*Ananas comosus* L.) Fruit Slices. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 6(7), 2364-2370.
- Manzoor, M., R.N. Shukla, A.A. Mishra, A. Fatima y G.A. Nayik. 2017. Osmotic Dehydration Characteristics of Pumpkin Slices using Ternary Osmotic Solution of Sucrose and Sodium Chloride. *Journal Food Process Technology*. 8 (4), 1-4.
- Riva, S.C., A.A. Leva, A. Maestrelli y D. Torreggiani. 2005. Structure–property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*. 38, 533–542.
- Martín-Diana, A.B., D. Rico, J.M. Frías, J.M. Barat, G.T.M. Henahan y C. Barry-Ryan. 2007. Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Techbology*. 18, 210-218.
- Martínez, J.A., A. Chiesa, F. Tovar y F. Artés. 2005. Respiration rate and ethylene production of fresh cut lettuce as affected by cutting grade. *Agricultural and Food Science*. 14, 354–361.
- Mauro M.A., N. Dellarosa, U. Tylewicz, S. Tappi, L. Laghi, P. Rocculi, M. Dalla Rosa. 2016. Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions. *Food Chemistry*. Volume 195,19-28.

- Mavroudis N.E., V. Gekas y I. Sjöholm. 1998. Osmotic Dehydration of Apples- Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. *Journal of Food Engineering*. 35, 191-209.
- Mavroudis N.E., M.J. Gidley y I. Sjöholm. 2012. Osmotic processing: Effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue. *Food Research International*. 48, 839-847.
- Mayor, L., R. Moreira, F. Chenlo, A.M. Sereno. 2006. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with chloride solutions. *Journal of Food Engineering*. 74, 253-262.
- Mayor, L., R. Moreira, Chenlo, F y A.M. Sereno. 2007b. Osmotic dehydration kinetics of pumpkin fruits using ternary solutions of sodium chloride and sucrose. *Dry. Technol.* 25, 1749–1758.
- Mayor, L., R.L. Cunha y A.M. Sereno. 2007a. Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin, *Food Research International*. 40, 448–460.
- Mercali, G.D., L.D. Ferreira Marczak, I.C. Tessaro y C.P. Zapata Noreña. 2011. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, *shum.*). *LWT-Food Science and Technology*. 44, 82-91.
- Mokhtarian M., M. Heydari Majd, F. Koushki, H. Bakhshabadi, A. Daraei Garmakhany y S. Rashidzadeh. 2014. Optimisation of pumpkin mass transfer kinetic during osmotic dehydration using artificial neural network and response surface methodology modeling. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*.6 (2), 201-214.
- Molina Filho, L., E.C. Frascareli y M.A. Mauro. 2016. Effect of an Edible Pectin Coating and Blanching Pretreatments on the Air-Drying Kinetics of Pumpkin (*Cucurbita moschata*). *Food Bioprocess Technol.* 9, 859–871.
- Monnerat, S.M., T.R.M. Pizzi, M.A. Mauro y F.C. Menegalli. 2010. Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: Concentration profiles and effective diffusion coefficients. *Journal of Food Engineering*. 100, 604-612.
- Montañez, J.P.; Rodriguez, S. del C y Questa, A. G. 2002. Evaluación microbiológica y de calidad de anco rallado refrigerado empleando diferentes películas plásticas. IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires.

- Moraga M.J., G. Moraga, P.J. Fito, N. Martínez-Navarrete. 2009. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering*. 90, 372-379.
- Moreira, M. R., B. Tomadoni, O. Martín-Belloso, y R. Soliva-Fortuny. 2015. Preservation of fresh-cut apple quality attributes by pulsed light in combination with gellan gum-based prebiotic edible coatings. *LWT - Food Science and Technology*. 64, 1130-1137.
- Moreno, J., A. Chiralt, I. Escriche y J.A. Serra. 2000. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*. 33,609-616.
- Moreno-Castillo E.J., R. González-García, A. Grajales-Lagunes y M.A. Ruiz-Cabrera. 2005. Water diffusivity and color of cactus pear fruits (*Opuntia ficus indica*) subjected to osmotic dehydration. *International Journal of Food Properties*. 8: 323–336.
- Mújica-Paz, H., A. Valdez-Fragoso, A. López-Malo, E. Palou y J. Welti-Chanes. 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*. 57, 305-314.
- Müller L., S. Gnoyke, A.M. Popken y V. Böhm. 2010. Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT - Food Science and Technology*. 43, 992–999.
- Mundada, B., S. Hathan y S. Maske. 2011. Mass Transfer Kinetics during Osmotic Dehydration of Pomegranate Arils. *Journal of Food Science*. 76 (1), 31-39.
- Nakhon P.P.S., K. Jangchud, A. Jangchud y W. Prinyawiwatkul. 2017. Comparisons of physicochemical properties and antioxidant activities among pumpkin (*Cucurbita moschata* L.) flour and isolated starches from fresh pumpkin or flour, *International Journal of Food Science and Technology*. 52, 2436–2444.
- Norton, A.B., P.W. Cox y F. Spyropoulos. 2011. Acid gelation of low acyl gellan gum relevant to self-structuring in the human stomach. *Food Hydrocolloids*. 25, 1105-1111.
- Nowacka M., U. Tylewicz, S. Tappi, L. Siroli, R. Lanciotti, S. Romani y D. Witrowa-Rajchert. 2018. Ultrasound assisted osmotic dehydration of organic cranberries (*Vaccinium oxycoccus*): Study on quality parameters evolution during storage. *Food Control*. 93, 40-47.



- Nuñez-Mancilla, Y., M. Pérez-Won, E. Uribe, A. Vega-Gálvez, K. Di Scala. 2013. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: Effects on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*). LWT - Food Science and Technology. 52, 151-156.
- Ochoa-Martínez C.I. y A.A. Ayala-Aponte. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. Ciencia y tecnología alimentaria. 4(5), 330-342.
- Osorio, C., M.S. Franco, M.P. Castaño, M.L. González-Miret, F.J. Heredia y A.L. Morales. 2007. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 8, 353-359.
- Ospina Meneses S.M. y J.R. Cartagena Valenzuela. 2008. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. Revista Lasallista de Investigación. 5(2), 112-123.
- Ozdemir, M., B.F. Ozen, L.L. Dock, J.D. Floros. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced Green peppers by response surface methodology. LWT-Food Science Technology. 41, 2044-2050.
- Palou, E., A. López-Malo, A. Argañiz y J. Welti. 1994. The use of Peleg's equation to model osmotic concentration of papaya. Drying Technology. 12(4), 965-978.
- Panagiotou, N.M., V.T. Karathanos y Z.B. Maroulis. 1998. Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. International Journal of Food Science and Technology. 33, 267-284.
- Park, K.J., A. Bin, F.P. Reis Brod y T.H.K. Park. 2002. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). Journal of Food Engineering. 52, 293-298.
- Parzanese M. 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Vegetales mínimamente procesados, Alimentos Argentinos. 1-39.
- Passo Tsamo, C.V., A. Bilame, R. Ndjouenkeua y Y.J. Nono. 2005. Study of material transfer during osmotic dehydration of onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*). LWT. 38, 495-500.

- Patel, J. H. y P.P. Sutar. 2016. Acceleration of mass transfer rates in osmotic dehydration of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) applying pulsed-microwave-vacuum. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 36, 201-211.
- Peleg, M. 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*. 53(4), 1216-1216.
- Pereira, L.M., A.C.C. Rodrigues, C.I.G.L. Sarantopoulos, V.C.A. Junqueira, R.L. Cunha y M.D. Hubinger. 2004. Influence of modified atmosphere packaging and osmotic dehydration on the quality maintenance of minimally processed guavas. *Journal of Food Science*. 69, 172–177.
- Pereira, L.M., C.C. Ferrari, S.D.S. Mastrantonio, A.C.C. Rodrigues y M.D. Hubinger. 2006. Kinetic Aspects, texture, and color Evaluation of Some Tropical Fruits during Osmotic Dehydration. *Drying Technology*. 24, 475-484.
- Pereira, L.M., S.M. Carmello-Guerreiro, H.M.A. Bolini, R.L. Cunha y M.D. Hubinger. 2007. Effect of calcium salts on the texture, structure and sensory acceptance of osmotically dehydrated guavas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87, 1149–1156.
- Pereira, L.M., S.M. Carmello-Guerreiro, V.C.A. Junqueira, C.C. Ferrari y M.D. Hubinger. 2010. Calcium Lactate Effect on the Shelf Life of Osmotically Dehydrated Guavas. *Journal of Food Science*. 75 (9), 612-619.
- Pevicharova G. y N. Velkov. 2017. Sensory, chemical and morphological characterization of *Cucurbita maxima* and *Cucurbita moschata* genotypes from different geographical origins. *Genetika*. 49 (1), 193-202.
- Phisut, N. 2012. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal* 19(1): 7-18.
- Piotrowski D., A. Lenart y A. Wardzynski. 2004. Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. *Journal of Food Engineering*. 65, 519–525.
- Priori D., E. Valduga, J. Castelo Branco Villela, C.C. Mistura, M. Vizzotto, R.A. Valgas y R.L. Barbieri. 2017. Characterization of bioactive compounds, antioxidant activity and minerals in landraces of pumpkin (*Cucurbita moschata*) cultivated in Southern Brazil. *Food Science and Technology*. 37(1), 33-40.

- Ramallo, L.A. y R.H. Mascheroni. 2009. Retención del ácido ascórbico en ananá durante la deshidratación y el secado. Congreso latinoamericano de ingeniería y ciencias aplicadas -CLICAP 2009.
- Ramos B., F.A. Miller, T.R.S. Brandão, P. Teixeira y, C.L.M. Silva. 2013. Fresh fruits and vegetables—An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 20, 1–15.
- Ramirez Anaya, J.d.P. 2013. Influencia de las técnicas culinarias sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante en hortalizas de la dieta mediterránea. Tesis doctoral. Universidad de Granada, España. 384 pp.
- Ramya V. y N.K. Jain. 2016. A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: an integrated approach. *Journal of Food Process Engineering*. 40, 1-22.
- Rane D.A. y M.N. Dabhi. 2017. Optimization of Chemical Pretreatment for Osmotic Dehydrated Talaja Red Onion Slices Using Response Surface Methodology. *Advances in Food Science and Engineering* 1 (4), 152 – 163.
- Rastogi, N.K. y K. Niranjana. 1998. Enhanced Mass Transfer During Osmotic Dehydration of High Pressure Treated Pineapple. *Journal of Food Science*. 63, 508-511.
- Rastogi, N.K., K.S.M.S. Raghavarao y K. Niranjana. 2014. Recent Developments in Osmotic Dehydration. En: *Emerging technologies for food processing*. Sun D (ed.), 2<sup>o</sup> edición. Academic Press, Waltham.
- Riva M., S. Campolongo, A.A. Leva, A. Maestrelli y D. Torreggiani. 2005. Structure–property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*. 38, 533–542.
- Rodrigues, A.C.C., R.L. Cunha y M.D. Hubinger. 2003. Rheological properties and color evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*. 59, 129-135.
- Rodrigues, A.C.C., L.M. Pereira, C.I.G.L. Sarantópoulos, H.M.A. Bolini, R.L. Cunha y V.C.A. Junqueira. 2006. Impact of modified atmosphere packaging on the osmodehydrated papaya stability. *Journal of Food Processing and Preservation*. 30(5), 563–581.

- Rodrigues, L.K, L.M. Pereira, C.C. Ferrari, C.I.G.d.L. Sarantópoulos y M.D. Hubinger. 2008. Vida útil de fatias de manga armazenadas em embalagem com atmosfera modificada passiva. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 28, 271-278.
- Rodrigues, S. y F.A.N. Fernandes. 2007. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*. 80, 678–687.
- Rodrigues, A.E. y M.A. Mauro. 2008. Effective diffusion coefficients behavior in osmotic dehydration of apple slices considering shrinking and local concentration dependence. *Journal of Food Process Engineering*. 31, 207-228.
- Rodriguez, S. del C y Questa, A. G.; Montañez, J.P. y Roberto Sandoval. 2002. Efecto de diferentes soluciones de lavado en la conservación de choclo (*Zea mays*) mínimamente procesado. IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires.
- Rodriguez, S. y Montañez, J. P. 2001. Efecto de la temperatura en la conservación refrigerada de anco trozado (*Cucurbita moschata*) mínimamente procesado. Actas del VI Congreso Iberoamericano de aire acondicionado y Refrigeración. Trabajo N° 19. 511-519.
- Rodríguez, S.C.; D.R. Gutiérrez; A.C. Torales y Ana G. Questa. 2016. Vegetales IV Gama: Producción, comercialización y aspectos sanitarios en la región NOA y en Argentina. En *Aportes de la FAyA para el Desarrollo Agropecuario y Agroindustrial del NOA*. ISBN: 978-987-1676-65-1.
- Rodríguez-Félix, A., M., Rivera-Dominguez y G. González-Aguilar. 2005. Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: G.A. González-Aguilar, A.A. Gardea y F. Cuamea-Navarro (Eds.). *Nuevas Tecnologías de Conservación de productos vegetales frescos cortados*. CIAD, A.C. México. pp 447-474.
- Ruxton, C., E. Gardner y D. Walker. 2006. Can pure fruit and vegetable juices protect against cancer and cardiovascular disease too? A review of the evidence. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 57, 249–272.
- Sablani S., M. Shafiur Rahman, D.S. Al-Sadeiri. 2002. Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. *Journal of Food Engineering*. 52, 193–199.

- Sacchetti, G., A. Gianotti y M. Dalla Rosa. 2001. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatment. *Journal of Food Engineering*. 49, 163-173.
- Sakon Nakhon, P.P., K. Jangchud, A. Jangchud y W. Prinyawiwatkul. 2017. Comparisons of physicochemical properties and antioxidant activities among pumpkin (*Cucurbita moschata L.*) flour and isolated starches from fresh pumpkin or flour. *International Journal of Food Science and Technology*. 52, 2436–2444.
- Salvatori, D. y S.M. Alzamora. 2000. Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. *Drying Technology*. 18, 361-382.
- Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*. 43, 381–392.
- Sangeeta y B.S.Hathan. 2016. Development and quality evaluation of ready to eat product from elephant foot yam tuber (*Amorphophallus spp.*). *LWT - Food Science and Technology*. 65, 1-9.
- Sanjinez-Argandoña, E.J., I.G. Branc., S.Y. Takito y J. Corbari. 2010. Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kivis minimamente procesados. *Ciênc. Tecnol. Aliment*. 30 (1), 205-209.
- Santos A.R., A.F. da Silva, V.C.S. Amaral, A.B. Ribeiro, B.A. de Abreu Filho y J.M.G. Mikcha. 2016. Application of edible coating with starch and carvacrol in minimally processed pumpkin. *J Food Sci Technol*. 53(4), 1975–1983.
- Sasaki F.F, J.S. del Aguila, C. Rosa Gallo, E.M.M. Ortega, A.P. Jacomino y R.A. Kluge. 2006. Alterações fisiológicas, qualitativas e microbiológicas durante o armazenamento de abóbora minimamente processada em diferentes tipos de corte. *Horticultura Brasileira*. 24, 170-174.
- Sasaki, F.F. 2005. Processamento mínimo de abóbora (*Cucurbita moschata Duch.*): Alterações fisiológicas, qualitativas e microbiológicas. Tesis de maestría. Piracicaba.
- Saura-Calixto, F. y I. Goñi. 2006. Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. *Food Chemistry*. 94, 442-447.

- Schincariol Paes, M., J.P. Ferreira Del Pintor, P.d.A. Pessoa Filho y C.C. Tadini. 2019. Mass transfer modeling during osmotic dehydration of cambuci (*Campomanesia phaea* (O. Berg) Landrum) slices and quality assessment. *Journal of Molecular Liquids*. 273, 408–413.
- Sereno A.M., R. Moreira y E. Martinez. 2001. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*. 47, 43-49.
- Serrano J., I. Goñi y F. Saura-Calixto. 2007. Food antioxidant capacity determined by chemical methods may underestimate the physiological antioxidant capacity. *Food Research International* 4, 15–21.
- Sgroppo S.C. y C.A. Sosa. 2009. Zapallo anco (*Cucurbita moschata*, d.) fresco cortado tratado con luz UV-C. *Facena*. 25,7-19.
- Sharif, I., P. Adewale, S.S. Dalli y S. Rakshit. 2018. Microwave pretreatment and optimization of osmotic dehydration of wild blueberries using response surface methodology. *Food Chemistry*. 269, 300–310.
- Shukla, R.N., Khan, M. Ali y A.K. Srivastava. 2018. Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of banana in different osmotic agent. *Internat. J.Agric. Engg.* 11(1), 108-122.
- Sillani S. y F. Nassivera. 2015. Consumer behavior in choice of minimally processed vegetables and implications for marketing strategies. *Trends in Food Science & Technology*. 46, 339-345.
- Silva A.V.C., D.S.N. Oliveira, P. Yagui, M.A. Gutierrez, E.N., Carnelossi, N. N. Muniz. 2009. Temperatura e embalagem para abóbora minimamente processada. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*. 29(2), 391-394.
- Silva, K.S., M.A. Fernandes y M.A. Mauro. 2014. Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. *Journal of Food Engineering*. 134, 37-44.
- Silveira A.C. 2017. Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV gama o mínimamente procesados. *Agrociencia Uruguay*. 21 (1), 1-6.

- 
- Singh, B., A. Kumar y A.K. Gupta. 2007. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrots cubes. *Journal of Food Engineering*. 79, 471-480.
  - Singh, B., P.S. Panesar y V. Nanda. 2008. Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in sucrose solution. *Journal of Food Process Engineering*. 31, 1-20.
  - Singla R., A. Ganguli y M. Ghosh. 2010. Antioxidant Activities and Polyphenolic Properties of Raw and Osmotically Dehydrated Dried Mushroom (*Agaricus bisporous*) Snack Food. *International Journal of Food Properties*. 13, 1290–1299.
  - Singleton, V.L., R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299, 152- 178.
  - Solomos, T. 2017. Aspects of the Biology and Physics Underlying Modified Atmosphere Packaging. En *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Yildif, F. y Wiley, R.C. (Eds.) New York, USA. 17-51 pp.
  - Souza, J.S., M.F.D. Medeiros, M.M.A. Magalhães, S. Rodrigues, F.A.N. Fernandes. 2007. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*. 83, (4), 501-509.
  - Spiazzi, E. y R. Mascheroni. 1997. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I. Development of simulation model. *Journal of Food Engineering*. 34, 387-410.
  - Stojanovic J. y J.L. Silva. 2007. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*. 101, 898–906.
  - Sulistyawati I., M. Dekker, V. Fogliano y R. Verkerk. 2018. Osmotic dehydration of mango: Effect of vacuum impregnation, high pressure, pectin methylesterase and ripeness on quality. *LWT*. 98, 179-186.
  - Sutar, P.P. y D.K. Gupta. 2007. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. *Journal of Food Engineering*. 78, 90–97.

- Tappi, S., M.A. Mauro, U. Tylewicz, N. Dellarosaa, M.D. Rosaa y P. Rocculi. 2017. Effects of calcium lactate and ascorbic acid on osmotic dehydration kinetics and metabolic profile of apples. *Food and Bioproducts Processing*. 103, 1–9.
- Telis, V.R.N., R.C.B.D.L. Murari y F. Yamashita. 2004. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *Journal of Food Engineering*. 61, 253–259.
- Temiz, A. y D.K. Ayhan. 2017. Enzymes in Minimally Processed Fruits and Vegetables. En *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Yildif, F. y Wiley, R.C. (Eds.) New York, USA. 93- 151pp.
- Terefe N.S., R. Buckow y C. Versteeg. 2014. Quality-Related Enzymes in Fruit and Vegetable Products: Effects of Novel Food Processing Technologies, Part 1: High-Pressure Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 54, 24–63.
- Togrul. I.T. y A. Ispir. 2008. Equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of apricot food and bioproducts processing. 8, 254–267.
- Torales, A.C., D. R. Gutiérrez y S.C. Rodríguez. 2015. Diseño de una línea de proceso para un nuevo producto IV Gama: Mezcla de rúcula cortada y anco rallado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. ISSN: 1665-0204, 16(2), 165-172.
- Torregiani D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*. 26, 59-68.
- Torregiani D. 1995. Technological aspects of osmotic dehydration in foods. In: *Food preservation by moisture control: fundamentals and applications*. Barbosa-Canovas, G. V. and Welti-Chanes J (Eds.).
- Torregiani, D. y G. Bertolo. 2001. Osmotic pretreatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*. 49, 247–253.
- Torres, J.D., P. Talens, I. Escriche y A. Chiralt. 2006. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*. 74, 240–246.
- Torres Celis, D., D.S. Rodríguez, R. Baltazar Flores y R. Siche. 2013. Optimización de las condiciones de deshidratación osmótica de espárrago (*Asparragus officinalis*)



utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Agroindustrial Science Agroid Sci.* 3(1), 7-18.

- Torricela Morales, R.G., E. Zamora Uset, H. Pulido Alvarez. 2007. Evaluación Sensorial Aplicada a la Investigación, desarrollo y control de la calidad en la Industria Alimentaria. (ed). Editorial Universitaria, ciudad de La Habana. pp 131.
- Tortoe, Charles. 2010. A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science.* 4(6), 303 – 324.
- Traffano-Schiffo, M.V., L. Laghi, M. Castro-Giraldez, U. Tylewicz, P. Rocculi, L. Ragni, M. Dalla Rosa y P.J. Fito. 2017. Osmotic dehydration of organic kiwifruit pre-treated by pulsed electric fields and monitored by NMR. *Food Chemistry.* 236, 87-93.
- Valencia, M.E. y A.E. Robles-Sardin. 2005. El valor nutrimental y protector de las frutas y verduras en la dieta humana. En: G.A. González-Aguilar, A.A. Gardea y F. Cuamea-Navarro (Eds.). *Nuevas Tecnologías de Conservación de productos vegetales frescos cortados.* CIAD, A.C. México. 1-14 pp.
- van Nieuwenhuijzen, N.H., M.R. Zareifard y H.S. Ramaswamy. 2001. Osmotic drying kinetics of cylindrical apple slices of different sizes. *Drying Technology.* 19(3y4), 525-545.
- Varoquaux, P. y R.C. Wiley. 2017. Biological and Biochemical Changes in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. En *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables.* Yildif, F. y Wiley, R.C. (Eds.) New York, USA. 153-186 pp.
- Vasconcelos J.I.L.A., S.A.C. Andrade, M.I.S. Maciel, N.B. Guerra y M.A.S. Vasconcelos. 2012. Osmotic dehydration of the Indian fig (*Opuntia ficus indica*) with binary and ternary solutions. *International Journal of Food Science and Technology.* 47, 2359–2365.
- Vásquez Gamboa G., G. S. Ortiz y F. A. Vallejo Cabrera. 2017. Morpho-agronomic assessment of introductions of butternut squash (*Cucúrbita moschata* Duch.) from Central America, *Revista Nacional Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia*, doi: 10.15446/rfna.v70n1.61764.
- Vázquez-Vila, M.J., F. Chenlo-Romero, R. Moreira-Martínez y B. Pacios-Penelas. 2009. Dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L.) in osmotic and air convective drying processes. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 7(4), 869-875.

- Vega-Gálvez A., M. Palacios, F. Boglio, C. Pássaro, C. Jeréz, R. Lemus-Mondaca. 2007. Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas. 27(3), 470-477.
- Vitti M.C.D., F. F. Sasaki, P. Miguel, R. A. Kluge1 y C. L. Moretti. 2011. Activity of Enzymes Associated with the Enzymatic Browning of Minimally Processed Potatoes. *Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal*. 54(5), 983-990.
- Watts, B.M., G.L. Ylimaki, L.E. Jeffery y L.G. Elías. 1992. Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. ISBN: 0-88936-564-4.
- Wiley, C.R. 2017. Preservation Methods for Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. En *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Yildif, F. y Wiley, R.C. (Eds.) New York, USA. pp 187-238.
- Wiley, R.C y F. Yildiz. 2017. Introduction to Minimally Processed Refrigerated (MPR) Fruits and Vegetables. En *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Yildif, F. y Wiley, R.C. (Eds.) New York, USA 3-16 pp.
- Yetenayet, B. y R. Hosahalli. 2010. Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Ethiopian Journal of Applied Sciences and Technology*. 1(1), 1–15.
- Yousuf, B., O.S. Qadria y A.K. Srivastava. 2018. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *LWT - Food Science and Technology*. 89, 198–209.