

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ingeniería



**“OBTENCIÓN DE FRUTOS DESHIDRATADOS DE  
CALIDAD DIFERENCIADA MEDIANTE LA  
APLICACIÓN DE TÉCNICAS COMBINADAS”**

**María Marcela Rodríguez**

Tesis presentada para obtener el título de Doctor en Ingeniería

Director: Dr. Rodolfo H. Mascheroni

Olavarría, Argentina

Marzo de 2013



El presente trabajo de tesis para obtener el título de Doctor en Ingeniería en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata fue realizado en el Departamento de Ingeniería Química, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (TECSE-FIO-UNICEN) y en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos CIDCA (CONICET-UNLP).

Para la realización del doctorado se dispuso de las BECAS DOCTORALES INTERNAS DE POSTGRADO TIPO I (3 años) y TIPO II (2 años), otorgadas por el CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET), con la dirección del Dr. Rodolfo Horacio Mascheroni (CIDCA-UNLP, MODIAL, CONICET) y co-dirección de la MSc. Ana María Pagano (TECSE-FIO-UNICEN).

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi director de tesis el Doctor Rodolfo H. Mascheroni por su apoyo y colaboración en el desarrollo de la tesis.

A mi Co-directora de beca Ana María Pagano por haberme incentivado a realizar un postgrado.

Al Dr. Armando Quintero Ramos por sus recomendaciones y motivación para finalizar la tesis.

A la Universidad Nacional de La Plata por permitirme realizar el Doctorado en Ingeniería.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por haberme otorgado la Beca Interna de Postgrado Tipo I y II que me permitieron realizar el postgrado.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires por facilitarme las instalaciones para la realizar la parte experimental y redactar la tesis.

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

A todos los profesores, personal no docente y compañeros, por sus sugerencias, predisposición y momentos compartidos.

## **DEDICATORIA**

*.... A mis padres Ramón y Gloria por el cariño y por darme la fuerza necesaria para avanzar en la vida.*

*... A mis hermanos Danilo, Eduardo y Facundo, a María Inés y demás familiares por estar siempre a mi lado.*

*... A mis sobrinos Sofía y Lisandro por traer tanta alegría a la familia.*

*... A todos mis amigos por compartir cada momento y acompañarme en éste largo camino.*

*... A mi perro Paco por su cariño incondicional.*

---

**RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo de investigación fue la deshidratación por métodos combinados de frutos de carozo, nectarinas Caldesi (*Prunus persica* var. *nectarina*) y ciruelas D'ente (*Prunus doméstica* L.). Se utilizaron dos técnicas sucesivas de conservación: ósmosis directa seguida de secado por aire, para lo cual se ensayaron distintas variables de estudio (tipo y concentración de la solución osmótica, temperatura osmótica, relación fruta/solución, temperatura de secado y tiempo de procesamiento).

Del tratamiento osmótico, se evaluó la humedad, la pérdida de agua, el contenido de sólidos solubles, la ganancia de sólidos y los coeficientes efectivos de difusión de agua y de sólidos. Del secado por aire caliente se obtuvieron cinéticas de pérdida de humedad a las cuales se les ajustaron modelos teóricos y se analizó la influencia de las variables del proceso sobre la pérdida de humedad, los parámetros cinéticos y de transferencia de masa. El producto deshidratado por técnicas combinadas fue evaluado en cuanto a los parámetros de calidad color (mediante el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen), textura (Firmeza), capacidad de rehidratación y contenido de antioxidantes (Fenoles Totales, Flavonoides).

La pérdida de humedad, la velocidad de secado y el coeficiente efectivo de difusión se incrementaron con respecto al aumento de la temperatura de secado. Asimismo se observó que todos los tratamientos presentaron únicamente el período de velocidad decreciente, durante el secado con aire, por lo que el tratamiento osmótico favoreció la pérdida de humedad en las muestras.

El secado por métodos combinados permitió disminuir la actividad acuosa mediante la eliminación del agua y la incorporación de solutos provenientes del tratamiento osmótico. La estabilidad del producto fue comprobada mediante el almacenamiento, sin producirse modificaciones importantes en la apariencia. Los parámetros de calidad fueron influenciados fundamentalmente por la temperatura de secado y por las condiciones de deshidratación osmótica.

El estudio y análisis del tratamiento combinado junto a la evaluación de la calidad final de los frutos deshidratados permite optimizar el proceso de modo de lograr un secado eficiente que permita prolongar la vida útil de los frutos de carozo pero sin perder los atributos de calidad que garantizarán la aceptación del producto por parte de los consumidores.

**ABSTRACT**

The aim of this research work was the dehydration by combined methods of stone fruit, nectarines Caldesi (*Prunus persica* var. *nectarine*) and plums D'ente (*Prunus domestica* L.). Two consecutive techniques of conservation were used, direct osmosis followed by drying by air, for which different variables of study were assayed (type and concentration of the osmotic solution, osmotic temperature, fruit/agent ratio, drying temperature and processing time).

From the osmotic treatment, moisture, water loss, content of soluble solids, solids gain and the effective diffusion coefficients of water and solids were evaluated. From the hot air drying, kinetics of moisture loss was obtained to which theoretical models were adjusted. The influence of the variables of the process on the moisture loss, kinetics parameters and mass transfer were analyzed. The product dehydrated by combined techniques was evaluated in relation to the quality parameters of color (through Minolta colorimeter and image analysis), texture (Firmness), rehydration ability and antioxidants (Total Phenols, Flavonoids).

Moisture loss, drying speed and the effective diffusion coefficient increased in relation to the increase in drying temperature. Likewise, it was observed that all the treatments presented only the period of decreasing speed during hot air drying. Thus, the osmotic treatment favored moisture loss in the samples.

Drying by combined methods allowed decreasing water activity through water elimination and the incorporation of solutes from the osmotic treatment. The product stability was proved during storage, without important modifications in the appearance. The quality parameters were influenced mainly by drying temperature and by the conditions of osmotic dehydration.

The study and analysis of the combined treatment together with the evaluation of final quality of the dehydrated fruit allow for the process optimization, to reach an efficient drying which enables to extend the shelf life of the stone fruit without losing the quality attributes which guarantee the acceptance of the product by the consumers.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>INDICE DE TABLAS</b>	vii
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	x
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	xiv
<b>MARCO TEÓRICO</b>	1
<b>Generalidades sobre las nectarinas</b>	1
Morfología y estructura	1
Composición química y valor nutricional	2
Producción y comercialización	3
<b>Generalidades sobre las ciruelas</b>	4
Morfología y estructura	4
Composición química y valor nutricional	4
Producción y comercialización	6
<b>Deshidratación osmótica</b>	7
Fundamento	7
Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica	8
Variables del proceso	8
Influencia del tejido vegetal	8
Naturaleza del agente osmótico	9
Concentración de la solución osmótica	9
Temperatura	10
Presión de trabajo	11
Agitación	11
<b>Proceso de secado</b>	12
Fundamento	12
Ventajas y desventajas del secado por aire caliente	12
Variables del proceso	13
Área del producto	13
Velocidad del aire	14
Temperatura y tiempo	15
Humedad del aire	15
Influencia del tejido vegetal	16

Carga	16
Periodos del secado	16
<b>Proceso de secado por métodos combinados: Deshidratación osmótica como pre-tratamiento al secado por aire</b>	20
Fundamento	20
Ventajas y desventajas del secado por aire caliente	21
<b>Nomenclatura</b>	22
<b>Bibliografía</b>	23
<b>CAPITULO 1: Deshidratación osmótica</b>	29
<b>Resumen</b>	30
<b>Introducción</b>	31
<b>Objetivos</b>	32
<b>Materiales y métodos</b>	33
Preparación y caracterización de las muestras	33
Deshidratación osmótica	33
Cinética de pérdida de agua y de ganancia de sólidos	34
Determinación del índice de eficiencia del proceso	34
Determinación de los coeficientes de difusión de agua y de sólidos	34
Modelos fenomenológicos	34
Análisis estadístico	38
<b>Resultados y discusión</b>	39
Cinética de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica	39
Cinética de ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica	43
Índice de eficiencia del proceso	48
Coeficiente de difusión de agua y de sólidos	50
<b>Conclusión</b>	57
<b>Nomenclatura</b>	58
<b>Bibliografía</b>	59
<b>CAPITULO 2: Secado por aire caliente de frutos de carozo osmodeshidratados</b>	64
<b>Resumen</b>	65
<b>Introducción</b>	66
<b>Objetivos</b>	67



<b>Materiales y métodos</b>	67
Preparación y caracterización de las muestras	67
Secado por aire caliente	68
Modelado matemático del secado	68
Coeficientes efectivos de difusión	68
Ajuste de datos mediante ecuaciones matemáticas	69
Optimización del proceso	70
Análisis estadístico	70
<b>Resultados y discusión</b>	71
Secado por aire caliente	71
Modelado matemático del secado	89
Coeficientes efectivos de difusión	89
Ajuste de datos mediante ecuaciones matemáticas	92
Optimización del proceso	104
<b>Conclusión</b>	112
<b>Nomenclatura</b>	113
<b>Bibliografía</b>	114
<b>CAPITULO 3: Parámetros de calidad de frutos de carozo deshidratados</b>	119
<b>Resumen</b>	120
<b>Introducción</b>	121
<b>Objetivos</b>	124
<b>Materiales y métodos</b>	125
Materia prima	125
Determinación de actividad de agua ( $a_w$ )	125
Determinación del color mediante el colorímetro Minolta	125
Determinación del color mediante el análisis de la imagen	126
Comparación de métodos para la determinación del color	127
Efecto del almacenamiento sobre la evaluación del color	127
Determinación de textura	127
Determinación de la capacidad de rehidratación	128
Modelado matemático de la rehidratación	129
Determinación de antioxidantes	129
Fenoles Totales	130

Flavonoides	131
Análisis estadístico	131
<b>Resultados y discusión</b>	132
Evaluación de la actividad de agua ( <i>aw</i> )	132
Evaluación del color mediante colorímetro Minolta	135
Evaluación del color mediante el análisis de la imagen	141
Comparación de métodos para la determinación del color	147
Evaluación del color durante el almacenamiento mediante el análisis de la imagen	148
Evaluación de la textura	151
Evaluación de la capacidad de rehidratación	155
Modelado matemático de la rehidratación	166
Evaluación del contenido de antioxidantes	175
<b>Conclusión</b>	182
<b>Nomenclatura</b>	183
<b>Bibliografía</b>	184
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	192
<b>PERSPECTIVAS FUTURAS</b>	196
<b>TRANSFERENCIA CIENTIFICA</b>	197
<b>ANEXOS</b>	202

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición nutricional de la nectarina.	2
<b>Tabla 2.</b> Composición nutricional de la ciruela.	5
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza de las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas para <i>WL</i> .	39
<b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza de las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas para <i>SG</i> .	43
<b>Tabla 5.</b> Efecto de las variables significativas implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas sobre el contenido de agua y el contenido de sólidos solubles a 2 h.	47
<b>Tabla 6.</b> Índice de eficiencia del proceso osmótico de nectarinas y ciruelas.	48
<b>Tabla 7.</b> Coeficientes efectivos de difusión de agua durante la deshidratación osmótica de nectarinas.	52
<b>Tabla 8.</b> Coeficientes efectivos de difusión de sólidos durante la deshidratación osmótica de nectarinas.	53
<b>Tabla 9.</b> Coeficientes efectivos de difusión de agua durante la deshidratación osmótica de ciruelas.	55
<b>Tabla 10.</b> Coeficientes efectivos de difusión de sólidos durante la deshidratación osmótica de ciruelas.	56
<b>Tabla 11.</b> Ecuaciones matemáticas utilizadas para el ajuste de las cinéticas de secado de nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas.	70
<b>Tabla 12.</b> Valores de humedad de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas.	72
<b>Tabla 13.</b> Valores de humedad de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	73
<b>Tabla 14.</b> Valores de humedad de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	74
<b>Tabla 15.</b> Valores de actividad de agua de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	75
<b>Tabla 16.</b> Valores de actividad de agua de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	76
<b>Tabla 17.</b> ANOVA para los valores de humedad ( <i>X</i> ) y velocidad de secado de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	77

<b>Tabla 18.</b> ANOVA para los valores de humedad ( $X$ ) y velocidad de secado de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	78
<b>Tabla 19.</b> Valores de coeficientes efectivos de difusión de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	90
<b>Tabla 20.</b> Valores de coeficientes efectivos de difusión de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.	91
<b>Tabla 21.</b> Modelado matemático de las cinéticas de secado de las nectarinas osmodeshidratadas mediante las ecuaciones de Newton, Page, Page modificado, Henderson y Pabis y el Modelo Logarítmico ( <b>a</b> ) y las ecuaciones del Modelo de Dos términos, Exponencial de dos términos, Wang y Singh, Verma <i>et al.</i> y Midilli <i>et al.</i> ( <b>b</b> ).	93
<b>Tabla 22.</b> Modelado matemático de las cinéticas de secado de las ciruelas osmodeshidratadas mediante las ecuaciones de Newton, Page, Page modificado, Henderson y Pabis y el Modelo Logarítmico ( <b>a</b> ) y las ecuaciones del Modelo de Dos términos, Exponencial de dos términos, Wang y Singh, Verma <i>et al.</i> y Midilli <i>et al.</i> ( <b>b</b> ).	95
<b>Tabla 23.</b> Valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico ( <b>a</b> ) y del Modelo de Midilli <i>et al.</i> ( <b>b</b> ) en el proceso de deshidratación de nectarinas.	100
<b>Tabla 24.</b> Valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico ( <b>a</b> ) y del Modelo de Midilli <i>et al.</i> ( <b>b</b> ) en el proceso de deshidratación de ciruelas.	103
<b>Tabla 25.</b> Optimización del proceso de secado de nectarinas osmodeshidratadas.	105
<b>Tabla 26.</b> Optimización del proceso de secado de ciruelas osmodeshidratadas.	106
<b>Tabla 27.</b> Ecuaciones matemáticas utilizadas para el ajuste de la cinética de rehidratación de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	129
<b>Tabla 28.</b> ANOVA para los valores de actividad de agua ( $a_w$ ) de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	134
<b>Tabla 29.</b> ANOVA para los parámetros del color ( $L$ ; $a$ ; $b$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el colorímetro Minolta.	139
<b>Tabla 30.</b> ANOVA para los parámetros del color ( $L$ ; $a$ ; $b$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el colorímetro Minolta.	140

<b>Tabla 31.</b> ANOVA para los parámetros del color ( $L$ ; $a$ ; $b$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el análisis de la imagen.	145
<b>Tabla 32.</b> ANOVA para los parámetros del color ( $L$ ; $a$ ; $b$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el análisis de la imagen.	146
<b>Tabla 33.</b> ANOVA para la Firmeza de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	154
<b>Tabla 34.</b> ANOVA para los valores de humedad ( $X_r$ ) en la rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	160
<b>Tabla 35.</b> ANOVA para los valores de humedad ( $X_r$ ) en la rehidratación de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	161
<b>Tabla 36.</b> Tasa de rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	164
<b>Tabla 37.</b> Tasa de rehidratación de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	165
<b>Tabla 38.</b> Modelado matemático de la cinética de rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	167
<b>Tabla 39.</b> Modelado matemático de la cinética de rehidratación de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	168
<b>Tabla 40.</b> Constantes de ajuste del Modelo de Peleg para la cinética de rehidratación en nectarinas.	170
<b>Tabla 41.</b> Constantes de ajuste del Modelo de Peleg para la cinética de rehidratación en ciruelas.	171
<b>Tabla 42.</b> Constantes de ajuste del Modelo de Weibull para la cinética de rehidratación en nectarinas.	173
<b>Tabla 43.</b> Constantes de ajuste del Modelo de Weibull para la cinética de rehidratación en ciruelas.	174
<b>Tabla 44</b> ANOVA para los valores de Fenoles Totales y Flavonoides en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	176

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ejemplar de nectarina.	1
<b>Figura 2.</b> Ejemplar de ciruela.	4
<b>Figura 3.</b> Efecto del tamaño de partícula durante el secado de papa en tiras.	14
<b>Figura 4.</b> Efecto de la velocidad del aire durante el secado de mitades de cubos de papas.	14
<b>Figura 5.</b> Efecto de la temperatura del aire sobre el secado de papa en cubos.	15
<b>Figura 6.</b> Efecto de la carga del material durante el secado de mitades de cubos de papa.	16
<b>Figura 7.</b> Periodos de la curva de secado de humedad en función del tiempo <b>(a)</b> y velocidad de secado en función de la humedad <b>(b)</b> .	17
<b>Figura 8.</b> Porción de fruta analizada. <b>a)</b> Nectarina. <b>b)</b> Ciruela.	33
<b>Figura 9.</b> Lámina infinita equivalente utilizada para determinar los coeficientes de difusión <b>(a)</b> y Modelo 3D empleado para simular el proceso DO <b>(b)</b> .	35
<b>Figura 10.</b> DDB para el cálculo de $D_w$ y $D_s$ para cada condición operativa.	38
<b>Figura 11.</b> Pérdida de agua de las nectarinas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa <b>(a)</b> o en solución de sorbitol <b>(b)</b> .	40
<b>Figura 12.</b> Pérdida de agua de las ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa <b>(a)</b> o en solución de sorbitol <b>(b)</b> .	41
<b>Figura 13.</b> Ganancia de sólidos solubles de las nectarinas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa <b>(a)</b> o en solución de sorbitol <b>(b)</b> .	44
<b>Figura 14.</b> Ganancia de sólidos solubles de las ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa <b>(a)</b> o en solución de sorbitol <b>(b)</b> .	45
<b>Figura 15.</b> Perfiles finales de humedad <b>(a)</b> y sólidos solubles <b>(b)</b> simulados durante deshidratación osmótica de porciones de nectarinas, utilizando COMSOL-Multiphysics.	50
<b>Figura 16.</b> Matriz de la función error en función de $D_w$ y $D_s$ para una condición de procesamiento (glucosa 40%, r1/4 y 40 °C).	51
<b>Figura 17.</b> Cinéticas de humedad de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa <b>(a)</b> o en solución de sorbitol <b>(b)</b> .	80
<b>Figura 18.</b> Cinéticas de humedad de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C	82

agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa **(a)** o en solución de sorbitol **(b)**.

**Figura 19.** Cinéticas de humedad en función de la velocidad de secado (símbolos vacíos) y cinéticas del tiempo en función de la velocidad de secado (símbolos llenos) de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, utilizando jarabe de glucosa **(a)** o sorbitol **(b)**. 85

**Figura 20.** Cinéticas de humedad en función de la velocidad de secado (símbolos vacíos) y cinéticas del tiempo en función de la velocidad de secado (símbolos llenos) de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, utilizando jarabe de glucosa **(a)** o sorbitol **(b)**. 87

**Figura 21.** Ajuste de los Modelos Logarítmico y Midilli *et al.* a los datos obtenidos de las nectarinas osmodeshidratadas al 40% p/p; relación fruta a agente 1 a 10; 25 °C y secadas por aire a 60 °C. 98

**Figura 22.** Optimización del proceso de secado de nectarinas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa **(a)** ó en solución de sorbitol **(b)**. 107

**Figura 23.** Optimización del proceso de secado de ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa **(a)** ó en solución de sorbitol **(b)**. 109

**Figura 24.** Caja utilizada para la determinación del color. 126

**Figura 25.** Determinación de color por análisis de la imagen mediante el software Photoshop. 127

**Figura 26.** Curva típica del comportamiento de un material cuando se le aplica una fuerza hasta alcanzar su ruptura. 128

**Figura 27.** Estructura química del ácido gálico. 130

**Figura 28.** Estructura química de la catequina. 131

**Figura 29.** Actividad de agua (*aw*) de las nectarinas osmodeshidratadas por métodos combinados, agrupada por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C. 132

**Figura 30.** Actividad de agua (*aw*) de las ciruelas osmodeshidratadas por métodos combinados, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C. 133

**Figura 31.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las nectarinas deshidratadas por 137

métodos combinados evaluada a través del colorímetro Minolta, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

**Figura 32.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada a través del colorímetro Minolta, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C. 138

**Figura 33.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C. 142

**Figura 34.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C. 143

**Figura 35.** Imagen de la nectarina en estado fresco (**a**), luego del tratamiento en solución de sorbitol al 40% p/p, relación fruta/agente osmótico 1 a 10 y a 40 °C (**b**) y finalmente secada por aire a 60 °C (**c**). 144

**Figura 36.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C. 149

**Figura 37.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C. 150

**Figura 38.** Imagen de la ciruela osmodeshidratada en solución de sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta/agente osmótico 1 a 4, a 25 °C y secada por aire a 80 °C (**a**) y luego de 12 meses de almacenamiento a 5 °C (**b**). 151

**Figura 39.** Firmeza de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color 152



negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.	
<b>Figura 40.</b> Firmeza de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.	152
<b>Figura 41.</b> Cinéticas de rehidratación de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa (a) ó en solución de sorbitol (b).	156
<b>Figura 42.</b> Cinéticas de rehidratación de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa (a) ó en solución de sorbitol (b).	158
<b>Figura 43.</b> Cinética del proceso de secado por métodos combinados (DO+SAC) de nectarinas, seguido del proceso de rehidratación.	166
<b>Figura 44.</b> Ajuste de los Modelos de Peleg y Weibull a los datos obtenidos de la rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas en glucosa al 40% p/p; relación fruta/agente 1 a 10; 40 °C y secadas por aire a 80 °C.	169
<b>Figura 45.</b> Contenido de Fenoles Totales en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	177
<b>Figura 46</b> Contenido de Flavonoides en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	178
<b>Figura 47.</b> Relación entre el contenido de Fenoles Totales y el contenido de Flavonoides en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.	180

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión obtenidos mediante la solución analítica, según las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas.	202
<b>Anexo 2.</b> ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión obtenidos mediante la solución numérica, según las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas.	203
<b>Anexo 3.</b> ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión obtenidos mediante la solución analítica, según las variables implicadas en la deshidratación osmótica de ciruelas.	204
<b>Anexo 4.</b> ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión, según las variables implicadas en el secado de nectarinas osmodeshidratadas.	205
<b>Anexo 5.</b> ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión, según las variables implicadas en el secado de ciruelas osmodeshidratadas.	206
<b>Anexo 6.</b> ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico en el proceso de deshidratación de nectarinas.	207
<b>Anexo 7.</b> ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Midilli <i>et al.</i> en el proceso de deshidratación de nectarinas.	208
<b>Anexo 8.</b> ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico en el proceso de deshidratación de ciruelas.	209
<b>Anexo 9.</b> ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Midilli <i>et al.</i> en el proceso de deshidratación de ciruelas.	210
<b>Anexo 10.</b> Parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluados mediante el colorímetro Minolta.	211
<b>Anexo 11.</b> Parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluados mediante el colorímetro Minolta.	212
<b>Anexo 12.</b> ANOVA para la variación total del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el colorímetro Minolta.	213
<b>Anexo 13.</b> ANOVA para la variación total del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el colorímetro Minolta.	214
<b>Anexo 14.</b> Parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos	215

combinados evaluados mediante el análisis de la imagen.	
<b>Anexo 15.</b> Parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluados mediante el análisis de la imagen.	216
<b>Anexo 16.</b> ANOVA para la variación total del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el análisis de la imagen.	217
<b>Anexo 17.</b> ANOVA para la variación total del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el análisis de la imagen.	218
<b>Anexo 18.</b> Parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.	219
<b>Anexo 19.</b> ANOVA para los parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.	220
<b>Anexo 20.</b> Parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.	221
<b>Anexo 21.</b> ANOVA para los parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.	222
<b>Anexo 22.</b> ANOVA para la variación total del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluada mediante el análisis de la imagen.	223
<b>Anexo 23.</b> ANOVA para la variación total del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluada mediante el análisis de la imagen.	224
<b>Anexo 24.</b> ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Peleg, obtenidas en la rehidratación de nectarinas deshidratadas por métodos combinados.	225
<b>Anexo 25.</b> ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Peleg, obtenidas en la rehidratación de ciruelas deshidratadas por métodos combinados.	226
<b>Anexo 26.</b> ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Weibull, obtenidas en la rehidratación de nectarinas deshidratadas por métodos combinados.	227

**Anexo 27.** ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Weibull, 228  
obtenidas en la rehidratación de ciruelas deshidratadas por métodos combinados.

## MARCO TEÓRICO

### Generalidades sobre las nectarinas

#### ▪ Morfología y estructura

Las nectarinas pertenecen a la Familia de las *Rosáceas* y su especie botánica es *Prunus persica* var. *nectarina*. Es un fruto originario de China, que surgió por mutación del árbol del durazno, siendo la ausencia de pelusas la única característica que los diferencia en cuanto a la apariencia, como se muestra en la **Figura 1**. Por lo tanto, esta especie de clima templado tiene hábitos vegetativos y productivos similares al durazno (Fideghelli, 1987; Durán, 1993; Araujo, 2005; Lurie & Crisosto, 2005).



**Fig.1.** Ejemplar de nectarina.

El fruto es una drupa (pericarpio membranoso, mesocarpio pulposo, endocarpio leñoso), de forma más o menos globosa con una línea de sutura y una cavidad alrededor del pedúnculo. Su piel es lisa, de coloración atrayente, pulpa muy sabrosa y el hueso es libre, no está adherido a la pulpa como en el durazno. En el mercado se pueden encontrar variedades de nectarinas de pulpa blanca y de pulpa amarilla (Fideghelli, 1987; Durán, 1993; Lurie & Crisosto, 2005).

Hay diferentes formas de clasificar las frutas, según sea su tipo, la forma de recolección o el proceso de maduración. Las nectarinas según sea la semilla, son frutas de hueso o carozo que se consumen como fruto fresco, inmediatamente o a los pocos días de su recolección. Según el proceso de maduración, corresponden a la categoría de frutas climatéricas, que son aquellas que experimentan un proceso acelerado de respiración dependiente de oxígeno durante la etapa de maduración y que se manifiesta mediante grandes cambios en el color, la textura y la composición. Normalmente se recolectan en estado pre-climatérico y se almacenan en condiciones controladas para

que la maduración no tenga lugar hasta el momento de su comercialización (SAGPyA, 2012).

▪ **Composición química y valor nutricional**

Las nectarinas a igual que otras frutas, tienen un alto valor nutricional dado por su composición en hidratos de carbonos, vitaminas y minerales. En la **Tabla 1** se muestra la composición nutricional por cada 100 g de fruto.

**Tabla 1.** Composición nutricional de la nectarina.

<b>Composición</b>	<b>Cada 100 g</b>
Agua	86.28 g
Calorías	49 kcal
Grasas	0.46 g
Hidratos de carbono	11.78 g
Proteína	0.90 g
Fibra	1.60 g
Potasio	212 mg
Fósforo	16 mg
Sodio	0 mg
Calcio	5 mg
Cinc	0.90 mg
Selenio	0.40 µg
Magnesio	8 mg
Vitamina C	5.40 mg
Vitamina A	736 UI
Vitamina B6	0.025 mg
Tiamina (B1)	0.017 mg
Riboflavina (B2)	0.041 mg
Niacina	0.99 mg
Ácido fólico	4 µg

Fuente: [www.botanical-online.com/nectarina.htm](http://www.botanical-online.com/nectarina.htm)

También las propiedades nutricionales son similares a las del durazno, pero con contenidos ligeramente superiores de provitamina A y vitamina E. Además, este fruto aporta a la dieta niacina (vitamina B) y en menor medida, vitamina C. La vitamina A es esencial para proteger la visión, mantener la piel saludable y ayudar en el crecimiento. La niacina actúa junto con otras sustancias de la digestión y estimula el apetito.

Las nectarinas se destacan por su elevado contenido de potasio, con valores similares a los encontrados en la banana, que es una fruta que se diferencia primordialmente por contener a este mineral (Gil *et al.*, 2002; Araujo, 2005; Lavelli *et al.*, 2009). El potasio es un mineral muy importante en el organismo humano y posee múltiples funciones, como la de mantener la presión osmótica y el equilibrio hídrico del cuerpo, intervenir en la síntesis de proteínas, actuar sobre la transmisión nerviosa y en la contracción del músculo cardíaco, entre otras funciones. Para adolescentes y adultos se recomienda una ingesta diaria de 200 mg de potasio (Franco, 1992; Araujo, 2005).

Las nectarinas contienen cantidades considerables de antioxidantes, incluyendo ácido hidroxicinámico, flavonoides, antocianinas y carotenoides. Además de los beneficios que propician a la salud de los consumidores, muchos de estos compuestos son los responsables del atractivo color de los frutos (Araujo, 2005; Lavelli *et al.*, 2009).

#### ▪ **Producción y comercialización**

Las nectarinas (pelones) junto a las ciruelas y duraznos son las principales frutas de carozo producidas en la Argentina. La producción y comercialización de las nectarinas en la Argentina es similar a la del durazno, tanto en fresco como en sus procesos industriales (jugos, conservas, dulces). El mercado importador demandante de las nectarinas argentinas es la Unión Europea, cuyos integrantes, Bélgica, España y los Países Bajos compran aproximadamente el 80% de la oferta nacional.

La gran mayoría de las empresas productoras de la Argentina han comenzado un proceso de reconversión, para adecuarse a los requerimientos comerciales de sus clientes, mediante mejoras en infraestructura y la incorporación de variedades que satisfacen las necesidades del consumidor más exigente. Las principales regiones productivas son las del Litoral, de Cuyo y Patagónica, que agrupan la producción de las provincias de Buenos Aires, Mendoza, Río Negro y Neuquén (CFI, 2012).

## **Generalidades sobre las ciruelas**

### ▪ **Morfología y estructura**

Las ciruelas pertenecen a la Familia de las *Rosáceas* y su especie botánica es *Prunus doméstica* L. El fruto (**Figura 2**) es una drupa ovoide originaria del Cáucaso, Anatolia (actual Turquía) y Persia (actual Irán). Existen variedades de ciruelas europeas, japonesas y americanas que difieren en color, tamaño, firmeza y sabor (Guerra & Casquero, 2008).



**Fig.2.** Ejemplar de ciruela.

Las ciruelas son frutos de clima templado, según el proceso de maduración corresponde a la categoría de frutas climatéricas, que pueden ser consumidas en forma fresca o deshidratada con o sin presencia del carozo (Guerra & Casquero, 2008)

### ▪ **Composición química y valor nutricional**

En la **Tabla 2** se muestra la composición nutricional por cada 100 g de fruto. El principal componente de las ciruelas es el agua, seguido de los hidratos de carbono, entre los que destaca la presencia de sorbitol que puede causar un leve efecto laxante en adultos con ciertos síntomas gastrointestinales (Piiirainen *et al.*, 2007).

El aporte de vitaminas no es relevante, destacándose la presencia de provitamina A (más abundante en las de color oscuro) y vitamina E (interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad). La vitamina A es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico. Del mismo modo que otras frutas poseen alto contenido de vitamina C. En lo que se refiere a su contenido de minerales, son ricas en Potasio, Calcio, Magnesio y Hierro. El potasio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula (Doymaz, 2004).



**Tabla 2.** Composición nutricional de la ciruela.

<b>Composición</b>	<b>Cada 100 g</b>
Agua	86.30 g
Calorías	44 kcal
Grasas	0.10 g
Hidratos de carbono	11 g
Proteína	0.60 g
Fibra	1.60 g
Potasio	195 mg
Fósforo	21 mg
Sodio	0.80 mg
Calcio	14 mg
Cinc	0.10 mg
Selenio	0.60 µg
Magnesio	7.90 mg
Vitamina C	3 mg
Vitamina A	64.70 µg
Vitamina B6	0.05 mg
Tiamina (B1)	0.07 mg
Riboflavina (B2)	0.05 mg
Niacina	1.31 mg
Ácido fólico	3 µg

Fuente: <http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/ciruela/intro.php>

Numerosos estudios han demostrado que las ciruelas poseen una alta actividad antioxidante, dado por sus componentes polifenólicos (ácido hidroxicinámico, ácido clorogénico, ácido neoclorogénico, flavonoides y antocianinas) (Chun & Kim, 2004). La presencia de compuestos antioxidantes y anti-inflamatorios ha demostrado mejorar la densidad ósea en personas que padecen osteoporosis (Franklin *et al.*, 2006) y puede ayudar a retardar el desarrollo de la aterosclerosis (Gallaher & Gallaher, 2008).

Las ciruelas son una excelente fuente de fibra, presentan bajo contenido graso y calórico. Asimismo, su abundancia de fibra y otros componentes laxantes (sorbitol y derivados de la hifroxifenilxantina) mejora el tránsito intestinal (Doymaz, 2004).

▪ **Producción y comercialización**

Las ciruelas son una de las principales frutas de carozo producidas en la Argentina. La producción y comercialización de las ciruelas en la Argentina se ubica en la región de Cuyo, que abarca las provincias de Mendoza y San Juan, y la región Patagónica, en las provincias de Río Negro y Neuquén, principalmente. El resto de la producción se ubica en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Tucumán y Salta.

Los países productores de ciruela en el ámbito mundial son China, Estados Unidos, Yugoslavia, España, Francia, Italia y Alemania. El mercado importador demandante de las ciruelas argentinas está integrado por Brasil y por países de la Unión Europea, Bélgica y los Países Bajos, principalmente, donde en los últimos años se observa un importante incremento de la demanda.

## **Deshidratación osmótica**

### ▪ **Fundamento**

La concentración de alimentos mediante la inmersión del producto en una solución hipertónica (por ejemplo de azúcar, sal, sorbitol o glicerol) se conoce como deshidratación osmótica (DO) (Raoult-Wack *et al.*, 1991). Dicha técnica genera un gradiente de presión osmótica que provoca un importante flujo de agua del alimento hacia la solución y una transferencia simultánea de solutos desde la solución hacia el alimento, los cuales modifican la composición y el sabor final del producto (Lazarides, 2001). Hay también una migración menos importante de solutos solubles desde el tejido al medio osmótico (ácidos orgánicos, minerales y vitaminas), que es despreciable comparada con los otros flujos, pero puede ser esencial en lo que a la calidad organoléptica se refiere (Chiralt & Fito, 2003; Ramallo & Mascheroni, 2005).

Se ha comprobado que la velocidad a la que sale el agua del alimento hacia la solución osmótica es mayor que la de los sólidos solubles hacia el interior del alimento, debido al pequeño tamaño de la molécula de agua y a la alta permeabilidad que presentan las membranas celulares a este componente. La presión del sistema será, por tanto, la fuerza impulsora predominante al comienzo del proceso (Lazarides, 2001).

La pérdida de agua por parte del alimento, en el tratamiento osmótico, se puede dividir en dos períodos: (1) un período, de alrededor de 2 horas, con una alta velocidad de eliminación de agua y (2) un período, desde las 2 h en adelante, con una velocidad decreciente de eliminación de agua. También se ha observado que el flujo neto de azúcares y ácidos nativos del producto hacia la solución osmótica es prácticamente cero en procesos de hasta 10 horas y hay una ganancia muy limitada (hasta un orden del 10% en peso) de azúcares externos (Barat, 1998; Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 2000).

En una situación de ósmosis ideal, existe una membrana semipermeable y las moléculas de solvente la atraviesan, pero no lo hacen las del soluto. La membrana celular es sólo parcialmente selectiva y puede encogerse o estirarse bajo la influencia del crecimiento o de la turgencia generada dentro de la célula. La propiedad de semipermeabilidad de la membrana celular puede modificarse por efecto de la temperatura o presión, lo que facilitaría la entrada de solutos por difusión (Keqing, 2004).

### ▪ **Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica**

Las ventajas e inconvenientes de la DO sobre los métodos tradicionales son las siguientes:

#### *Ventajas:*

- Comparada con el secado por aire o con la liofilización, la eliminación de agua ocurre sin cambio de fase.
- La estructura de los alimentos se conserva mejor.
- El daño en el color y en el sabor de los alimentos se ve minimizado debido a que la DO se puede realizar a bajas temperaturas.
- La alta concentración de solutos alcanzada en la parte externa de la pieza contribuye a prevenir el oscurecimiento en muchos productos, evitando así el uso de aditivos químicos como los sulfitos.
- Un pre-tratamiento de deshidratación osmótica anterior a una operación de secado hace posible la reducción del tiempo del mismo y como consecuencia una reducción en los costos de producción.
- Las soluciones osmóticas pueden ser re-utilizadas durante algunos ciclos y así disminuir el costo del proceso.

#### *Desventajas:*

- Después del secado puede formarse una capa de azúcar que no favorezca la textura de los mismos.
- La oxidación de productos puede aparecer en pocas semanas como consecuencia de la alta retención de aceites esenciales, deteriorando el sabor del producto.
- Las soluciones osmóticas que ya no se puedan re-utilizar deben ser tratadas para evitar contaminación microbiana (Ponting *et al.*, 1966; Ponting, 1973; Raoult-Wack *et al.*, 1989; Keqing, 2004).

### ▪ **Variables del proceso**

La eficiencia de la deshidratación osmótica depende de las siguientes condiciones:

- *Influencia del tejido vegetal:*

La membrana celular otorga rigidez y protección a la célula frente a una posible distensión originada por una entrada masiva de agua, mientras que la pared celular no

presenta selectividad al transporte de componentes. La naturaleza semipermeable de las membranas permite que pequeñas moléculas de agua puedan atravesarla, pero restringen la transmisión de moléculas de mayor tamaño como las de azúcar (Barat, 1998).

La forma y tamaño del tejido vegetal influyen sobre la cinética del proceso osmótico, al aumentar la superficie específica del alimento se logra un incremento en la pérdida de agua (Fito & Chiralt, 1997). A su vez la porosidad afecta a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica de forma tal, que cuanto mayor es la porosidad de la fruta, mayor es la ganancia de sólidos (Giangiacomo *et al.*, 1987).

Además, la amplia variación de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos, debido a los diferentes grados de compactación del tejido, al contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, a los espacios intercelulares, a la presencia de gas, a la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina), al nivel de gelificación de las pectinas y la actividad enzimática de la fruta (Giangiacomo *et al.*, 1987).

- *Naturaleza del agente osmótico:*

La naturaleza del agente osmótico es fundamental para definir el comportamiento del producto durante el proceso de deshidratación osmótica. La interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento dependerá de la naturaleza y propiedades físicas del agente osmótico (viscosidad, poder depresor de la  $a_w$ ). La ganancia de sólidos se ve favorecida por los solutos de bajo peso molecular, lo que facilita su penetración.

En la actualidad existe una gran abundancia de agentes osmóticos tales como la sacarosa, glucosa, azúcar invertido, jarabe de maíz, maltosa, melaza, zumo de frutas concentrado, cloruro de sodio, cloruro de potasio, glicerina, manitol, propilenglicol, sorbitol, entre otros. En el caso particular de las frutas, el agente osmótico más empleado ha sido la sacarosa debido a su fácil accesibilidad, aceptable sabor y aroma (Keqing, 2004).

- *Concentración de la solución osmótica:*

La concentración de la solución osmótica afecta en gran medida a la velocidad del proceso, ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de materia.

Asimismo, la distinta viscosidad de la disolución y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso, tiene un efecto importante en la velocidad de transporte. El uso de soluciones de distinta concentración da lugar al desarrollo de diferentes perfiles de concentración en el tejido de las frutas (Keqing, 2004; Araujo, 2005).

- *Temperatura:*

En general el incremento de la temperatura de proceso provoca un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles (Lazarides, 2001). La dependencia entre la difusividad efectiva de agua o solutos ( $D$ ) con la temperatura ( $T$ ) puede ser determinada mediante la ecuación de Arrhenius:

$$\ln D = -\frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} + C \quad (1)$$

donde  $E_a$  es la energía de activación y  $R$  es la constante universal de los gases ( $0.0820562 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).

Por otro lado, la difusión de aromas de la fruta hacia el jarabe, así como los posibles daños térmicos en la estructura y parámetros de calidad (color, sabor, textura) y valor nutritivo (vitaminas termolábiles), también aumentan con la temperatura. Además la solución presenta problemas de pardeamiento a altas temperaturas. Ponting *et al.* (1966) han demostrado que por encima de  $49 \text{ }^\circ\text{C}$  se produce pardeamiento de la muestra y deterioro del aroma y color, existiendo un límite cerca de los  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  en el que las características de la fruta se modifican de forma muy drástica (destrucción de la membrana celular y de muchos nutrientes, como el ácido ascórbico), y además, se dificulta su rehidratación posterior.

En general, una temperatura entre  $20\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$  se considera óptima desde el punto de vista de la calidad obtenida en el producto final, existiendo numerosos estudios que consideran óptima la temperatura ambiente (Keqing, 2004).

Por otra parte, muchos experimentos han demostrado que un aumento moderado en la temperatura de la solución, tiene un efecto favorable sobre la pérdida de agua pero no modifica la ganancia de sólidos (Ponting *et al.*, 1966; Hawkes & Flink, 1978; Islam & Flink, 1982; Fito *et al.*, 1992).

- *Presión de trabajo:*

Dependiendo del valor de las presiones de trabajo utilizadas en la operación se pueden considerar tres tipos de deshidratación osmótica:

- i. Deshidratación osmótica propiamente dicha (DO): en esta operación, tanto el producto a tratar como la solución osmótica se ponen en contacto a presión osmótica.
- ii. Deshidratación osmótica a vacío (DOV) o impregnación a vacío (IV): cuando se trabaja en condiciones de vacío.
- iii. Deshidratación osmótica a vacío por pulso (DOVP): se somete a la materia prima, inmersa en la solución osmótica, a una impregnación a vacío durante un corto período de tiempo, continuando el proceso posteriormente a presión atmosférica.

La utilización de vacío en general permite una pérdida de peso y una salida de agua más rápida, sobre todo en la primera media hora y una mayor entrada de sólidos en los alimentos; además de un aspecto más fresco y translúcido (Fito & Chiralt, 1995).

- *Agitación:*

La agitación periódica del sistema también produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación, ya que reduce la resistencia a la transferencia de masa por disminución de la viscosidad de la solución y por recambio de la solución diluida en contacto con el alimento (Ponting *et al.*, 1966; Hawkes & Flink, 1978; Moreira & Sereno, 2003; Maldonado *et al.*, 2008).

Ponting *et al.* (1966) sugieren que se realice un control en el nivel de agitación para evitar cualquier daño al producto y para reducir costos de energía, entre otros.

## **Proceso de secado**

### ▪ **Fundamento**

Se denomina secado a la eliminación de humedad en un sólido, por evaporación, con el fin de reducir el contenido de agua hasta un valor aceptablemente bajo, que se consigue mayoritariamente utilizando aire caliente (excepto para algunas operaciones tales como liofilización o la deshidratación osmótica). El secado de alimentos por aire caliente (SAC) se utiliza como una técnica de preservación mediante la eliminación del contenido de agua para detener o aminorar el crecimiento de microorganismos perjudiciales, así como de ciertas reacciones químicas. El SAC no sólo afecta al contenido acuoso sino también a las características físicas y químicas del producto (Treybal, 1995; Geankoplis, 1998; Menges & Ertekin, 2006; Sacilik & Elicin, 2006; Vega *et al.*, 2007; Togrul, 2010).

Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua, como también muchas de las enzimas responsables de los cambios químicos no pueden actuar en estas condiciones. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante un periodo largo de tiempo (Treybal, 1995; Geankoplis, 1998).

La deshidratación de alimentos no es una operación unitaria trivial. Son varios los factores que afectan al rendimiento de un secadero, así como a la calidad del producto durante la operación de secado. Los cambios físicos y químicos del alimento durante una operación de secado pueden potenciar ciertas características deseadas de los productos, pero también pueden disminuir la cantidad de nutrientes y cambiar las propiedades organolépticas. Sin embargo, con un adecuado manejo, se puede preservar el valor nutritivo y aumentar significativamente su vida comercial (Treybal, 1995; Geankoplis, 1998).

### ▪ **Ventajas y desventajas del secado por aire caliente**

Las ventajas e inconvenientes del SAC son las siguientes:



*Ventajas:*

- Es el método más utilizado por su simplicidad y eficiencia.
- La eliminación del agua se alcanza de forma rápida comparada como otras técnicas como la deshidratación osmótica.
- Permite disminuir el peso y el volumen del producto por eliminación del contenido acuoso, por lo tanto reduce costos de manejo, embalaje, almacenamiento y transporte.
- Puede ser utilizado como una operación final luego de un pre-tratamiento como la deshidratación osmótica para obtener un producto seguro desde el punto de vista microbiológico pero que conserve las propiedades nutricionales del producto fresco.

*Desventajas:*

- La utilización de altas temperaturas de trabajo provoca deterioro en el color, sabor y valor nutricional.
- Demanda altos costos energéticos dependiendo de la humedad inicial del producto, la humedad que se pretende alcanzar, la temperatura de secado, la humedad relativa y la velocidad del aire.

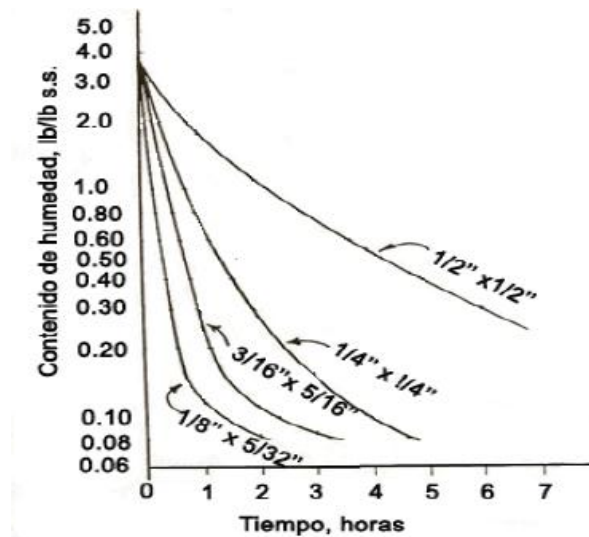
▪ **Variables del proceso**

La velocidad de secado depende de los siguientes factores:

- *Área del producto:*

A menor tamaño de partícula, mayor es la superficie específica expuesta, el área húmeda de contacto es mayor y por lo tanto aumenta la velocidad de secado. En la práctica se subdivide lo máximo posible al producto, a fin de aumentar la transferencia de masa y calor y acelerar de este modo el proceso. El efecto del tamaño de partícula durante el secado fue investigado por Van Arsdel & Copley (1963) en muestras de papa en tiras, donde se evidencia que el descenso de la humedad es favorecido por la disminución del tamaño de la muestra (**Figura 3**).

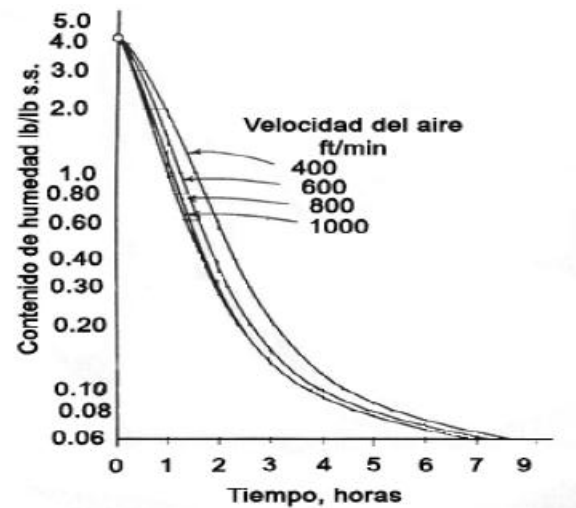
Además cuando el tamaño de la pieza es grande, al comienzo del proceso, generalmente se evidencia un hombro en la curva de humedad en función del tiempo, que finaliza cuando toda la masa del producto alcanza la temperatura de secado.



**Fig. 3.** Efecto del tamaño de partícula durante el secado de papa en tiras.

- *Velocidad del aire:*

La velocidad del aire actúa aumentando la transmisión de calor y de masa, por lo tanto aumenta la velocidad de secado. Esto fue corroborado por Van Arsdel & Copley (1963) durante el secado de mitades de cubos de papas (**Figura 4**).



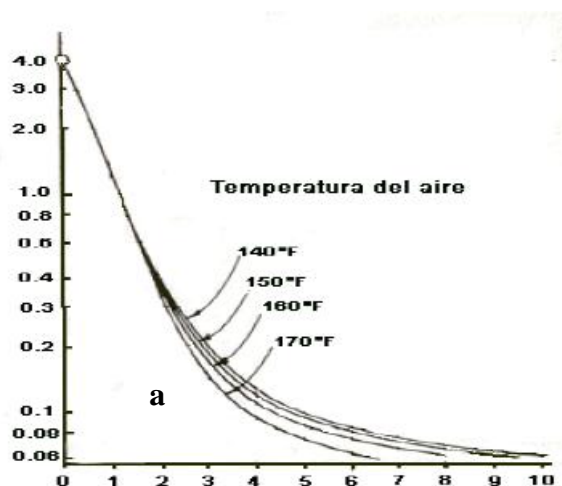
**Fig. 4.** Efecto de la velocidad del aire durante el secado de mitades de cubos de papas.

Sin embargo, a partir de un cierto punto, la velocidad de secado no depende de esta variable porque ya no hay humedad en la superficie del sólido y el factor que controla el proceso es ahora la difusión, de manera que, por más que aumente la velocidad másica del aire no se puede aumentar la velocidad de secado (Fito *et al.*, 2001). Üretir *et al.* (1996) estudiaron el efecto de la velocidad del aire en el secado de

manzana en cubos y observaron que a temperatura constante había dos periodos de velocidad de secado decreciente. En el primer periodo las constantes de la velocidad de secado aumentaban con la velocidad del aire, mientras que en el segundo periodo, estas constantes no se veían afectadas.

- *Temperatura y tiempo:*

Según Van Arsdel & Copley (1963) la velocidad de secado aumenta con el incremento de la temperatura, y por tanto, el tiempo disminuye (**Figura 5**).



**Fig. 5.** Efecto de la temperatura del aire sobre el secado de papa en cubos.

El efecto de la temperatura es más notable en la etapa de secado a velocidad decreciente (**Figura 5**). Simal *et al.* (1997) realizaron un estudio de secado a diferentes temperaturas con muestras de manzana en cubos, revelando que la velocidad de secado aumentaba claramente a medida que la temperatura se incrementaba de 30 a 60 °C. Sin embargo, la influencia de la temperatura del aire era menos importante desde 60 a 90 °C, debido a que a partir de 60 °C tienen lugar fenómenos de encostramiento superficial.

- *Humedad del aire:*

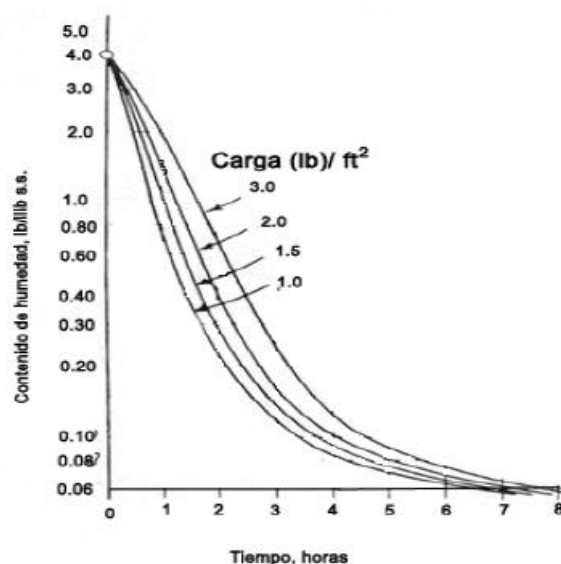
Cuanto más seco esté el aire, mayor será la velocidad de deshidratación ya que aumenta la fuerza impulsora para el transporte de masa (Keqing, 2004).

- *Influencia del tejido vegetal:*

Las propiedades naturales del tejido son un factor determinante en el proceso de deshidratación. La velocidad y el tiempo total del secado están influenciados por las propiedades del producto, especialmente tamaño y geometría de la partícula, el estado de madurez del fruto, su ordenación geométrica en relación con el medio de transferencia y las características del equipo de secado (Mujumdar *et al.*, 1995).

- *Carga:*

Se denomina carga a la cantidad de material que se dispone a secar. La velocidad de secado se incrementa al disminuir la carga de producto (**Figura 6**).



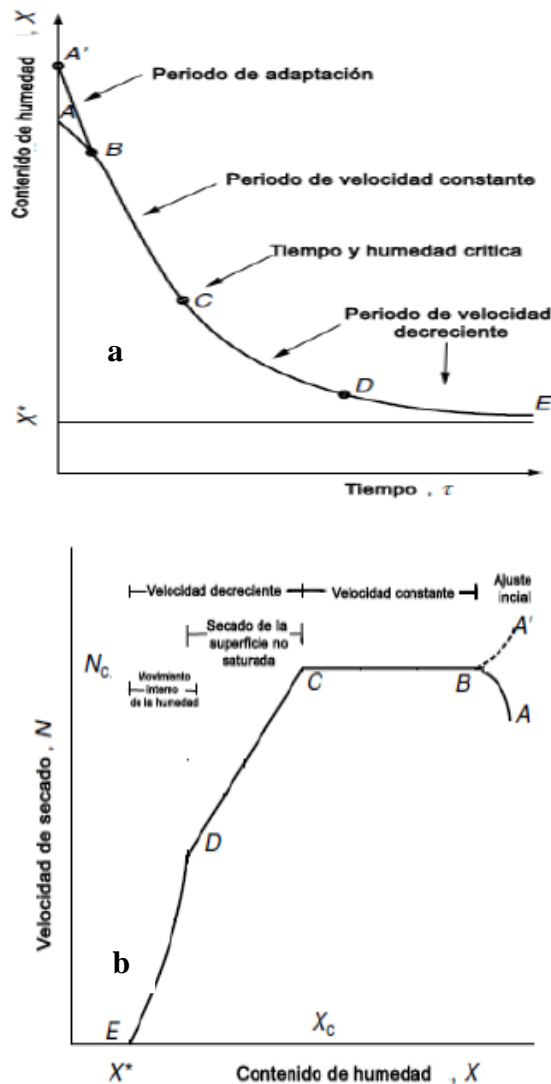
**Fig. 6.** Efecto de la carga del material durante el secado de mitades de cubos de papa.

El efecto de la carga se evidencia en la zona de secado a velocidad constante, luego de esa etapa la influencia de la carga no es relevante (Van Arsdel & Copley, 1963).

- **Periodos del secado**

Durante el proceso de secado se evidencian distintas etapas, que dependerán principalmente del producto y de las formas en que el agua se encuentra contenida en este, además de las condiciones del proceso y de la presencia de pre-tratamientos de deshidratación (Van Arsdel *et al.*, 1973; Üretir *et al.*, 1996; Simal *et al.*, 1997; Fito *et al.*, 2001; Sanjuán *et al.*, 2003; Keqing, 2004).

La curva de secado es la evolución en el contenido de agua en base seca (b.s.) del producto en el tiempo. Gráficamente se representa como la humedad del material ( $X$ ) frente al tiempo transcurrido desde que se inicia la operación de secado ( $t$ ) (**Figura 7a**). La velocidad a la cual se realiza la operación es definida como la velocidad con que disminuye la humedad del producto, es decir la pendiente de la curva de secado ( $dX/dt$ ). También se puede representar a la velocidad en función de la humedad (**Figura 7 b**). La **Figura 7** muestra una curva de secado típica de materiales muy húmedos en la que pueden diferenciarse las distintas zonas características (Fito *et al.*, 2001).



**Fig. 7.** Periodos de la curva de secado de humedad en función del tiempo (a) y velocidad de secado en función de la humedad (b).

El periodo de secado está normalmente dividido en tres grandes fases: una fase inicial de adaptación (período A-B), seguido de otra de velocidad de secado constante (B-C) y una o más fases de velocidad de secado decreciente (C-D; D-E).

El periodo de inducción o de velocidad de secado creciente (A-B) corresponde al inicio del proceso de secado, de manera que el producto se calienta, aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado se elimina la humedad superficial. La duración de esta etapa será función de la humedad inicial del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire y del tamaño de la partícula. Pero en general, esta fase es muy rápida y a los fines prácticos se prescinde de ella, ya que se considera que en su transcurso, el secado tiende al régimen estacionario, es decir al periodo B-E, en los que se centra el estudio del secado (Geankoplis, 1998; Fito *et al.*, 2001; Sanjuán *et al.*, 2003; Curcio, 2010).

En el periodo de velocidad de secado constante (B-C), la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que puede llegar a ella desde el interior del mismo. De esta manera, la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. El agua que se elimina es el agua libre presente en el sólido. A medida que transcurre el tiempo, el sólido se va secando, la superficie ya no está totalmente mojada y la velocidad con que el agua llega a la superficie se hace menor que la capacidad de evaporación. En dicho instante el contenido de agua del producto se conoce como humedad crítica ( $X_c$ ) y da por finalizada esta etapa a un tiempo denominado, también crítico (Geankoplis, 1998; Fito *et al.*, 2001; Sanjuán *et al.*, 2003; Curcio, 2010).

En el periodo de velocidad de secado decreciente (C-D; D-E), la humedad del producto sigue disminuyendo hasta que la superficie queda seca en su totalidad, es decir, hasta alcanzar la humedad de equilibrio ( $X_\infty$ ). En esta etapa la cantidad de humedad que se elimina es pequeña y el agua se encuentra retenida o ligada a componentes del sólido, presentando una resistencia para su desplazamiento desde el interior a la interfase y la eliminación del agua en el sólido está controlada por mecanismos difusionales, por lo que la pérdida de humedad disminuye notablemente alargándose los tiempos de secado para el logro de niveles de humedad de estabilidad en el producto. Esta fase representa una parte significativa del tiempo de secado, por lo que su conocimiento y predicción es importante para el establecimiento de procesos óptimos en tiempos y consumos de energía durante el secado (Geankoplis, 1998; Fito *et*

*al.*, 2001; Sanjuán *et al.*, 2003; Curcio, 2010). En este período las líneas que se obtienen pueden ser curvas, en otros casos serán rectas o bien una combinación de ambas. En los casos en los que la disminución de la velocidad de secado es lineal, se supone que la evaporación del agua continúa produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada; hasta que toda la superficie del material queda seca (Geankoplis, 1998; Fito *et al.*, 2001; Curcio, 2010).

## **Proceso de secado por métodos combinados: Deshidratación osmótica como pre-tratamiento al secado por aire**

### ▪ **Fundamento**

Como ya se dijo, el secado por aire caliente es el método más utilizado para la conservación de los alimentos, pero la exposición de los productos durante un largo periodo de tiempo a elevadas temperaturas provoca cambios físicos, químicos, sensoriales y disminución en el valor nutritivo. En la actualidad se investiga la aplicación de técnicas combinadas que permitan cumplir con el doble propósito de conservar con menor alteración de la calidad del producto final (Chua *et al.*, 2001; Dandamrongrak *et al.*, 2002; Fernandes *et al.*, 2006; Togrul, 2010; Pavkov *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista económico y ambiental, el SAC es un proceso que demanda altos consumos de energía, por lo tanto, es deseable que los alimentos a deshidratarse sean pre-tratados antes de la operación del secado, para disminuir el consumo de energía y obtener un producto seco de calidad deseada. En los últimos años, la deshidratación osmótica se utiliza como tratamiento previo a muchos procesos y mejora las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales de los alimentos procesados, sin alterar su integridad (Torreggiani, 1993; Rodrigues & Fernandes, 2006; Khoiyi & Hesari, 2007; Tarhan, 2007; Lombard *et al.*, 2008; Kaleta & Górnicki, 2010; Monnerat, 2010).

Mediante el empleo de la DO se puede llegar a eliminar hasta un 70% del contenido de agua inicial en el producto, dependiendo de las propiedades de la materia prima, características de la solución osmótica, condiciones y duración del proceso. La cantidad de agua remanente en el material no asegura la estabilidad del mismo, ya que normalmente la actividad de agua sigue siendo elevada. Cuando la estabilidad es uno de los objetivos del proceso, se deben utilizar métodos complementarios para poder eliminar una mayor cantidad de agua (Lenart & Cerkowniak, 1996; Keqing, 2004).

Por otra parte, el pretratamiento osmótico es un proceso que impide que el alimento esté en contacto con el oxígeno del aire y como tratamiento previo al secado por aire caliente ofrece algunas ventajas sobre otros pre-tratamientos convencionales de inactivación enzimática, por ejemplo, el sulfitado o el escaldado. El escaldado produce daños en las membranas celulares y en la textura de los tejidos, dando lugar a una mayor deformación y encogimiento del material a secar. Por otro lado, el sulfitado no



causa los efectos anteriores, pero tiene un impacto negativo desde el punto de vista nutricional, debido a la reconocida toxicidad de los compuestos azufrados (Lenart, 1994; Keqing, 2004).

▪ **Ventajas y desventajas del secado por métodos combinados**

Las ventajas e inconvenientes del secado por métodos combinados (DO+SAC) son las siguientes:

*Ventajas:*

- El tiempo total del secado se acorta apreciablemente en el caso de deshidratar hasta contenidos de agua intermedios ( $a_w = 0.6-0.9$ ).
- El pre-tratamiento osmótico contribuye a la retención del sabor en frutas y las hace más apetecibles que los productos que han sido secados solo con aire caliente.
- Los alimentos secos obtenidos utilizando las dos técnicas combinadas (DO+SAC) generalmente presentan mejor textura comparados con productos que han sido secados únicamente mediante el SAC.
- Además, el pre-tratamiento osmótico da lugar a un menor encogimiento durante el secado posterior, causando al mismo tiempo, un aumento de la densidad del producto.

*Desventajas:*

- La DO disminuye la velocidad de pérdida de agua en el SAC, al existir un menor gradiente inicial.
- El soluto absorbido durante la etapa de DO bloquea las capas de la superficie del producto, añadiendo una resistencia adicional al intercambio de masa.
- Si se deshidrata hasta una  $a_w = 0.4-0.6$ , el tiempo total de deshidratación es prácticamente igual al que si solamente se utiliza el secado por aire caliente, dado que la DO disminuye las velocidades de secado en el SAC.
- En la DO, la ganancia de solutos y la salida de ácidos naturales y pigmentos del tejido afectan a las propiedades organolépticas.
- La velocidad y la capacidad de rehidratación de frutas secadas por deshidratación osmótica es menor que las de los productos sin pre-tratar, debido a la rápida impregnación del azúcar en las capas de tejido superficial del producto (Lenart, 1991; Lazarides *et al.*, 1995; Lenart & Cerkwoniak, 1996).

**Nomenclatura**

<i>b.s.</i>	Base seca
<i>D</i>	Coefficiente efectivo de difusión
<i>DO</i>	Deshidratación Osmótica
<i>DOPV</i>	Deshidratación osmótica a vacío por pulso
<i>DOV</i>	Deshidratación osmótica a vacío
<i>E<sub>a</sub></i>	Energía de activación
<i>IV</i>	Impregnación a vacío
<i>R</i>	Constante universal de los gases
<i>SAC</i>	Secado por aire caliente
<i>T</i>	Temperatura
<i>t</i>	Tiempo
<i>UI</i>	Unidades Internacionales
<i>X</i>	Humedad
<i>X<sub>∞</sub></i>	Humedad en el equilibrio
<i>X<sub>c</sub></i>	Humedad crítica

---

**Bibliografía**

- Araujo, E. A. F. (2005). Estudio do proceso de desidratacao osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*). Tesis doctoral, Universidad Estadual de Campinas, Brasil.
- Barat, J. M. (1998). Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica .Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Barbosa-Cánovas, G. V. & Vega-Mercado, H. (2000). Deshidratación de Alimentos, Zaragoza, España, Ed. ACRIBIA S.A., pp. 296.
- Botanical-online (2012). <http://www.botanical-online.com/nectarina.htm>. Acceso: 26 de abril de 2012.
- CFI (2012). Consejo Federal de Inversiones, <http://www.cfired.org.ar/Default.aspx?nId=772>. Acceso: 26 de abril de 2012.
- Chiralt, A. & Fito, P. (2003). Transport mechanisms in osmotic dehydration. The role of the structure. *Food Science and Technology International*, vol. 9(3), pp. 179-186.
- Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Hawlader, M. N. A., Chou, S. K. & Ho, J. C. (2001). Batch drying of banana pieces-effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, vol. 34, pp. 721-731.
- Chun, O. K. & Kim, D. (2004). Consideration on equivalent chemicals in total phenolic assay of chlorogenic acid-rich plums. *Food Research International*, vol. 37, pp. 337-342.
- Curcio, S. (2010). A Multiphase model to analyze transport phenomena in food drying processes. *Drying Technology*, vol. 28, pp. 773-785.
- Dandamrongrak, R., Young, G. & Mason, R. (2002). Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering*, vol. 55, pp. 139-146.
- Doymaz, I. (2004). Effect of dipping treatment on air drying of plums. *Journal of Food Engineering*, vol. 64, pp. 465-470.
- Durán, S. (1993). Melocotoneros, nectarinas y paviás. Portainjertos y variedades, Ed. AEDOS, S.A. Fundación La Caixa, Barcelona, pp. 152.

- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Gaspareto, O. C. P. & Oliveira, E. L. (2006). Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 77, pp. 188-193.
- Fideghelli, C. (1987). El melocotonero, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 243.
- Fito, P. & Chiralt, A. (1995). An update on vacuum osmotic dehydration. En: Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications. Barbosa Canovas, G. and Welti-Chanes, J. (Eds.), Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster. pp. 351-372.
- Fito, P. & Chiralt, A. (1997). An approach to the modelling of solid food-liquid operations: application of osmotic dehydration. En: Food Engineering 2000 P. Fito, E. Ortega, G. Barbosa (Eds.), NY: Chapman and Hall, pp. 231-252.
- Fito, P., Andrés, A. M., Barat, J. M. & Albors, A. M. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Fito, P., Chiralt, A., Acosta, E. & Andrés, A. (1992). Vacuum Osmotic Dehydration of fruits. ISOPOW-V. Castellón, España.
- Franco, G. (1992). Tabela de composição química dos alimentos. Série endocrinológica, metabolismo e nutrição, São Paulo, Brasil, Atheneu, pp. 230.
- Franklin, M., Bu, S. Y., Lerner, M. R., Lancaster, E. A., Bellmer, D., Marlow, D., Lightfoot, S. A., Arjmandi, B. H., Brackett, D. J., Lucas, E. A. & Smith, B. J. (2006). Dried plum prevents bone loss in a male osteoporosis model via IGF-I and the RANK pathway. *Bone*, vol. 39, pp. 1331-1342.
- Frutas (2012). <http://www.Frutas.consumer.es/documentos/frescas/ciruela/intro.php>.
- Gallaher, C. M. & Gallaher, D. D. (2008). Dried Plums (*prunes*) reduce atherosclerosis lesion area in apolipoprotein E-deficient mice. *British Journal of Nutrition*, vol. 101, pp. 233-239.
- Geankoplis, C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias, Cap. 9: Secado de materiales de proceso, 3ra ed., Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México.
- Giangiacomo, R., Torreggiani, D. & Abbo, E. (1987). Osmotic dehydration on fruits. Part I. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. *Journal of Food Process Engineering*, vol. 11, pp. 183-195.
- Gil, M. I., Tomas-Barberan, F. A., Hess-Pierce, B. & Kader, A. A. (2002). Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine,

- peach and plum cultivars from California. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50(17), pp. 4976-4982.
- Guerra, M. & Casquero, P. A. (2008). Effect of harvest date on cold storage and postharvest quality of plum cv. Grenn Gage. *Postharvest Biology and Technology*, vol. 47, pp. 325-332.
- Hawkes, J. & Flink, J. M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal Food Processing and Preservation*, pp. 265-284.
- Islam, M. N. & Flink, J. N. (1982). Dehydration of potato. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *Journal of Food Technology*, vol. 17(3), pp. 387-403.
- Kaleta, A. & Górnicki, K. (2010). Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 45, pp. 891-898.
- Keqing, D. Xue (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla). Tesis doctoral, Universidad politécnica de Valencia, España.
- Khoyi, M. R. & Hesari J. (2007). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 1355-1360.
- Lavelli, V., Pompei, C. & Casadei, M. A. (2009). Quality of nectarine and peach nectars as affected by lye-peeling and storage. *Food Chemistry*, vol. 115, pp. 1291-1298.
- Lazarides, H. N (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruit and vegetables. En: Osmotic dehydration and vacuum impregnation. Fito, Chiralt, Barat, Spiess and Beshnilian (Eds.), Food Preservation Technology Series. Chapter 4, pp. 33-42.
- Lazarides, H. N., Niclaidis, A. & Katsanidis, E. (1995). Sorption behaviour changes induced by osmotic preconcentration of apple slices in different osmotic media. *Journal of Food Science*, vol. 60(2), pp. 348-350.
- Lenart, A. & Cerkowniak, M. (1996). Kinetics of convection drying of osmodehydrated apples. *Polish Journal of food Nutrition and Science*, vol. 5/46(2), pp. 73-82.
- Lenart, A. (1991). Sorption properties of apples and carrot preserved by osmoconvection method. *Food Technology and Nutrition*, vol.19, pp. 27-35.
- Lenart, A. (1994). Osmotic dehydration of fruits before drying. En: Minimal Processing and Process Optimisation of Foods: An Interface. R. P. Singh and F. Oliveris (Eds.), CRC Press. Boca Raton, FL, pp. 87-105.

- Lombard, G. E., Oliveira, J. C., Fito, P. & Andrés, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 85, pp. 277-284.
- Lurie, S. & Crisosto, C. H. (2005). Review: Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, vol. 37, pp. 195-208.
- Maldonado, S., Santapaola, J. E., Singh, J., Torrez, M. & Garay, A. (2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 28(1), pp. 251-256.
- Menges, H. O. & Ertekin, C. (2006). Mathematical modelling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, vol. 77(1), pp. 119-125.
- Monnerat, S. M., Pizzi, R. M., Mauro, T. M. A. & Menegalli, F. C. (2010). Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: Concentration profiles and effective diffusion coefficients. *Journal of Food Engineering*, vol. 100, pp. 604-612.
- Moreira, R. & Sereno, A. M. (2003). Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *Journal of Food Engineering*, vol. 57, pp. 25-31.
- Mujumdar, A. S., Tulasidas, T. N. & Raghavan, G. V. S. (1995). Microwave drying of grapes in a single mode cavity at 2450 Mhz. II. Quality and energy aspects. *Drying Technology*, vol. 13(8/9), pp. 1973-1992.
- Pavkov, I., Babić, Lj., Babić, M., Radojčin, M., Stojanović, Č. (2011). Effects of osmotic pre-treatment on convective drying kinetics of nectarines halves (*Pyrus persica* L.). *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, vol. 15(4), pp. 217-222.
- Piirainen, L., Peuhkuri, K., Bäckström, K., Korpela, R. & Salminen, S. (2007). Prune juice has a mild laxative effect in adults with certain gastrointestinal symptoms. *Nutrition Research*, vol. 27, pp. 511-513.
- Ponting, J. D. (1973). Osmotic dehydration. Recent modifications and applications. *Process Biochemistry*, vol. 8(12), pp. 18-20.
- Ponting, J. D., Walters, G. G., Forrey, R. R., Jackson, R. and Stanley, W. L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, vol. 20(10), pp. 125-128.
- Ramallo, L. A. & Mascheroni, R. H. (2005). Rate of water loss and sugar uptake during the osmotic dehydration of pineapple. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 48(5), pp. 761-770.

- Raoult-Wack, A. L., Guilbert, S., Le Maguer, M. & Ríos, G. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media – Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). *Drying Technology*, vol. 9(3), pp. 589-612.
- Raoult-Wack, A. L., Lafont, F. G. & Guilbert, S. (1989). Osmotic dehydration. Study of mass transfer in terms of engineering properties. En: *Drying 89*, A. L. Mujumdar & M. Roques (Eds). Hemisphere Publishing, New York.
- Rodrigues, S. & Fernandes, F. A. N. (2006). Osmotic dehydration of melon in a ternary system followed by air drying. 15th International Drying Symposium (IDS 2006), Budapest, Hungary, 20-23 August 2006.
- SAGPyA (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación, <http://www.alimentosargentinos.gov.ar>. Acceso: 26 de abril de 2012.
- Salcik, K. & Elicin, A. K. (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, vol. 73, pp. 281-289.
- Sanjuán, N., Lozano, M., García-Pascual, P. & Mulet, A. (2003). Dehydration kinetics of red pepper (*Capsicum annuum L. var Jaranda*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 83, pp. 697-701.
- Simal, S., Deyá, E., Frau, M. & Roselló C. (1997). Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apples cubes. *Journal of Food Engineering*, vol. 33, pp. 139-150.
- Tarhan, S. (2007). Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 255-260.
- Togrul, I. T. (2010). Modelling of heat and moisture transport during drying black grapes. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 45, pp. 1146-1152.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, vol. 26, pp. 59-68.
- Treybal, R. E. (1995). Operaciones de transferencia de masa, Cap. 12 Secado, Universidad de Rhode Island, México, 2da ed., Mc. Graw Hill.
- Üretir, G., Özilgen, M. & Katnas, S. (1996). Effects of velocity and temperature of air on the drying rate constants of apple cubes. *Journal of Food Engineering*, vol. 30, pp. 339-350.

- Van Arsdel, W. B. & Copley, M. J. (1963). Food Dehydration, vol. 1, Principles. Westport, CT, AVI Publishing.
- Van Arsdel, W. B., Copley, M. J. & Morgan, A. I. (1973). Food Dehydration, 2nd Edition, vol. 1, Principles, AVI, Westport.
- Vega, A., Fito, P., Andrés, A. & Lemus, R. (2007). Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (*var. Lamuyo*). *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 1460-1466.



# *CAPÍTULO 1:*

## *Deshidratación osmótica*



*“Queda prohibido no sonreír a los problemas, no luchar por lo que quieres, abandonarlo todo por miedo, no convertir en realidad tus sueños”.*

*Pablo Neruda*

## **Resumen**

El propósito del presente capítulo fue estudiar la cinética de deshidratación osmótica de nectarinas Caldesi (*Prunus persica* var. *nectarina*) y ciruelas D'ente (*Prunus doméstica* L.) evaluando el efecto de la concentración de la solución osmótica, el tipo de soluto, la temperatura, la relación fruta/solución y el tiempo de procesamiento sobre la humedad, la pérdida de agua, el contenido de sólidos solubles y la ganancia de sólidos. El análisis del proceso se realizó en forma experimental y en forma numérica a través del modelado matemático de la transferencia de materia. Fueron utilizadas para la deshidratación soluciones hipertónicas de jarabe de glucosa y de sorbitol (40 y 60% p/p) durante 2 h a temperaturas de 25 y 40 °C y con relaciones de fruta a agente osmótico de 1/4 y 1/10. Los coeficientes de difusión efectivos se obtuvieron a partir de la solución analítica de la segunda ley de Fick aplicada a la geometría de placa plana y por la solución de los balances de transferencia de masa microscópica mediante el Método de Elementos Finitos para las nectarinas, teniendo en cuenta la geometría real de las piezas.

## **Introducción**

En los últimos años se han realizado estudios en el área de la deshidratación osmótica de frutos de carozo, tales como las ciruelas (Tarhan *et al.*, 2007; Koocheki & Azarpazhooh, 2010), cerezas (De Michelis *et al.*, 2008; Konopacka, 2009), duraznos (Germer *et al.*, 2011), damascos (Khoyi & Hesari, 2007; Ispir & Togrul, 2009; Manafi *et al.*, 2010) y nectarinas (Araujo *et al.*, 2004; Pavkov *et al.*, 2011) debido a las propiedades nutricionales de estos frutos y que interesa obtener una vida útil prolongada con la mejor calidad posible.

Como ya se dijo, el intercambio de flujos entre el producto y la solución hipertónica dependerá de la naturaleza y del tamaño del producto a deshidratar, de la concentración y del tipo de agente osmótico (peso molecular y fuerza iónica), de la relación fruta/jarabe, de la temperatura, de la agitación y del tiempo de proceso (Ramallo & Mascheroni, 2005; Maldonado *et al.*, 2008; Shi *et al.*, 2009). El uso de diferentes solutos ha sido ampliamente estudiado por diferentes investigadores, siendo la sacarosa el más utilizado (Hawkes & Flink, 1978; Islam & Flink, 1982; Azuara *et al.*, 2009; Shi *et al.*, 2009; Quintero-Chávez *et al.*, 2012). Otros como el jarabe de glucosa y el sorbitol, son endulzantes de origen natural que aportan no sólo características de conservación (por la disminución de la actividad acuosa), sino que además, el jarabe de glucosa, se destaca por su poder anticristalizante, higroscopicidad, cuerpo, textura y poder humectante, mientras que el sorbitol tiene propiedades humectantes y protectoras del color (Torreggiani *et al.*, 1995; Quintero-Chávez *et al.*, 2012).

En muchos trabajos se han desarrollado modelos para predecir la cinética de transferencia de masa de la DO a presión atmosférica. Sin embargo, es muy difícil desarrollar un modelo matemático capaz de incluir todos los factores que intervienen en el proceso (Ispir & Togrul, 2009). Algunos autores como Salvatori *et al.* (1999) han utilizado la ley de Fick para explicar el fenómeno de difusión, mientras que otros autores como Spiazzi & Mascheroni (1997) han propuesto modelos basados en el conocimiento de la fisiología celular de los tejidos.

Los procesos de deshidratación osmótica son comúnmente diseñados con el objetivo de maximizar la remoción de agua mientras se restringe la ganancia de sólidos, para obtener un producto con poca modificación en el sabor con respecto al producto fresco. Existe un único índice que claramente indica la dirección del proceso de

deshidratación osmótica, llamado índice de eficiencia de la deshidratación (Lazarides, 2001), el cual es definido como la relación entre la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. Este índice ha sido ampliamente utilizado para evaluar la eficiencia del proceso de deshidratación osmótica, debido a la facilidad de su interpretación. Altos valores del índice de eficiencia indican que el proceso favorece la deshidratación minimizando la ganancia de sólidos, mientras que valores bajos indican que el proceso promueve una mayor ganancia de sólidos con mínimas pérdidas de agua (Jokić *et al.*, 2008).

La DO de nectarinas ha sido muy poco estudiada y caracterizada (Araujo *et al.*, 2004). Por otro lado, la determinación de los parámetros de transferencia de agua en términos de difusividad y coeficientes de transferencia de agua para productos sometidos a la deshidratación es esencial para un análisis eficiente del proceso y la optimización del uso de energía.

La solución analítica de la segunda ley de Fick en estado no estacionario, puede ser aplicada para el cálculo de la difusividad efectiva de humedad ( $D_w$ ), este es el procedimiento más conocido para representar el mecanismo difusional (Perumal, 2007; Farid, 2010). La mayoría de estudios publicados toman algunas geometrías finitas de alimentos como placa plana infinita, ignorando la difusión en las otras direcciones. Tal suposición es aceptable cuando el espesor es muy pequeño en comparación con los lados, indicando difusión insignificante en la periferia. Por otra parte, cuando el espesor es de magnitud equivalente a la longitud y la anchura (paralelepípedo, cubo, cilindro finito) o la geometría es irregular, este supuesto ya no es válido, debido a la cantidad significativa de difusión a través de las partes periféricas (Ferrari *et al.*, 2011).

Como alternativa, se deben evaluar los coeficientes considerando la geometría real del objeto, empleando técnicas numéricas de solución de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el proceso.

## **Objetivos**

De acuerdo a lo expresado los objetivos del presente capítulo son:

- Estudiar la cinética de deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas evaluando el efecto de las condiciones operativas (concentración de la solución osmótica, la temperatura, la relación fruta/solución, el tipo de soluto, y el tiempo de

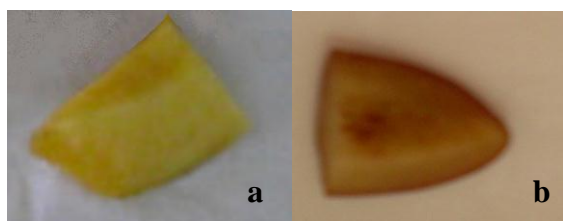
procesamiento) sobre las variables características del proceso (humedad, pérdida de agua, contenido de sólidos solubles y ganancia de sólidos).

- Determinar los coeficientes efectivos de transferencia de agua y solutos, calculados empleando la solución analítica de la ley de Fick, durante la osmodeshidratación de nectarinas y ciruelas, y a través de herramientas computacionales que permiten considerar la geometría real de las porciones de nectarinas.

### **Materiales y métodos**

#### **▪ Preparación y caracterización de las muestras**

Para el desarrollo del diseño experimental se trabajó con nectarinas frescas de la variedad Caldesi (*Prunus persica* var. *nectarina*) y ciruelas frescas de la variedad D'ente (*Prunus doméstica* L.), adquiridas en el mercado local (Olavarría). Las frutas se guardaron refrigeradas a 5 °C; previo al ensayo, las muestras seleccionadas por tamaño y calidad se lavaron y secaron con papel absorbente, luego se descrozaron y finalmente se cortaron manualmente en porciones de  $\frac{1}{16}$  (peso promedio 3.2 g) para las nectarinas (**Figura 8a**) y en porciones de  $\frac{1}{8}$  (peso promedio 2.4 g) para las ciruelas (**Figura 8b**). Las nectarinas se procesaron sin piel.



**Fig. 8.** Porción de fruta analizada. **a)** Nectarina. **b)** Ciruela.

El contenido de humedad inicial fue de 82.14% b.h. (base húmeda) en las nectarinas y de 79.94% b.h. en las ciruelas; se determinaron usando el método estándar (AOAC, 1980) por secado en estufa a  $70 \pm 2$  °C hasta peso constante. El contenido inicial de sólidos solubles fue de 14.50% p/p para las nectarinas y de 18.75% p/p para las ciruelas, determinado con refractómetro Abbe (precisión  $\pm 0.01$ ) (AOAC, 1980).

#### **▪ Deshidratación osmótica**

La deshidratación osmótica se llevó a cabo durante 2 h - período de alta velocidad de remoción de agua (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 2000) - por inmersión de las

muestras en soluciones de jarabe de glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) y sorbitol ( $C_6H_{14}O_6$ ) preparadas al 40 y 60% p/p en agua destilada, a partir de solución de glucosa al 82% p/p y sorbitol al 67% p/p, empleando un erlenmeyer de 2 L de capacidad, utilizando relaciones jarabe a fruta de 4/1 y 10/1. Las muestras fueron retenidas dentro de la solución mediante el empleo de una malla de acero inoxidable para impedir su flotación. Se ensayaron dos temperaturas de 25 y 40 °C, y para las nectarinas se incorporó agitación constante del sistema a 331 rpm. Todos los experimentos fueron realizados por duplicado.

A intervalos regulares se evaluó el peso las muestras (balanza analítica, METTLER AE240, precisión  $\pm 0.0001$  g), la humedad (g de agua 100 g de muestra<sup>-1</sup>) y contenido de sólidos solubles (g de sólidos solubles 100 g de muestra<sup>-1</sup>).

#### ▪ Cinética de pérdida de agua y de ganancia de sólidos

Para determinar la pérdida de agua ( $WL_t$ ), la ganancia de sólidos ( $SG_t$ ) y la reducción de peso ( $WR_t$ ) en función del tiempo  $t$  se utilizaron respectivamente las siguientes ecuaciones:

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

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

$$WR_t(\%) = \left( \frac{W_o - W_t}{W_o} \right) 100 \quad (4)$$

donde  $TS_o$  son los sólidos totales iniciales de la muestra;  $TS_t$  son los sólidos totales presentes en la muestra a tiempo  $t$ ;  $W_o$  es la masa inicial de muestra;  $W_t$  es la masa de muestra a tiempo  $t$ .

#### ▪ Determinación del índice de eficiencia del proceso

Para evaluar la eficiencia del proceso osmótico se calculó el índice de eficiencia como la razón entre  $WL$  y  $SG$  (Lazarides, 2001).

#### ▪ Determinación de los coeficientes de difusión de agua y de sólidos

- *Modelos fenomenológicos:*

Para describir la transferencia de materia durante el proceso de DO, fueron planteados los siguientes balances microscópicos para la humedad y para los sólidos con distinto grado de detalle y precisión:

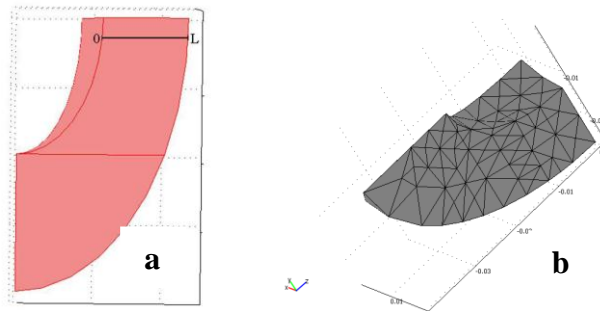
$$\frac{\partial C_w}{\partial t} = \nabla(D_w \nabla C_w) \quad (5)$$

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} = \nabla(D_s \nabla C_s) \quad (6)$$

donde  $C$  es la concentración en el sólido ( $\text{kg m}^{-3}$  total);  $t$  es el tiempo y  $D$  es el coeficiente de difusión aparente con los subíndices  $w$  para el agua y  $s$  para los sólidos solubles, respectivamente.

*a) Suposición de geometría regular:*

Estas expresiones se pueden resolver analíticamente considerando propiedades constantes, condiciones iniciales uniformes y condiciones de contorno de concentración prescrita tanto para la humedad como para los sólidos solubles. De esta forma pueden ser resueltas analíticamente para medios semiinfinitos regulares, como placas planas, cilindros infinitos y esferas (Crank, 1975). La solución analítica de la ecuación fue obtenida considerando cada pieza como una placa plana (**Figura 9a**).



**Fig. 9.** Lámina infinita equivalente utilizada para determinar los coeficientes de difusión **(a)** y Modelo 3D empleado para simular el proceso DO **(b)**.

Para la solución analítica se asumen las siguientes hipótesis: *i)* la transferencia de masa es unidireccional; *ii)* la concentración de la solución constante en el tiempo; *iii)* sólo se considera el mecanismo difusional de eliminación de agua; *iv)* no se considera la interacción entre flujos; *v)* se desprecia el encogimiento y la resistencia externa a la

transferencia de masa; *vi*) se considera una placa plana equivalente de espesor  $L=12.5$  mm.

En la deshidratación osmótica – a tiempos cortos - el encogimiento de las piezas de fruta es despreciable, dado que el fruto pierde agua pero también gana sólidos (Lozano *et al.*, 1983; Pani *et al.*, 2008; Riva *et al.*, 2008).

La solución de Crank para la concentración promedio en láminas planas semi-infinitas se presenta a continuación:

$$\frac{(C_{wt} - C_{w\infty})}{(C_{wo} - C_{w\infty})} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \cdot \pi^2} \cdot \exp\left(- (2n+1)^2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D_w}{4 \cdot l^2} t\right) \quad (7)$$

Para tiempos largos el modelo se puede simplificar usando únicamente el primer término de la ecuación anterior, y puede ser transformado en la siguiente expresión matemática (**Ec. 8**).

$$\frac{(C_{wt} - C_{w\infty})}{(C_{wo} - C_{w\infty})} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left(- \frac{\pi^2 \cdot D_w}{4 \cdot l^2} t\right) \quad (8)$$

Finalmente a partir de la **Ec. (8)** se deduce la siguiente expresión:

$$\left( \ln \frac{(C_{wt} - C_{w\infty})}{(C_{wo} - C_{w\infty})} \right) = \left( \ln \frac{8}{\pi^2} \right) + \left( - \frac{\pi^2 \cdot D_w}{4 \cdot l^2} \right) \cdot t \quad (9)$$

donde  $C_{wt}$  es concentración de agua a tiempo  $t$ ;  $C_{wo}$  es la concentración de agua inicial;  $l$  es el semiespesor, y  $C_{w\infty}$  es el valor de equilibrio que se puede determinar a partir del modelo empírico de Azuara *et al.* (1992).

La **Ecuación (6)** fue resuelta con el mismo procedimiento utilizado en la **Ec. (5)**, donde la variable  $C_w$  es reemplazada por  $C_s$  en las **Ecs. (7), (8) y (9)**.

Conociendo los valores experimentales medios de humedad y sólidos en el producto y empleando la **Ec. (9)** se pueden calcular aproximadamente los coeficientes de difusión de agua y de sólidos en el producto.

El error medio relativo (EMR) (**Ec. (10)**) fue utilizado para estimar la calidad del ajuste del modelo.

$$EMR_j = \sum_i \left| \frac{C_j^{\text{exp}} - C_j^{\text{cal}}}{C_j^{\text{exp}}} \right| \quad (10)$$



donde  $C$  es la concentración, el subíndice  $j$  indica agua o sólidos, el superíndice  $exp$  hace referencia a experimental, mientras que  $cal$  a “calculados” y el contador  $i$  indica que la suma se hace para tiempos discretos en los cuales se dispone de datos experimentales.

*b) Suposición de geometría real:*

Para un cálculo más exacto de los perfiles de humedad y sólidos, se debe considerar la geometría real del producto. Con este fin, las ecuaciones (5) y (6) se resolvieron numéricamente con la técnica de Elementos Finitos empleando un software comercial (COMSOL-Multiphysics 3.5a), asumiendo como válidas las suposiciones *ii-v* realizadas en la sección anterior.

La determinación de la geometría real para calcular la transferencia de materia se realizó a modo de ejemplo con las porciones de nectarina. En la **Figura 9b** se muestra un esquema de la porción de nectarina, la cual fue sometida al modelado de DO.

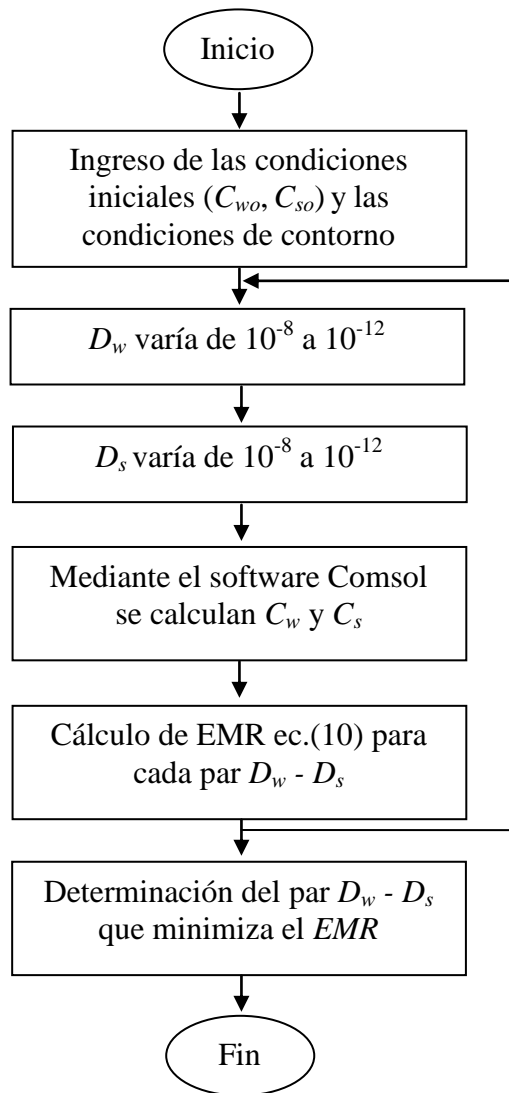
La resolución de las ecuaciones diferenciales (**Ec. 5 y 6**) permite obtener los perfiles de humedad y sólidos en el producto, a partir de los cuales se pueden calcular los coeficientes de difusión efectivos de agua y de sólidos. Para su determinación se programó en MATLAB 7.10.0 un software que barre distintas combinaciones de  $D_w$  y  $D_s$  en un rango conocido ( $10^{-08}$  -  $10^{-12}$   $m^2 s^{-1}$ ), los valores del intervalo fueron seleccionados de acuerdo a valores previos presentados en literatura (Panagiotou *et al.*, 2004).

Luego, con la asistencia del software COMSOL-Multiphysics, que se encuentra acoplado al MATLAB 7.10.0, fueron obtenidas las soluciones numéricas para dichas combinaciones. Las mismas se compararon con las corridas experimentales a través del error relativo medio (**Ec. 10**). Se construyó la siguiente función error para cada par  $D_w$ - $D_s$ :

$$EMR = EMR_w + EMR_s \quad (11)$$

El par que minimizaba la función error (**Ec.11**) se consideró como válido para las condiciones operativas seleccionadas.

El diagrama de bloques (DDB) de la **Figura 10** es un esquema del cálculo de los coeficientes  $D_w$  y  $D_s$ , empleando la solución numérica.



**Fig. 10.** DDB para el cálculo de  $D_w$  y  $D_s$  para cada condición operativa.

▪ **Análisis estadístico**

Se realizó el estudio estadístico de los resultados empleando el análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel de significación (NS) del 5% ó  $p \leq 0.05$ . Para determinar diferencias significativas entre las medias apareadas se usó la Prueba  $T$  ( $p \leq 0.05$ ). El análisis estadístico fue realizado utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

## **Resultados y discusión**

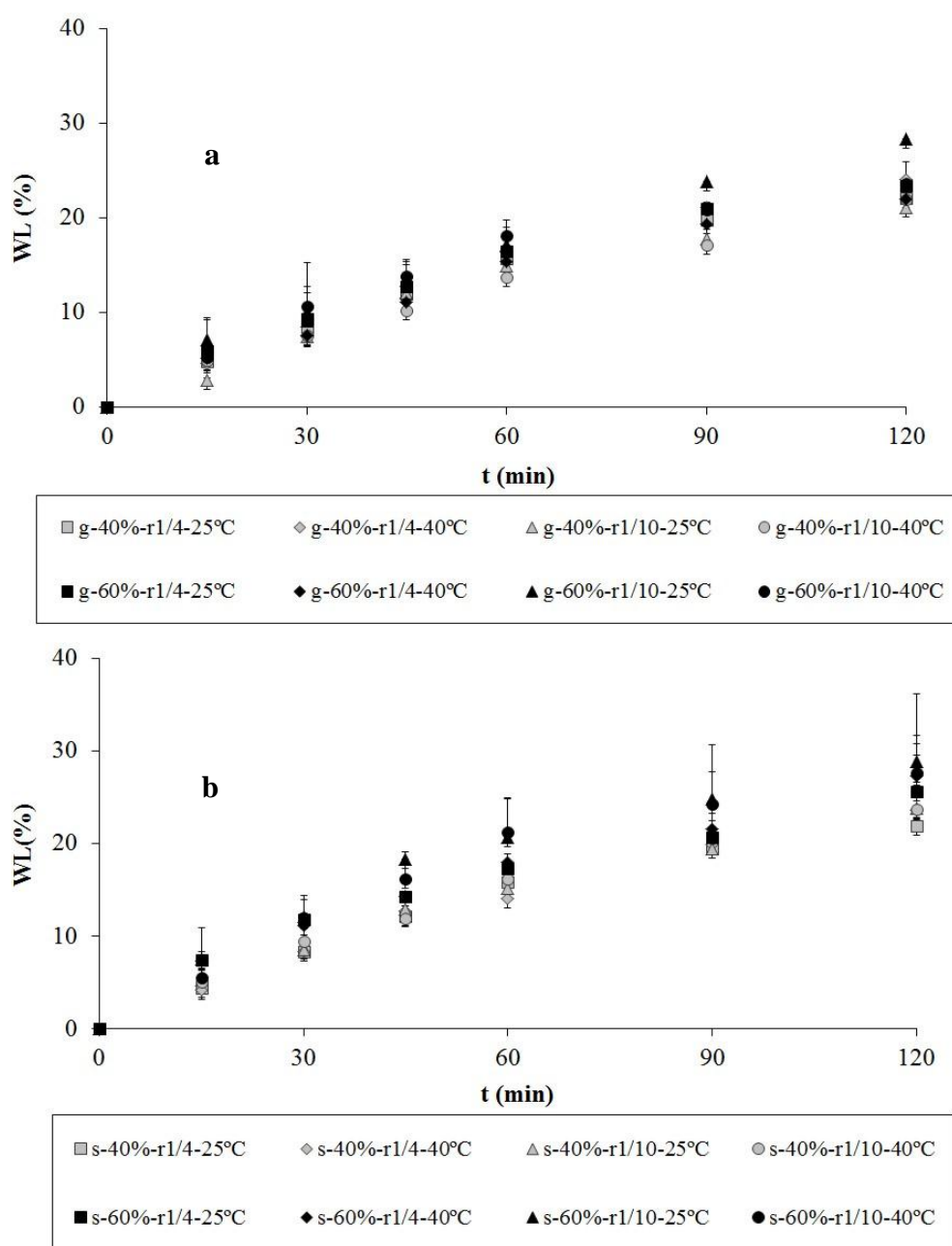
### ▪ **Cinética de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica**

En la **Tabla 3** se muestran los resultados estadísticos del análisis de la varianza realizado para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la pérdida de agua en nectarinas y ciruelas. En la misma Tabla se visualizan las variables independientes, los grados de libertad de las variables (gl), los valores de Fisher críticos (F) y los valores de *p*.

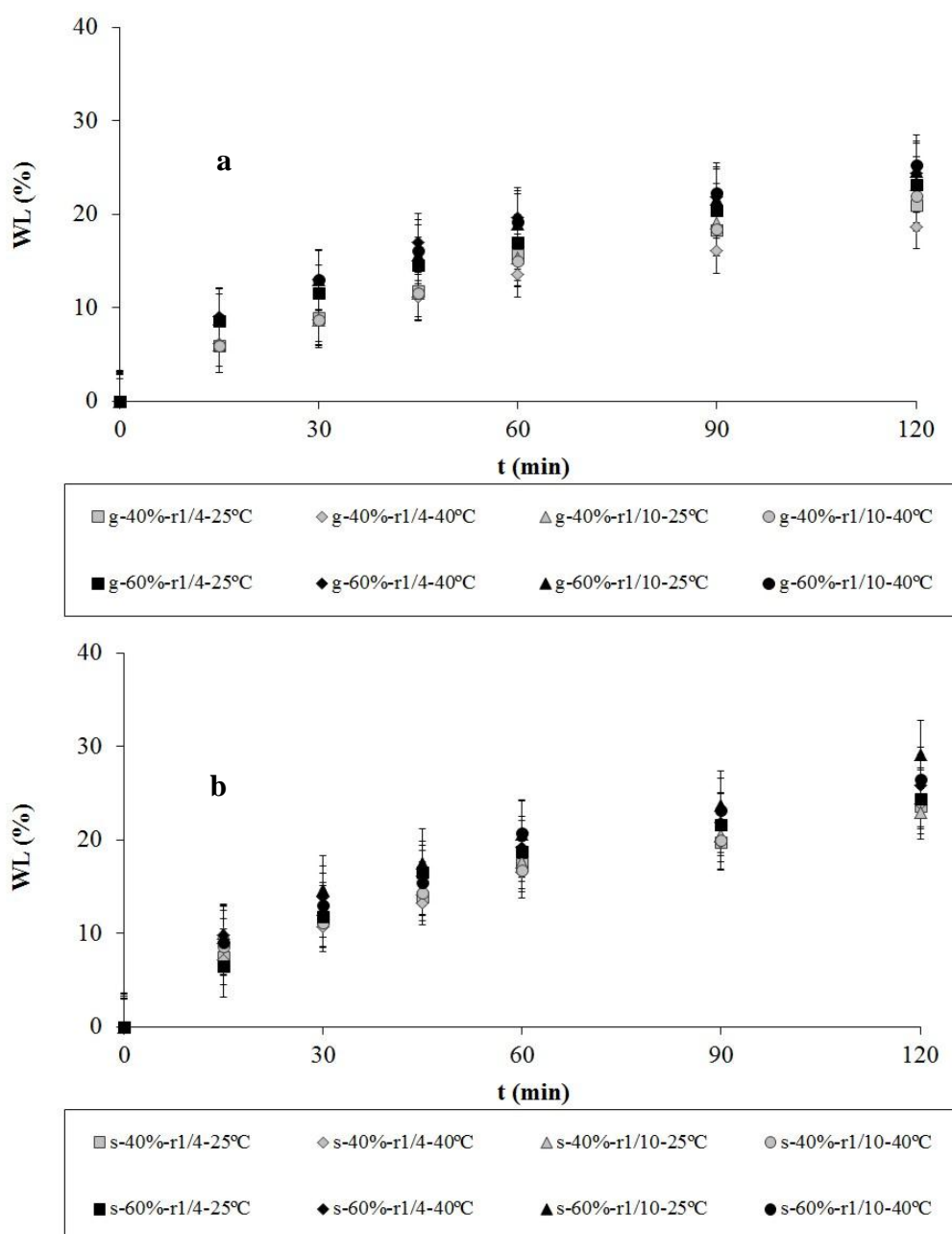
**Tabla 3.** Análisis de varianza de las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas para WL.

Variables	WL					
	Nectarinas			Ciruelas		
	gl	F	P	gl	F	p
Tiempo	6	1144.94	<0.0001	6	1670.67	<0.0001
Agente osmótico	1	45.89	<0.0001	1	89.12	<0.0001
Concentración	1	126.64	<0.0001	1	268.79	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico	1	11.15	0.0013	1	26.01	<0.0001
Temperatura de DO	1	1.68	0.1995	1	0.29	0.5937
Tiempo*agente osmótico	1	2.03	0.0725	1	3.28	0.0067
Tiempo*concentración	1	4.09	0.0014	1	9.62	<0.0001
Tiempo*relación fruta/agente osmótico	1	0.98	0.4465	1	1.83	0.1046
Tiempo*temperatura de DO	1	0.26	0.9522	1	0.13	0.9929
Agente osmótico*concentración	1	12.33	0.0008	1	17.27	0.0001
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	5.08	0.0274	1	1.00	0.3203
Agente osmótico*temperatura de DO	1	1.34	0.2513	1	1.00	0.3208
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	24.24	<0.0001	1	0.37	0.5455
Concentración*temperatura de DO	1	4.38	0.0400	1	10.25	0.0020
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.65	0.4229	1	4.55	0.0363

El seguimiento de la humedad y la pérdida de agua de las nectarinas y ciruelas deshidratadas durante 120 minutos en soluciones de jarabe de glucosa y sorbitol, se representa en las **Figuras 11-12**, respectivamente, variando las condiciones operativas de concentración de los agentes osmóticos glucosa (g-40%; g-60%) y sorbitol (s-40%; s-60%), de relación fruta a jarabe (r1/4; r1/10) y de temperatura del proceso (25 °C y 40 °C). Los valores de los desvíos estándar entre los duplicados están representados como barras verticales en las mismas figuras.



**Fig. 11.** Pérdida de agua de las nectarinas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa **(a)** o en solución de sorbitol **(b)**.



**Fig. 12.** Pérdida de agua de las ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa **(a)** o en solución de sorbitol **(b)**.

Se puede observar un aumento en los valores de pérdida de agua (**Figuras 11 y 12**) con el transcurso del proceso osmótico, ejerciendo el tiempo un efecto significativo ( $p < 0.0001$ ) tanto para las nectarinas como para las ciruelas deshidratadas en jarabe de glucosa como en sorbitol. Tanto para las nectarinas como para las ciruelas, se observa una interacción entre el tiempo de proceso y la concentración ( $p = 0.0014$ ;  $p < 0.0001$ , respectivamente), además hubo una interacción entre el tiempo de la DO de ciruelas con el tipo de agente osmótico ( $p = 0.0067$ ).

Se observó que el uso de diferentes agentes osmóticos determina diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) en los resultados de *WL*, mostrando un mayor grado de deshidratación las nectarinas y ciruelas tratadas en solución de sorbitol (**Figura 11b- Figura 12b**). Las interacciones entre la variable tipo del agente osmótico con la concentración afectaron la pérdida de agua en nectarinas y ciruelas ( $p = 0.0008$ ;  $p = 0.0001$ ), mientras que la interacción entre el agente osmótico y la relación fruta/agente osmótico solo influyó en la *WL* de nectarinas ( $p = 0.0274$ ).

El aumento en la concentración de la solución hipertónica de 40 a 60% p/p provocó una mayor pérdida de agua, siendo este efecto significativo ( $p < 0.0001$ ), y además es más notable cuando se utilizó sorbitol como agente deshidratante (**Figura 11b- Figura 12b**). Estos resultados son equivalentes a los obtenidos por Araujo *et al.* (2004) e Ispir & Togrul (2009) en la DO de damascos en soluciones de jarabe de glucosa, sorbitol, fructosa, sacarosa y maltodextrina y por Ferrari *et al.* (2009) en la deshidratación de peras en soluciones de sacarosa y sorbitol. También *WL* se vio afectada por las interacciones entre la concentración con la relación fruta/agente osmótico ( $p < 0.0001$ ) durante la osmodeshidratación de nectarinas y por las interacciones entre la concentración con la temperatura del tratamiento osmótico ( $p = 0.0400$ ;  $p = 0.0020$ ) durante la DO de nectarinas y ciruelas, respectivamente (**Tabla 3**).

Adicionalmente, el aumento en la proporción de solución respecto de la muestra a 10 a 1 permitió obtener nectarinas y ciruelas con menor humedad para la mayoría de las condiciones estudiadas ( $p = 0.0013$ ;  $p < 0.0001$ ). En la DO de ciruelas se produjo un efecto significativo entre la relación fruta/agente osmótico y la temperatura osmótica ( $p < 0.0363$ ). Khoyi & Hesari (2007) durante la deshidratación de damascos afirmaron que el aumento de la relación entre el jarabe y la fruta incrementa la pérdida de agua, pero relaciones superiores a 10/1 elevan los costos del proceso, tornándose poco conveniente. Esta misma deducción fue reportada por Ispir & Togrul (2009) para la DO de damascos.

Por otro lado, el aumento de la temperatura de 25 a 40 °C no tuvo un efecto significativo sobre la variable *WL* tanto en la deshidratación osmótica de nectarinas ( $p = 0.1995$ ) como de ciruelas ( $p = 0.5937$ ) (**Tabla 3**). Estos resultados son equivalentes a los obtenidos por Fernandes *et al.* (2006) en la DO de bananas.

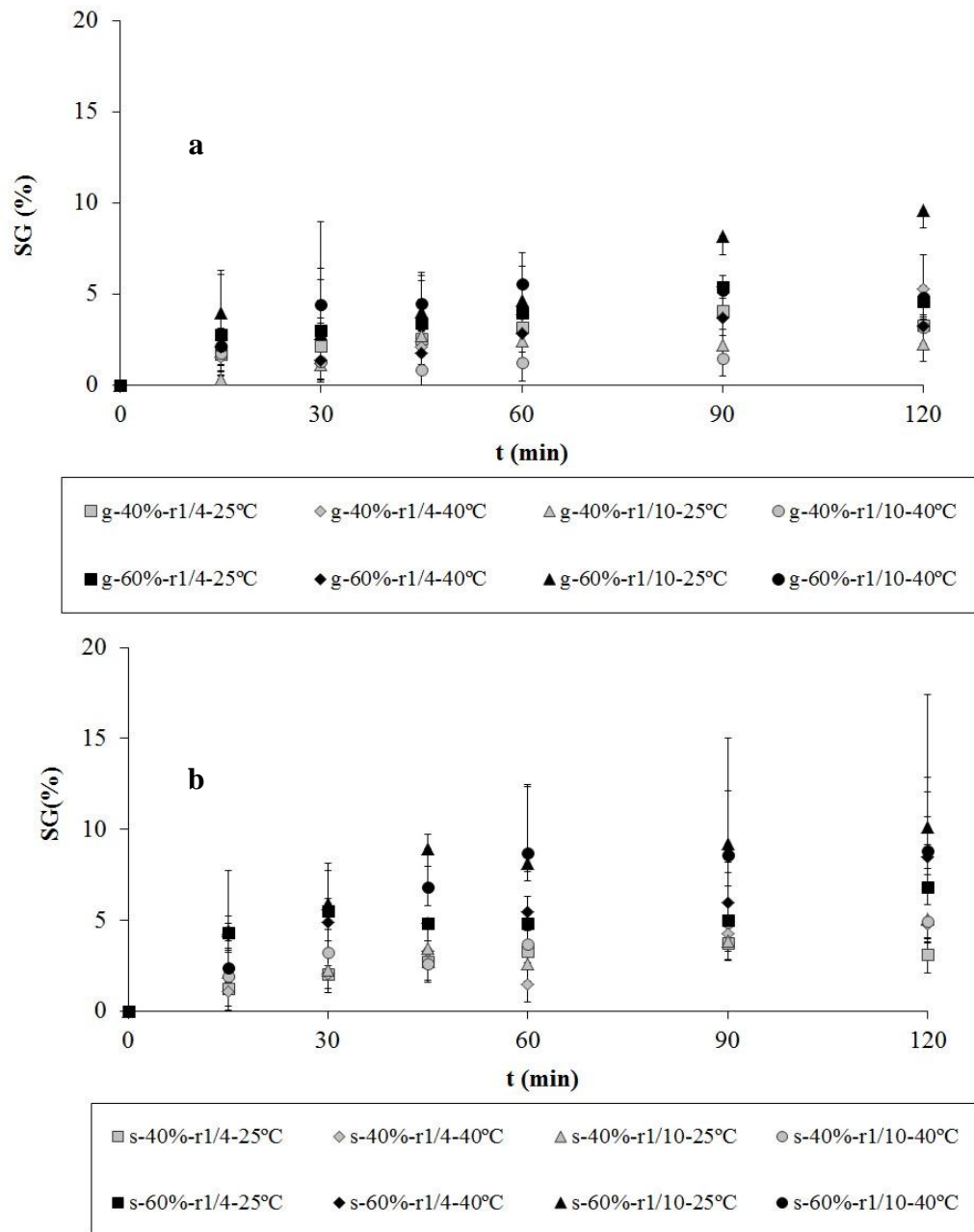
▪ **Cinética de ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica**

En la **Tabla 4** se presentan los resultados del análisis de la varianza de los datos obtenidos durante la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas para la ganancia de sólidos.

**Tabla 4.** Análisis de varianza de las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas para *SG*.

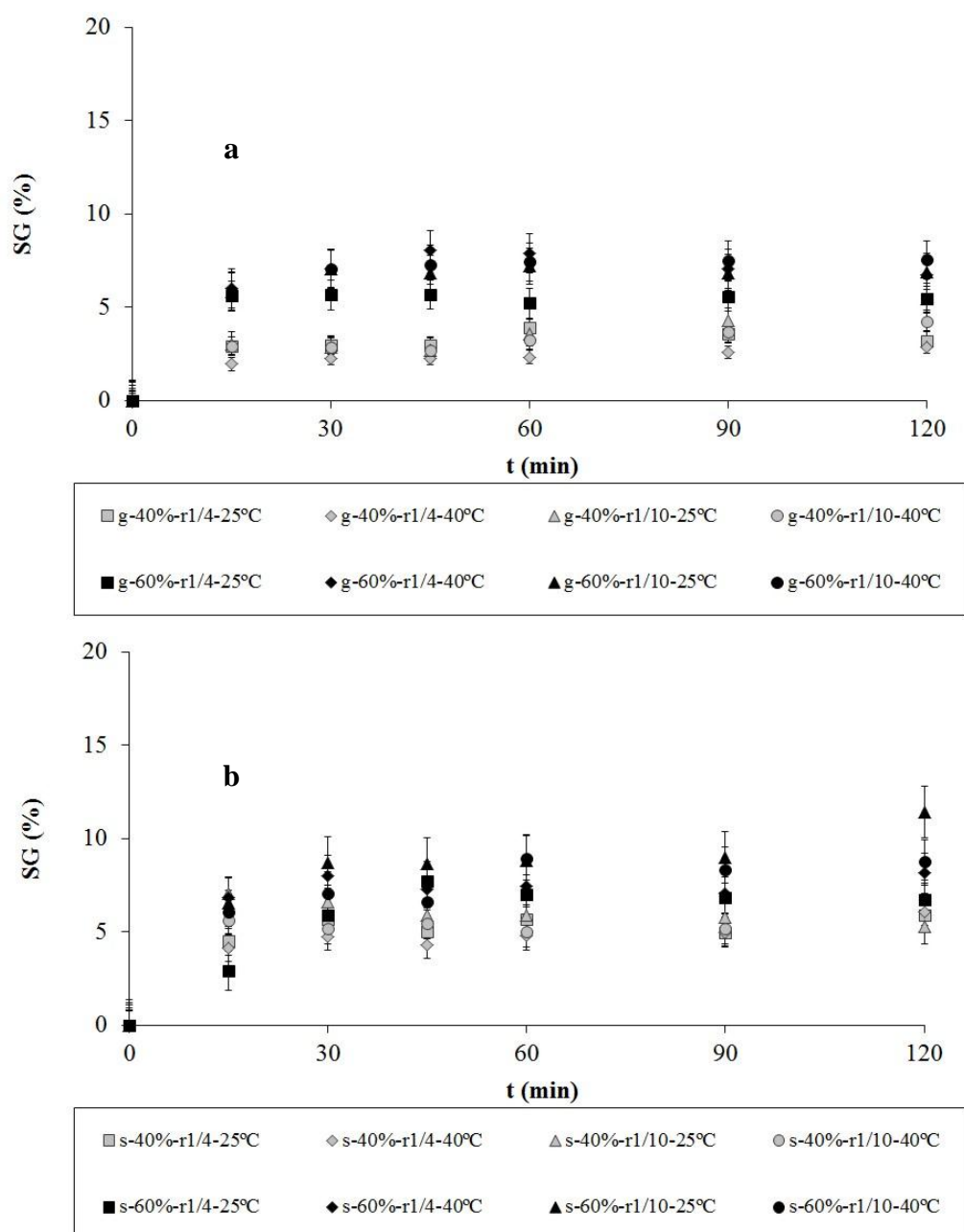
Variables	<i>SG</i>					
	<i>Nectarinas</i>			<i>Ciruelas</i>		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Tiempo	6	54.77	<0.0001	6	131.79	<0.0001
Agente osmótico	1	45.83	<0.0001	1	89.76	<0.0001
Concentración	1	127.35	<0.0001	1	278.64	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico	1	11.73	0.0010	1	26.22	<0.0001
Temperatura de DO	1	1.86	0.1768	1	0.05	0.8181
Tiempo*agente osmótico	1	2.12	0.0612	1	3.04	0.0106
Tiempo*concentración	1	4.19	0.0012	1	9.72	<0.0001
Tiempo*relación fruta/agente osmótico	1	0.92	0.4826	1	1.48	0.1980
Tiempo*temperatura de DO	1	0.29	0.9410	1	0.08	0.9976
Agente osmótico*concentración	1	12.95	0.0006	1	17.14	0.0001
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	4.89	0.0302	1	1.86	0.1770
Agente osmótico*temperatura de DO	1	1.50	0.2247	1	1.47	0.2300
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	24.05	<0.0001	1	0.91	0.3426
Concentración*temperatura de DO	1	4.20	0.0441	1	9.93	0.0024
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.76	0.3865	1	6.45	0.0133

En las siguientes figuras se muestra la evolución de la ganancia de sólidos solubles (**Figura 13** y **14**) de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas durante 120 minutos en soluciones de jarabe glucosa y sorbitol.



**Fig. 13.** Ganancia de sólidos solubles de las nectarinas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa **(a)** o en solución de sorbitol **(b)**.





**Fig. 14.** Ganancia de sólidos solubles de las ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa **(a)** o en solución de sorbitol **(b)**.

Para todas las condiciones experimentales, se observó un progresivo aumento en el contenido de sólidos solubles y en la ganancia de sólidos ( $p < 0.0001$ ) en función del tiempo de proceso, coincidiendo con los resultados alcanzados por Araujo *et al.* (2004) e Ispir y Togrul (2009) en condiciones de DO similares. Durante la deshidratación de ciruelas el tiempo de proceso interaccionó significativamente con el tipo del agente osmótico ( $p = 0.0106$ ). También *SG* fue afectada por las interacciones de la

concentración con el tiempo de proceso tanto en la DO de nectarinas ( $p=0.0012$ ) como en la DO de ciruelas ( $p<0.0001$ ).

Ambos frutos presentaron diferencias significativas ( $p<0.0001$ ) entre los valores de *SG* según el tipo de agente osmótico empleado, alcanzándose valores superiores cuando fueron sumergidos en solución de sorbitol (**Figura 13b - Figura 14b**). La interacción entre la variable tipo del agente osmótico con la concentración afectaron la ganancia de sólidos durante la DO de nectarinas y ciruelas, respectivamente ( $p=0.0006$ ;  $p=0.0001$ ), como así también la interacción entre el agente osmótico y la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0302$ ) en la osmodeshidratación de nectarinas.

El empleo de soluciones hipertónicas más concentradas permitió obtener productos finales con mayor contenido de sólidos solubles como consecuencia de una mayor ganancia de sólidos, siendo estos efectos estadísticamente significativos ( $p<0.0001$ ). También *SG* fue afectada por las interacciones de la concentración con la relación fruta/agente osmótico durante la DO de nectarinas ( $p<0.0001$ ) y con la temperatura del tratamiento osmótico durante la DO de nectarinas y ciruelas, respectivamente ( $p=0.0441$ ;  $p=0.0024$ ) (**Tabla 4**).

Además, el aumento en la proporción de solución respecto de la muestra favoreció la ganancia de sólidos de las nectarinas ( $p=0.0010$ ) y ciruelas ( $p<0.0001$ ), siendo este efecto más notable al utilizar sorbitol como agente deshidratante (**Figura 13b - Figura 14b**). Además durante el tratamiento osmótico de las ciruelas se produjo una interacción significativa entre la relación fruta/agente osmótico y la temperatura del proceso ( $p<0.0133$ ).

Finalmente, *SG* fue independiente de la temperatura del baño térmico tanto en la osmodeshidratación de nectarinas ( $p=0.1768$ ) como de las ciruelas ( $p=0.8181$ ). Estos datos son coincidentes a los obtenidos por Ponting *et al.* (1966); Hawkes & Flink (1978); Islam & Flink (1982); Fito *et al.* (1992) y Ozen *et al.* (2002), donde los autores destacan que un aumento moderado en la temperatura de la solución, puede tener un efecto favorable sobre la pérdida de agua pero no modifica la ganancia de sólidos.

Por último, se analizó la influencia relativa de las variables independientes sobre la humedad y el contenido de sólidos solubles. Valores mínimos, máximos y desviaciones estándar para la humedad y el contenido de sólidos soluble fueron tabulados a tiempo final (120 min) en relación al tipo de agente, la relación fruta a jarabe y la concentración del agente osmótico (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Efecto de las variables significativas implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas sobre el contenido de agua y el contenido de sólidos solubles a 2 h.

Condiciones operativas	<i>Nectarinas</i>				<i>Ciruelas</i>			
	Humedad		Sólidos solubles		Humedad		Sólidos solubles	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Glucosa	66.21	75.23	21.50	30.05	66.49	74.49	20.00	28.00
Sorbitol	65.55	74.18	22.50	31.00	61.74	69.24	25.25	32.75
Relación 1/4	67.56	74.18	22.00	28.50	65.74	74.49	20.00	28.75
Relación 1/10	65.55	75.23	21.50	31.00	61.74	70.49	24.00	32.75
40% p/p	71.57	75.23	21.50	25.25	67.49	74.49	20.00	27.00
60% p/p	65.55	74.04	22.00	31.00	61.74	68.99	25.50	32.75

Cabe resaltar que las nectarinas frescas tenían un contenido de agua inicial de 82.14% y un contenido inicial de sólidos solubles de 14.15% y que luego de los dieciséis tratamientos osmóticos distintos se obtuvieron productos con un contenido de agua que varió entre 65.55 y 75.23% y un contenido de sólidos solubles comprendido entre 21.50 y 31.00%, dependiendo de las condiciones operativas.

Mientras que las ciruelas frescas tenían un contenido de agua inicial de 79.94% y un contenido inicial de sólidos solubles de 18.75% y que luego de los dieciséis tratamientos osmóticos distintos se obtuvieron productos con un contenido de agua que varió entre 61.74 y 74.49% y un contenido de sólidos solubles comprendido entre 20.00 y 32.75%, dependiendo también de las condiciones operativas implicadas en casa ensayo.

Con respecto a los valores finales de contenido de sólidos solubles, tanto para las muestras deshidratadas en jarabe de glucosa como en sorbitol, el aumento del contenido de sólidos solubles fue relevante debido al bajo peso molecular de ambos agentes (180.16 y 182.17 g/mol, respectivamente), lo cual facilitó el ingreso de la molécula hacia la fruta (Torregiani, 1993; Araujo *et al.*, 2004; Ruiz López *et al.*, 2008).

Además del peso molecular hay otras variables que influyen sobre el comportamiento de los agentes osmóticos, como la viscosidad, el poder depresor de la *aw* y el comportamiento iónico que harán que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento sean distintas (Raoult-Wack *et al.*, 1991; Cháfer *et al.*,

2001; Emam-Djomeh, 2001; Moreira Azoubel & Murr, 2004; Antonio *et al.*, 2006 y Borin *et al.*, 2008).

Mediante la DO se logró disminuir la humedad y mejorar las características sensoriales de los frutos bajo condiciones suaves de deshidratación, pero esta metodología debe ir acompañada de otra técnica de conservación que le permita alcanzar la humedad de seguridad al producto en cuestión.

▪ **Índice de eficiencia del proceso**

Para evaluar la eficiencia del proceso osmótico se calculó el índice de eficiencia como la razón entre *WL* y *SG* (Lazarides, 2001). En la **Tabla 6** se presentan los resultados obtenidos para todas las condiciones operativas.

**Tabla 6.** Índice de eficiencia del proceso osmótico de nectarinas y ciruelas.

N°	Tratamientos osmóticos	Índice de Eficiencia	
		<i>Nectarinas</i>	<i>Ciruelas</i>
1	g-40%-r1/4-25 °C	6.73	6.54
2	g-40%-r1/4-40 °C	4.58	6.57
3	g-40%-r1/10-25 °C	9.26	4.25
4	g-40%-r1/10-40 °C	6.91	5.19
5	g-60%-r1/4-25 °C	5.07	4.25
6	g-60%-r1/4-40 °C	6.80	3.65
7	g-60%-r1/10-25 °C	2.95	3.57
8	g-60%-r1/10-40 °C	4.89	3.36
9	s-40%-r1/4-25 °C	7.00	4.02
10	s-40%-r1/4-40 °C	4.91	3.92
11	s-40%-r1/10-25 °C	4.73	4.37
12	s-40%-r1/10-40 °C	4.77	3.65
13	s-60%-r1/4-25 °C	3.74	3.65
14	s-60%-r1/4-40 °C	3.21	3.18
15	s-60%-r1/10-25 °C	2.85	2.55
16	s-60%-r1/10-40 °C	3.13	3.02

Para la totalidad de las condiciones analizadas, la transferencia de agua fue mayor que la de sólido obteniéndose un índice de eficiencia superior a la unidad, esto indica que la salida de agua desde el fruto hacia la solución hipertónica fue mayor que el flujo de ingreso de sólido desde la solución hacia el fruto, por lo tanto se obtendrán nectarinas y ciruelas deshidratadas con leves modificaciones en el sabor debido a la entrada de soluto proveniente del jarabe osmótico.

Durante la deshidratación osmótica de nectarinas, el valor máximo de eficiencia se obtuvo para el ensayo 3 (9.26), cuando las muestras fueron osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1/10 y a 25 °C, mientras que el valor mínimo fue obtenido para el tratamiento 15 (2.85), cuando las muestras fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60%, relación 1/10 y 25 °C.

Mientras que para la deshidratación osmótica de ciruelas, el valor máximo de eficiencia se obtuvo para el ensayo 2 (6.57), cuando las muestras fueron osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1/4 y a 40 °C, mientras que el valor mínimo fue obtenido para el tratamiento 15 (2.55), a igual que para la DO de nectarinas, cuando las muestras fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60%, relación 1/10 y 25 °C.

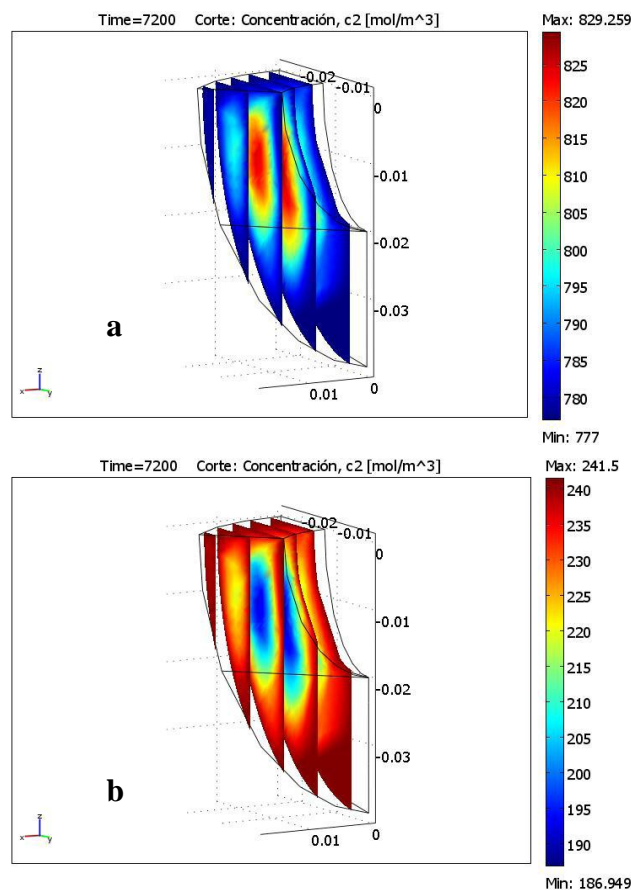
El efecto de la concentración y la temperatura de proceso en el índice de eficiencia puede ser atribuido al colapso de la estructura celular cuando se trabaja a altas concentraciones de solución osmótica y/o temperatura causando una parcial expulsión de la solución osmótica con liberación de gas, resultando en la contracción de los poros y, consecuentemente, la reducción del volumen libre para la impregnación de sólidos solubles (Barat *et al.*, 2001).

Para las nectarinas, el índice de eficiencia de las muestras osmodeshidratadas en solución de glucosa al 40% p/p fue más alto a 25 °C, mientras que para una concentración del 60% p/p fue más alto a 40 °C, independientemente de la relación fruta/solución. Para las muestras osmodeshidratadas en sorbitol, el índice de eficiencia fue más alto a 25 °C cuando la tasa de fruta/solución fue de 1 a 4, mientras que cuando la relación fue de 1 a 10, el proceso fue más eficiente a 40 °C, independientemente de la concentración del agente osmótico. Mientras que para las ciruelas, el proceso fue más eficiente cuando las muestras fueron osmodeshidratadas en solución de glucosa al 40% p/p y con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, independientemente de la temperatura del baño osmótico.

Al comparar los índices de eficiencia en función del agente osmótico, se observa en general que el proceso fue más eficiente en glucosa, debido a que los frutos de carozo osmodeshidratados en solución de sorbitol experimentaron mayor pérdida de agua pero también mayor ganancia de sólidos con el consecuente descenso en el índice de eficiencia. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Ferrari *et al.* (2009) en la deshidratación de peras en soluciones de sacarosa y sorbitol.

▪ **Coefficiente de difusión de agua y de sólidos**

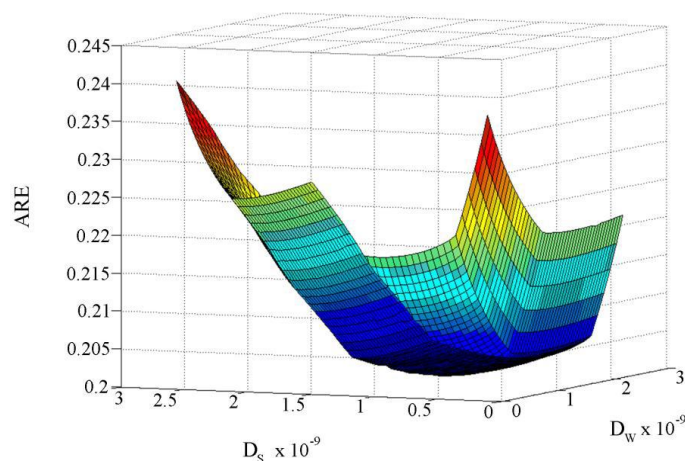
Los coeficientes efectivos de difusión se obtuvieron a partir de la solución analítica de la ley de Fick para placa plana durante la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas, y a partir de la solución numérica empleando la geometría real de las muestras para la deshidratación osmótica de nectarinas. Los perfiles típicos para las concentraciones de agua y de sólidos solubles son presentados en la **Figura 15**.



**Fig. 15.** Perfiles finales de humedad (a) y sólidos solubles (b) simulados durante deshidratación osmótica de porciones de nectarinas, utilizando COMSOL-Multiphysics.

En este último de los casos se obtuvieron los perfiles de concentración de humedad y sólidos solubles en el interior del producto, la solución analítica también permite conocer la distribución de ambas especies pero considerando la muestra como una placa plana, la cual se aleja de la condición real.

Aplicando la técnica descrita (para geometría real, **Ec. 10**) pueden obtenerse los parámetros  $D_w$  y  $D_s$  que minimizan el error de la función (**Figura 16**).



**Fig. 16.** Matriz de la función error en función de  $D_w$  y  $D_s$  para una condición de procesamiento (glucosa 40%, r1/4 y 40 °C).

En las **Tablas 7 y 8** se presentan los coeficientes efectivos de difusión de agua ( $D_w$ ) y de sólidos ( $D_s$ ), calculados empleando la solución analítica (**Ec. 9**) y los obtenidos empleando la solución numérica acompañados de sus errores medios relativos (*EMR*), para la deshidratación osmótica de nectarinas.

En la **Tabla 7** se observa que los coeficientes efectivos de difusión de agua calculados a partir de la solución analítica variaron en un rango comprendido entre  $1.27 \times 10^{-10}$  y  $1.37 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  con valores de *EMR* inferiores a 0.03, lo cual indica una buena calidad de ajuste entre los valores predichos y los experimentales, mientras que los obtenidos con la solución numérica variaron en un rango mucho más estrecho, de  $0.70 \times 10^{-09}$  a  $4.80 \times 10^{-09} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  con valores de *EMR* inferiores a 0.14.

**Tabla 7.** Coeficientes efectivos de difusión de agua durante la deshidratación osmótica de nectarinas.

Nº	Tratamientos osmóticos	$D_w$ ( $m^2 s^{-1}$ )		$D_w$ ( $m^2 s^{-1}$ )	
		Solución analítica	EMR	Solución numérica	EMR
1	g-40%-r1/4-25 °C	$8.29 \times 10^{-09}$	0.01	$1.80 \times 10^{-09}$	0.07
2	g-40%-r1/4-40 °C	$8.45 \times 10^{-09}$	0.03	$1.30 \times 10^{-09}$	0.12
3	g-40%-r1/10-25 °C	$6.56 \times 10^{-09}$	0.01	$2.11 \times 10^{-09}$	0.13
4	g-40%-r1/10-40 °C	$2.34 \times 10^{-09}$	0.003	$1.00 \times 10^{-09}$	0.06
5	g-60%-r1/4-25 °C	$1.37 \times 10^{-08}$	0.03	$2.20 \times 10^{-09}$	0.13
6	g-60%-r1/4-40 °C	$9.44 \times 10^{-09}$	0.02	$1.70 \times 10^{-09}$	0.08
7	g-60%-r1/10-25 °C	$4.79 \times 10^{-09}$	0.03	$0.70 \times 10^{-09}$	0.13
8	g-60%-r1/10-40 °C	$1.70 \times 10^{-10}$	0.02	$4.80 \times 10^{-09}$	0.11
9	s-40%-r1/4-25 °C	$1.22 \times 10^{-08}$	0.02	$4.80 \times 10^{-09}$	0.11
10	s-40%-r1/4-40 °C	$5.85 \times 10^{-09}$	0.02	$1.30 \times 10^{-09}$	0.10
11	s-40%-r1/10-25 °C	$3.91 \times 10^{-09}$	0.009	$1.10 \times 10^{-09}$	0.07
12	s-40%-r1/10-40 °C	$6.62 \times 10^{-09}$	0.02	$1.80 \times 10^{-09}$	0.14
13	s-60%-r1/4-25 °C	$2.67 \times 10^{-09}$	0.01	$1.30 \times 10^{-09}$	0.06
14	s-60%-r1/4-40 °C	$2.93 \times 10^{-09}$	0.003	$0.70 \times 10^{-09}$	0.07
15	s-60%-r1/10-25 °C	$5.73 \times 10^{-09}$	0.01	$1.90 \times 10^{-09}$	0.09
16	s-60%-r1/10-40 °C	$1.27 \times 10^{-10}$	0.02	$1.70 \times 10^{-09}$	0.12

Los coeficientes de difusión de sólidos (**Tabla 8**) calculados a partir de la solución analítica variaron desde  $1.14 \times 10^{-10}$  a  $1.08 \times 10^{-08} m^2 s^{-1}$  con *EMR* inferiores a 0.15, mientras que los calculados a partir de la solución numérica  $0.26 \times 10^{-09}$  y  $1.70 \times 10^{-09} m^2 s^{-1}$  con *EMR* inferiores a 0.14.



**Tabla 8.** Coeficientes efectivos de difusión de sólidos durante la deshidratación osmótica de nectarinas.

N°	Tratamientos osmóticos	$D_s$ ( $m^2 s^{-1}$ )		$D_s$ ( $m^2 s^{-1}$ )	
		Solución analítica	EMR	Solución numérica	EMR
1	g-40%-r1/4-25 °C	$7.40 \times 10^{-09}$	0.06	$1.10 \times 10^{-09}$	0.07
2	g-40%-r1/4-40 °C	$9.00 \times 10^{-09}$	0.15	$0.80 \times 10^{-09}$	0.12
3	g-40%-r1/10-25 °C	$5.98 \times 10^{-09}$	0.07	$0.26 \times 10^{-09}$	0.13
4	g-40%-r1/10-40 °C	$1.90 \times 10^{-09}$	0.01	$0.30 \times 10^{-09}$	0.06
5	g-60%-r1/4-25 °C	$6.12 \times 10^{-09}$	0.03	$1.30 \times 10^{-09}$	0.13
6	g-60%-r1/4-40 °C	$1.08 \times 10^{-08}$	0.11	$0.70 \times 10^{-09}$	0.08
7	g-60%-r1/10-25 °C	$4.69 \times 10^{-09}$	0.11	$0.30 \times 10^{-09}$	0.13
8	g-60%-r1/10-40 °C	$1.50 \times 10^{-10}$	0.05	$1.70 \times 10^{-09}$	0.11
9	s-40%-r1/4-25 °C	$7.67 \times 10^{-09}$	0.07	$1.13 \times 10^{-09}$	0.11
10	s-40%-r1/4-40 °C	$5.55 \times 10^{-09}$	0.10	$0.60 \times 10^{-09}$	0.10
11	s-40%-r1/10-25 °C	$4.25 \times 10^{-09}$	0.05	$0.60 \times 10^{-09}$	0.07
12	s-40%-r1/10-40 °C	$7.86 \times 10^{-09}$	0.07	$1.30 \times 10^{-09}$	0.14
13	s-60%-r1/4-25 °C	$2.35 \times 10^{-09}$	0.06	$0.60 \times 10^{-09}$	0.06
14	s-60%-r1/4-40 °C	$3.33 \times 10^{-09}$	0.02	$0.90 \times 10^{-09}$	0.12
15	s-60%-r1/10-25 °C	$6.03 \times 10^{-09}$	0.05	$1.40 \times 10^{-09}$	0.09
16	s-60%-r1/10-40 °C	$1.14 \times 10^{-10}$	0.08	$0.70 \times 10^{-09}$	0.07

Además, los valores de los coeficientes de difusión de agua y de sólidos obtenidos por la solución numérica se encuentran dentro de un rango de valores mucho más estrecho comparado con los obtenidos por la solución analítica.

Para comparar los coeficientes de difusión de agua y de sólidos calculados mediante la solución analítica y la solución numérica se utilizó la Prueba  $T$  para medias apareadas.

El test bilateral (dos colas) con 15 grados de libertad y con un 95% de confianza reporta un valor positivo de 2.13. Los valores de  $T$  experimental obtenidos mediante la comparación de a pares de los 16 coeficientes de difusión de agua y de sólidos calculados mediante placa plana y geometría real fueron de 4.12 y 5.65, respectivamente. Por lo tanto, existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los valores determinados mediante la ecuación analítica y numérica.

Se puede observar (**Tablas 7-8**) que en la mayoría de las condiciones de procesamiento los coeficientes calculados por el método analítico son mayores en relación a los obtenidos por el método numérico debido a que para una condición dada la pérdida de agua y la ganancia de sólidos se atribuyen a una sola dirección sobreestimando la velocidad de difusión para los mismos valores de  $WL$  y  $SG$  considerando la geometría real e irregular que implica una distribución espacial distinta y una menor velocidad de difusión. Los resultados obtenidos a partir de la solución numérica se encuentran en concordancia con los obtenidos por otros autores.

A partir de los valores obtenidos del coeficiente de difusión con la solución analítica y la técnica numérica inversa es posible concluir que a pesar de que la solución analítica proporciona un mejor ajuste de los datos experimentales, la solución numérica proporciona valores de los coeficientes más reales y que coinciden con los publicados en trabajos previos.

Para evaluar la influencia de las variables del sistema sobre los coeficientes de difusión de materia se realizó un análisis de la varianza, mediante el cual se pudo determinar que las variables operativas (tipo de agente osmótico, concentración, relación fruta a jarabe y temperatura) no ejercieron una influencia significativa ( $p < 0.05$ ) sobre los valores de  $D_w$  y  $D_s$  obtenidos a partir de las dos técnicas de cálculo (**Anexo 1-2**).

En las **Tablas 9 y 10** se presentan los coeficientes efectivos de difusión de agua ( $D_w$ ) y de sólidos ( $D_s$ ), calculados a partir de la solución analítica de la ley de Fick para placa plana acompañados de sus errores medios relativos ( $EMR$ ), para la deshidratación osmótica de ciruelas.

En la **Tabla 9** se observa que los coeficientes efectivos de difusión de agua calculados a partir de la solución analítica variaron en un rango comprendido entre  $4.22 \times 10^{-10}$  y  $1.90 \times 10^{-09} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  con valores de  $EMR$  inferiores a 0.13, lo cual indica una buena calidad de ajuste entre los valores predichos y los experimentales.

**Tabla 9.** Coeficientes efectivos de difusión de agua durante la deshidratación osmótica de ciruelas.

N°	Tratamientos osmóticos	$D_w$ ( $m^2 s^{-1}$ )	EMR
		Solución analítica	
1	g-40%-r1/4-25 °C	$8.44 \times 10^{-10}$	0.09
2	g-40%-r1/4-40 °C	$4.22 \times 10^{-10}$	0.13
3	g-40%-r1/10-25 °C	$1.16 \times 10^{-09}$	0.06
4	g-40%-r1/10-40 °C	$9.50 \times 10^{-10}$	0.08
5	g-60%-r1/4-25 °C	$1.06 \times 10^{-09}$	0.06
6	g-60%-r1/4-40 °C	$1.27 \times 10^{-09}$	0.03
7	g-60%-r1/10-25 °C	$1.27 \times 10^{-09}$	0.03
8	g-60%-r1/10-40 °C	$1.37 \times 10^{-09}$	0.02
9	s-40%-r1/4-25 °C	$1.06 \times 10^{-09}$	0.05
10	s-40%-r1/4-40 °C	$1.16 \times 10^{-09}$	0.05
11	s-40%-r1/10-25 °C	$9.50 \times 10^{-10}$	0.06
12	s-40%-r1/10-40 °C	$1.16 \times 10^{-09}$	0.03
13	s-60%-r1/4-25 °C	$1.37 \times 10^{-09}$	0.03
14	s-60%-r1/4-40 °C	$1.37 \times 10^{-09}$	0.01
15	s-60%-r1/10-25 °C	$1.90 \times 10^{-09}$	0.01
16	s-60%-r1/10-40 °C	$1.58 \times 10^{-09}$	0.002

Los coeficientes de difusión de sólidos (**Tabla 10**) calculados a partir de la solución analítica variaron desde  $1.90 \times 10^{-10}$  a  $4.12 \times 10^{-09} m^2 s^{-1}$  con ARE inferiores a 0.13.

Para evaluar la influencia de las variables del sistema sobre los coeficientes de difusión de materia se realizó un análisis de la varianza, mediante el cual se pudo determinar qué las variables operativas tipo de agente osmótico, concentración y relación fruta a jarabe ejercieron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre los valores de  $D_w$  y  $D_s$ , siendo mayor la transferencia de materia cuando las ciruelas fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60% p/p y con una relación de fruta a jarabe de 1 a 10. Mientras que la temperatura no incidió sobre los valores de los coeficientes de difusión de agua y de sólidos (**Anexo 3**).

**Tabla 10.** Coeficientes efectivos de difusión de sólidos durante la deshidratación osmótica de ciruelas.

N°	Tratamientos osmóticos	$D_s$ ( $m^2 s^{-1}$ )	EMR
		Solución analítica	
1	g-40%-r1/4-25 °C	$1.90 \times 10^{-10}$	0.01
2	g-40%-r1/4-40 °C	$4.22 \times 10^{-10}$	0.13
3	g-40%-r1/10-25 °C	$2.85 \times 10^{-09}$	0.005
4	g-40%-r1/10-40 °C	$2.32 \times 10^{-09}$	0.02
5	g-60%-r1/4-25 °C	$2.22 \times 10^{-09}$	0.005
6	g-60%-r1/4-40 °C	$2.74 \times 10^{-09}$	0.03
7	g-60%-r1/10-25 °C	$2.85 \times 10^{-09}$	0.03
8	g-60%-r1/10-40 °C	$3.06 \times 10^{-09}$	0.03
9	s-40%-r1/4-25 °C	$2.53 \times 10^{-09}$	0.02
10	s-40%-r1/4-40 °C	$2.74 \times 10^{-09}$	0.005
11	s-40%-r1/10-25 °C	$1.90 \times 10^{-09}$	0.005
12	s-40%-r1/10-40 °C	$2.64 \times 10^{-09}$	0.005
13	s-60%-r1/4-25 °C	$3.38 \times 10^{-09}$	0.01
14	s-60%-r1/4-40 °C	$2.96 \times 10^{-09}$	0.005
15	s-60%-r1/10-25 °C	$4.12 \times 10^{-09}$	0.01
16	s-60%-r1/10-40 °C	$3.59 \times 10^{-09}$	0.03

Tanto en la deshidratación osmótica de nectarinas como de ciruelas, los valores de transferencia de masa coincidieron con los publicados por otros autores.

Según Ispir & Togrul (2009) los coeficientes de difusión de agua variaron entre  $0.77 \times 10^{-10}$  y  $1.75 \times 10^{-10} m^2 s^{-1}$  en la DO de damascos, mientras que Sabarez & Price (1999) obtuvieron coeficientes de difusión de agua en el rango de  $4.30 \times 10^{-10}$  y  $7.60 \times 10^{-10} m^2 s^{-1}$  en la DO de ciruelas. Por otro lado, Khoiy & Hesari (2007) reportaron valores comprendidos entre  $1.07 \times 10^{-09}$  y  $4.06 \times 10^{-09} m^2 s^{-1}$  para la difusión de agua y de  $7.69 \times 10^{-10}$  y  $3.13 \times 10^{-09} m^2 s^{-1}$  para la difusión de sólidos en damascos, utilizando la ley de Fick para placa plana. Además, Azuara *et al.* (2009) obtuvieron coeficientes de difusión en manzanas, después de 1 h de DO, en el orden de  $1.53 \times 10^{-10}$  y  $1.05 \times 10^{-10} m^2 s^{-1}$  para el agua y sólidos, respectivamente.

## **Conclusión**

En la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas se produjo una disminución de la humedad y un incremento del contenido de sólidos solubles, con un consecuente aumento de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en función del tiempo del proceso, el tipo, la concentración del agente osmótico y la relación fruta a solución osmótica, siendo las muestras osmodeshidratadas durante 120 minutos en solución de sorbitol, con relación de fruta a solución de 1 a 10 y concentración del 60% las que obtuvieron mayor grado de deshidratación.

Para la variable temperatura, no hay evidencias que demuestren que el aumento de 25 a 40 °C influya sobre la humedad, el contenido de sólidos solubles, la pérdida de agua y la ganancia de sólidos, pero si la interacción entre la temperatura y la concentración. De todas maneras, el valor de humedad final más bajo y el contenido de sólido más alto se alcanzaron a 25 °C.

En la deshidratación osmótica de nectarinas, los coeficientes difusionales calculados por el método analítico para placa plana son mayores en relación a los calculados considerando la geometría real, sobreestimando la velocidad de difusión para los mismos valores de  $WL$  y  $SG$ . Los resultados obtenidos a partir de la solución numérica se encuentran en concordancia con los publicados en la literatura.

En la deshidratación osmótica de ciruelas, los coeficientes difusionales calculados por el método analítico para placa plana fueron superiores cuando el tratamiento osmótico se realizó en solución de sorbitol al 60% p/p y con una relación de fruta a jarabe de 1 a 10. Mientras que la temperatura no incidió sobre los valores de los coeficientes de difusión de agua y de sólidos.

El estudio de la osmodeshidratación de nectarinas y ciruelas permite aportar información relevante para la industria del secado y optimizar el proceso a partir de las variables estudiadas.

**Nomenclatura**

$C$	Concentración ( $\text{kg m}^{-3}$ )
$C_w$	Humedad (g de agua 100 g de muestra <sup>-1</sup> )
$C_{w\infty}$	Humedad en el equilibrio (g de agua 100 g de muestra <sup>-1</sup> )
$C_{wo}$	Humedad inicial (g de agua 100 g de muestra <sup>-1</sup> )
$DO$	Deshidratación osmótica
$D_s$	Coefficiente efectivo de difusión de sólido ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )
$D_w$	Coefficiente efectivo de difusión de agua ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )
$EMR$	Error medio relativo (adimensional)
$l$	Semiespesor (m)
$L$	Espesor (m)
$SG$	Ganancia de sólidos (%)
$TS$	Contenido de sólidos totales (%)
$TS_o$	Contenido de sólidos totales inicial (%)
$W$	Masa de muestra (g)
$WL$	Pérdida de agua (%)
$W_o$	Masa inicial de muestra (g)
$WR$	Reducción de peso (%)

## **Bibliografía**

- Antonio, G. C., Kurozawa, L. E., Xidieh Murr, F. E. & Park, K. J. (2006). Otimização da desidratação osmótica de batata doce (*Ipomoea batatas*) utilizando metodologia de superfície de resposta. *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 9(2), pp. 135-141.
- AOAC (1980), Official Methods of Analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemists) International, Washington D.C.
- Araujo, E. A. F., Ribeiro, S. C. A., Moreira Azoubel P. & Murr, F. E. X. (2004). Drying kinetics of nectarine (*Prunus persica*) with and without shrinkage, Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004), São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. C, pp. 2189-2194.
- Azuara, E., Cortés, R., García H. S. & Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 27, pp. 239-242.
- Azuara, E., Flores, E. & Beristain, C. I. (2009). Water diffusion and concentration profiles during osmodehydration and storage of apple tissue. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 2, pp. 361-367.
- Barat, J.M., Chiralt, A. & Fito, P. (2001). Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International*, vol. 7, pp. 451-456.
- Barbosa-Cánovas, G. V. & Vega-Mercado, H. (2000). Deshidratación de Alimentos, Zaragoza, España, Ed. ACRIBIA S.A., pp. 296.
- Borin, I., Frascareli, E. C., Mauro, M. A. & Kimura, M. (2008). Efeito do prétratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, vol. 28(1), pp. 39-50.
- Cháfer, M., González-Martínez, C., Ortolá, M. D., Chiralt, A. & Fito, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*, vol. 24, pp. 273-289.
- Crank, J. (1975). The Mathematics of diffusion, 2<sup>nd</sup> Ed., pp.47-49, Oxford University Press, Oxford, England.
- De Michelis, A., Pirone, B. N., Vullioud, M. B., Ochoa, M. R., Kessler, A. G. & Márquez C. A. (2008). Cambios de volumen, área superficial y factor de forma de

- Heywood durante la deshidratación de cerezas (*Prunus avium*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, vol. 28(2), pp. 317-321.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo C. W. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Emam-Djomeh, Z., Djelveh, G. & Gros, J. B. (2001). Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution Part I. Lowering of solute uptake in agar gel: diffusion considerations. *Food Science and Technology*, vol. 34, pp. 312-318.
- Farid, M. M. (2010). *Mathematical modelling of food processing*. CRC Press; Boca Raton, USA.
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Gaspareto, O. C. P. & Oliveira, E. L. (2006). Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. *Journal Food Engineering*, vol. 77, pp. 188-193.
- Ferrari, C. C., Arballo, J. R. & Mascheroni, R. H. (2009). Mass transfer and texture variation during osmotic dehydration of pears, 8th World Congress of Chemical Engineering, WCCE8, Montreal, Quebec, Canada, 23-27 de Agosto 2009, Proceedings of 4th Inter-American Drying Conference, pp. 610-616 (IV-17).
- Ferrari, C. C., Arballo, J. R., Mascheroni, R. H. & Hubinger, M. D. (2011). Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 46, pp. 436-443.
- Fito, P., Chiralt, A., Acosta, E. & Andrés, A. (1992). Vacuum osmotic dehydration of fruits. ISOPOW-V. Castellón, España.
- Germer, S. P. M., de Queiroz, M. R., Aguirre, J. M., Berbari, S. A. G. & Anjos, V. D. (2011). Osmotic dehydration of peaches as a function of temperature and concentration of sucrose syrup. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15(2), pp.161-169.
- Hawkes, J. & Flink, J. M. (1978). Osmotic concentration of fruit slice prior to freeze dehydration. *Journal Food Processing and Preservation*, vol. 2, pp. 265-284.
- Islam, M. N. & Flink, J. N. (1982). Dehydration of potato. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *Journal of Food Technology*, vol. 17(3), pp. 387-403.



- Ispir, A. & Togrul, I. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 87, pp. 166-180.
- Jokić, A., Zavargo, Z., Gyura, J. & Prodanić, B. (2008). Possibilities to control solid uptake during osmotic dehydration of sugar beet. En J.M. Cantor (Ed.), *Progress in food engineering research and development* (243-261). Nova Science Publishers, Inc. New York, USA.
- Khoyi, M. R. & Hesari J. (2007). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 1355-1360.
- Konopacka, D., Jesionkowska, K., Klewicki, R. & Bonazzi, C. (2009). The effect of different osmotic agents on the sensory perception of osmo-treated dried fruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology, ISAFRUIT Special Issue*, pp. 80-84.
- Koocheki, A. & Azarpazhooh, E. (2010). Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of plum using response surface methodology. *International Journal of Food Properties*, vol. 13, pp. 155-166.
- Lazarides, H. N (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruit and vegetables. En: Osmotic dehydration and vacuum impregnation. Fito, Chiralt, Barat, Spiess and Beshnilian (Eds.), *Food Preservation Technology Series*. Chapter 4, pp. 33-42.
- Lozano, J. E., Rostein, E. & Urbicain, M. J. (1983). Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. *Journal of Food Science*, vol. 48, pp. 1497-1502, 1553.
- Maldonado, S., Santapaola, J. E., Singh, J., Torrez, M. & Garay, A. (2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, vol. 28(1), pp. 251-256.
- Manafi, M., Hesari, J., Peighambaroust, H. & Khoyi, M. R. (2010). Osmotic dehydration of apricot using salt-sucrose solutions. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 44, pp. 1098-1101.
- Moreira Azoubel, P. & Murr, F. E. X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, vol. 61, pp. 291-295.

- Ozen, B. F., Dock, L. L., Ozdemir M. & Floros J. D. (2002). Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 37, pp. 497-502.
- Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., Maroulis, Z. B. & Saravacos, G. D. (2004). Moisture diffusivity: literature data compilation for foodstuffs. *International Journal of Food Properties*, vol. 7(2), pp. 273-299.
- Pani, P., Leva, A. A., Riva, M., Maestrelli, A. & Torreggiani, D. (2008). Influence of an osmotic pre-treatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices. *Journal of Food Engineering*, vol. 86, pp. 105-112.
- Pavkov, I., Babić, Lj., Babić, M., Radojčin, M., Stojanović, Č. (2011). Effects of osmotic pre-treatment on convective drying kinetics of nectarines halves (*Pyrus persica* L.). *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, vol. 15(4), pp. 217-222.
- Perumal, R. (2007). Comparative performance of solar cabinet, vacuum assisted solar and open sun drying methods. Thesis M.S. Department of Bio resource engineering, McGill University, Montreal, Canada.
- Ponting, V., Watters, G., Forrey, R. R., Jackson, R. & Stanley, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruit. *Food Technology*, vol. 20, pp. 125-128.
- Quintero-Chávez, R., Quintero-Ramos, A., Jiménez-Castro, J., Barnard, J., Márquez-Meléndez, R., Zazueta-Morales, J. & Balandrán-Quintana, R. (2012). Modeling of total soluble solid and NaCl uptake during osmotic treatment of bell peppers under different infusion pressures. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 5, pp. 184-192.
- Ramallo, L.A. & Mascheroni, R. H. (2005). Rate of water loss and sugar uptake during the osmotic dehydration of pineapple. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 48(5), pp. 761-770.
- Raoult-Wack, A. L., Guilbert, S., Le Maguer, M. & Ríos, G. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media –Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). *Drying Technology*, vol. 9(3), pp. 589-612.
- Riva, M., Campolongo, S., Leva, A. A., Maestrelli, A. & Torreggiani, D. (2008). Structure–property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*, vol. 38, pp. 533-542.

- Ruiz-López, I. I., Castillo-Zamudio, R. I., Salgado-Cervantes, M. A., Rodríguez-Jimenes, G. C. & García-Alvarado, M. A. (2008). Mass transfer modeling during osmotic dehydration of hexahedral pineapple slices in limited volume solutions. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 3, pp. 427-433.
- Sabarez, H. T & Price W. E. (1999). A diffusion model for prune dehydration. *Journal of Food Engineering*, vol. 42, pp. 167-172.
- Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt A. & Fito P. (1999). Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content. *Journal of Food Engineering*, vol. 42(3), pp. 125-132.
- Shi, J., Pan, Z., McHugh, T. H. & Hirschberg, E. (2009). Effect of infusion method and parameters on solid gain in blueberries. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 2, pp. 271-278.
- Spiazzi, E. A. & Mascheroni, R. H. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, vol. 34, pp. 387-410.
- Tarhan, S. (2007). Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 255-260.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, vol. 26, pp. 59-68.
- Torreggiani, D., Forni, E., Erba, M. L. & Longoni, F. (1995). Functional properties of pepper osmodehydrated in hydrolyzed cheese whey permeate with or without sorbitol. *Food Research International*, vol. 28(2), 161-166.

## ***CAPÍTULO 2:***

### ***Secado por aire de frutos de carozo osmodeshidratados***



*“Vivimos en el mundo cuando amamos. Sólo una vida vivida para los demás merece la pena ser vivida”.*

*Albert Einstein*

## **Resumen**

El objetivo de este capítulo fue el estudio y modelado de la cinética de secado de nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas y el análisis de la influencia de las variables del proceso sobre la pérdida de humedad, los parámetros cinéticos y de transferencia de masa. Porciones de nectarinas y ciruelas fueron tratadas osmóticamente en soluciones de jarabe de glucosa y sorbitol al 40 y 60% p/p, con una relación de fruta a jarabe de 1 a 4 y 1 a 10 y temperaturas de 25 y 40 °C. Posteriormente, las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas fueron secadas en una estufa de convección forzada a 60, 70 u 80 °C, hasta alcanzar niveles de humedad que garanticen la seguridad del producto. Para cada condición experimental se obtuvieron cinéticas de pérdida de humedad a las cuales se les ajustaron modelos teóricos que permitieron estimar parámetros cinéticos. Además se determinaron los coeficientes efectivos de difusión de agua.

## **Introducción**

Las nectarinas y las ciruelas, como la mayoría de las frutas, poseen una alta humedad, por lo tanto, el secado representa una alternativa para extender la vida comercial. Además, las nectarinas son frutos estacionarios, por lo que es importante poder conservar durante largos períodos para su comercialización fuera de temporada y así poder abastecer la demanda en épocas en los que no se producen.

El secado por aire caliente (SAC) es un método ampliamente usado en la conservación de frutas y vegetales, que aumenta la vida útil por remoción de agua en el sólido hasta un cierto nivel, en el que el deterioro microbiano y las reacciones de deterioro químico se reducen extremadamente. Además de otras ventajas como la reducción de peso y volumen que derivan en una disminución en costos de transporte y almacenaje de los alimentos (Menges & Ertekin, 2006; Sacilik & Elicin, 2006; Vega *et al.*, 2007; Togrul, 2010).

El SAC es un proceso que demanda altos consumos de energía, dependiendo de la humedad inicial del producto, la humedad que se pretende alcanzar, la temperatura de secado, la humedad relativa y la velocidad del aire. Por lo tanto, es deseable que los alimentos a deshidratarse sean pre-tratados antes de la operación del secado, para disminuir el consumo de energía y obtener un producto seco de calidad deseada (Chua *et al.*, 2001; Dandamrongrak *et al.*, 2002; Fernandes *et al.*, 2006; Togrul, 2010). Además, para mejorar el control del secado industrial es importante disponer de modelos precisos para simular las curvas de secado bajo condiciones diferentes, para describir y optimizar procesos de secado o en el diseño de secaderos eficientes (Sanjuán *et al.*, 2003; Simal *et al.*, 2005; Menges & Ertekin, 2006; Vega *et al.*, 2007; Kaleta & Górnicki, 2010).

La modelación matemática de procesos de secado en sólidos es compleja debido a los altos contenidos de humedad que presentan algunos sólidos, tales como las frutas y vegetales (Kaleta & Górnicki, 2010) y debido a la contracción y el encogimiento del tejido del sólido durante el secado. Los modelos matemáticos aplicados en la deshidratación de alimentos son ecuaciones simples, en general de tipo exponencial, con pocos parámetros (Wang *et al.*, 2007; Sander *et al.*, 2010) y pueden clasificarse como teóricos, semi-teóricos y empíricos. Los modelos teóricos usan ecuaciones simultáneas de transferencia de calor y de masa con propiedades de alimentos tales

como la geometría de las partículas, la contracción, coeficiente de difusión de la humedad, y el contenido crítico de humedad. Estos explican los cambios físicos durante el proceso, cuantificando las resistencias externas e internas. La segunda Ley de Fick ha sido usada para describir los mecanismos de transferencia de masa asumiendo que esta es controlada por fenómenos difusionales (Crank, 1975). Los modelos semi-empíricos y empíricos son derivados de ajustes estadísticos y proporcionan una representación adecuada de los resultados experimentales, tales como los de humedad y tiempos, sin embargo no explican los cambios físicos originados por los fenómenos que ocurren durante el secado. Estos modelos resultan ser prácticos, pero debe tenerse en cuenta que los semi-teóricos como los empíricos con frecuencia no permiten la simulación de experimentos llevados a cabo bajo condiciones diferentes, a las utilizadas para identificar los parámetros del modelo (Menges & Ertekin, 2006; Akbulut & Durmus, 2009; Kaleta & Górnicki, 2010; Togrul, 2010).

### **Objetivos**

El objetivo de este capítulo fue el estudio y modelado de la cinética de secado por aire caliente de nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas y el análisis de la influencia de las variables del proceso sobre la pérdida de humedad, la velocidad de secado, los coeficientes efectivos de difusión y las constantes de secado de los modelos.

### **Materiales y métodos**

#### **▪ Preparación y caracterización de las muestras**

Para el desarrollo del diseño experimental se trabajó con porciones de nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas. La humedad inicial ( $X_0$ ) de las nectarinas frescas fue de  $4.602 \pm 0.177$  g agua g sólido seco<sup>-1</sup> y de las ciruelas fue de  $4.205 \pm 1.218$  g agua g sólido seco<sup>-1</sup>; se determinaron usando el método estándar 22.013 (AOAC, 1980). El contenido inicial de sólidos solubles fue de 14.50% p/p para las nectarinas y de 18.75% p/p para las ciruelas y se establecieron mediante el método estándar 22.024 con refractómetro Abbe (precisión  $\pm 0.01$ ) (AOAC, 1980). La actividad de agua inicial fue de  $0.971 \pm 0.009$  para las nectarinas y de  $0.966 \pm 0.002$  para las ciruelas y fue registrada por duplicado a 25 °C con el Aqualab (modelo 3TE, Washington, USA).

### ▪ Secado por aire caliente

La deshidratación osmótica previa se llevó a cabo durante 2 h – período de alta velocidad de eliminación del agua (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 2000) - por inmersión de las muestras en soluciones hipertónicas de jarabe de glucosa y sorbitol preparadas al 40 y 60% p/p en agua destilada. Se mantuvieron relaciones fruta a jarabe 1 a 4 y 1 a 10, a dos temperaturas (25 y 40 °C), y en particular para las nectarinas la osmodeshidratación se realizó con agitación a 331 rpm, tal como fue detallado en el Capítulo 1.

Las muestras osmodeshidratadas se secaron en una estufa de convección forzada a nivel laboratorio a una velocidad de aire de  $0.92 \pm 0.03$  m  $\text{seg}^{-1}$ , a diferentes temperaturas (60, 70 u 80 °C  $\pm 0.5$  °C), hasta alcanzar niveles de actividad de agua que permitan garantizar la estabilidad del producto desde el punto de vista microbiológico (Cheftel & Cheftel, 1992).

Durante el proceso se realizaron cinéticas de secado por duplicado, siguiendo la evolución de la pérdida de peso y la humedad a intervalos regulares (0.25; 0.5; 0.75; 1; 1.5; 2; 3; 4 y 5 h) mediante el empleo de una balanza externa (balanza analítica, METTLER AE 240, precisión  $\pm 0.0001$  g). La humedad fue expresada en base seca.

### ▪ Modelado matemático del secado

Las cinéticas de secado obtenidas experimentalmente fueron ajustadas mediante un modelo simplificado para la determinación de los coeficientes efectivos de difusión de agua ( $D_w$ ) y por modelos teóricos de bibliografía que permiten obtener las constantes de ajuste.

- *Coefficientes efectivos de difusión:*

En el período de secado a velocidad decreciente, el coeficiente efectivo de difusión puede ser determinado usando la solución de la segunda Ley de Fick en estado inestable asumiendo que el material tenía una geometría laminar infinita (Crank, 1975).

$$\frac{(X_t - X_\infty)}{(X_0 - X_\infty)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \cdot \pi^2} \cdot \exp\left(- (2n+1)^2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D_w}{4l^2} t\right) \quad (12)$$



donde  $X_t$  es la humedad a tiempo  $t$  (g agua g sólido seco<sup>-1</sup>);  $X_0$  es la humedad inicial (g agua g sólido seco<sup>-1</sup>);  $X_\infty$  es la humedad en el equilibrio (g agua g sólido seco<sup>-1</sup>);  $l$  es el semiespesor (m).

Para la determinación del coeficiente de difusión se asumió: difusividad constante, concentración inicial de humedad uniforme, resistencia externa a la transferencia de masa despreciable y relación solido/líquido constantes. El  $D_w$  se determinó localizando los contenidos de la humedad y el tiempo crítico, a partir de las curvas de velocidad de secado, correspondiendo al inicio del periodo de velocidad decreciente. Posteriormente el periodo de velocidad decreciente se estudió haciendo un gráfico de  $\ln(X_c/X)$  contra el tiempo ( $t$ ), de la cual se obtuvo el valor de  $D_w$  de la pendiente de la línea recta (**Ec. 13**). La difusividad efectiva del agua fue determinada aplicando el procedimiento sugerido por Geankoplis (1998) y el descrito por Mazza & Le Maguer (1980), con modificaciones.

$$\ln \frac{X_c}{X} = D_w * t \left( \frac{\pi}{2l} \right)^2 - \ln \frac{8}{\pi^2} \quad (13)$$

donde  $l$  es el semiespesor del material expresado en metros

- *Ajuste de datos mediante ecuaciones matemáticas:*

Aunque los coeficientes determinados en la sección anterior permiten hacer la predicción de la variación del contenido de agua en el tiempo, ese es un proceso trabajoso si no es para los casos específicos de temperatura estudiados, por lo que la mayoría de los autores de bibliografía han optado por métodos más simples que son los que se evalúan en la **Tabla 11**.

El ajuste de los datos a los modelos teóricos se realizó mediante la función análisis de regresión no lineal que permite estimar la bondad de ajuste de los distintos modelos teóricos, usando el Systat 2007 (Wilkinson, 1990).

Para el ajuste, los valores de humedad obtenidos experimentalmente fueron expresados como razón de humedad ( $XR$ ) de acuerdo a la siguiente expresión (**Ec. 14**):

$$XR = \frac{X(t) - X_\infty}{X_0 - X_\infty} \approx \frac{X(t)}{X_0} \quad (14)$$

La ecuación de la razón de humedad se simplifica a  $X(t)/X_0$  porque  $X_\infty$  es relativamente pequeña comparada con  $X(t)$  o  $X_0$  (Doymaz, 2004; Sacilik & Elicin, 2006). Para el modelado el tiempo fue expresado en s.

**Tabla 11.** Ecuaciones matemáticas utilizadas para el ajuste de las cinéticas de secado de nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas.

Modelos	Ecuaciones	Referencias
Newton (Lewis)	$XR = \exp(-Kt)$	McMinn <i>et al.</i> , 2005
Page	$XR = \exp(-Kt^N)$	Ghazanfari <i>et al.</i> , 2006
Page modificado	$XR = \exp(-(Kt)^N)$	López <i>et al.</i> , 2009
Henderson y Pabis	$XR = A \exp(-Kt)$	McMinn <i>et al.</i> , 2005
Modelo Logarítmico	$XR = A \exp(-Kt) + C$	Yaldiz & Ertekin, 2001
Modelo de dos términos	$XR = A \exp(-Kt) + B \exp(-K_1t)$	McMinn <i>et al.</i> , 2005
Modelo exponencial de dos términos	$XR = A \exp(-Kt) + (1 - A) \exp(-KAt)$	López <i>et al.</i> , 2009
Wang y Singh	$XR = 1 + At + Bt^2$	McMinn <i>et al.</i> , 2005
Verma <i>et al.</i>	$XR = A \exp(-Kt) + (1 - A) \exp(-Gt)$	Menges & Ertekin, 2006
Midilli <i>et al.</i>	$XR = A \exp(-Kt^N) + Bt$	Midilli <i>et al.</i> , 2002

$XR$  es la razón de humedad predicha por los modelos y  $t$  es el tiempo;

$K$  es la constante de tasa de secado ( $s^{-1}$ ) y  $N$ ;  $A$ ;  $C$ ;  $B$ ;  $K_1$ ;  $G$  son las constantes experimentales de los modelos.

#### ▪ Optimización del proceso

El tiempo del proceso de secado por métodos combinados (DO+SAC) puede ser optimizado según la reglamentación de Código Alimentario Argentino que establece que: “La fruta desecada en el momento del empaque, no deberá contener más de 25% de humedad en base húmeda (b.h) (g H<sub>2</sub>O 100 g muestra<sup>-1</sup>), excepto para la ciruela tierna y tipo francés en los que se admitirá hasta 27%”.

#### ▪ Análisis estadístico

Para determinar la influencia del tratamiento osmótico y la temperatura de secado sobre la humedad, la velocidad de secado, la transferencia de materia y las

constantes de los modelos se realizó un ANOVA. El análisis fue realizado utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

La bondad de ajuste entre los datos experimentales, y los valores teóricos predichos por los modelos fue evaluada mediante el coeficiente de correlación ( $r$ ) (Ec. 15), el chi-cuadrado reducido ( $X^2$ ) (Ec. 16) y la raíz de los cuadrados medios del error (RMSE) (Ec. 17).

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (XR_{prei} - \bar{XR}_{pre})^2}{\sum_{i=1}^N (XR_{exp,i} - \bar{XR}_{exp})^2}} \quad (15)$$

$$\chi^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (XR_{exp,i} - XR_{prei})^2}{(N - n)} \right) * 100 \quad (16)$$

$$RMSE = \left( \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (XR_{exp,i} - XR_{prei})^2}{N}} \right) * 100 \quad (17)$$

donde  $N$  es el número de observaciones,  $n$  es el número de constantes del modelo,  $XR_{exp}$  son los valores de razón de humedad experimental,  $XR_{pre}$  son los valores de razón de humedad teóricos o predichos por los modelos.

## **Resultados y discusión**

### ▪ **Secado por aire caliente**

La **Tabla 12** muestra los valores de humedad ( $X$ ) a tiempo final (120 min), de las nectarinas y ciruelas deshidratadas previamente por ósmosis directa mediante diferentes condiciones experimentales. La cinética de variación de la humedad obtenida durante los 16 tratamientos osmóticos fue analizada previamente en el Capítulo 1.

Las nectarinas en estado fresco (4.602 g agua g sólido seco<sup>-1</sup>) y las ciruelas en estado fresco (4.205 g agua g sólido seco<sup>-1</sup>) una vez deshidratadas por ósmosis alcanzaron una humedad intermedia comprendida en el rango de 1.903 - 3.036 g agua g sólido seco<sup>-1</sup> para las nectarinas y entre 1.614 - 2.920 g agua g sólido seco<sup>-1</sup> para las ciruelas, dependiendo del tipo y de la concentración del agente osmótico, de la relación fruta a jarabe y de la temperatura del proceso.

**Tabla 12.** Valores de humedad de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas.

Tratamientos osmóticos	$X$ (g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )	
	<i>Nectarinas</i>	<i>Ciruelas</i>
g-40%-r1/4-25 °C	2.845 ± 0.014	2.539 ± 0.044
g-40%-r1/4-40 °C	2.517 ± 0.000	2.920 ± 0.000
g-40%-r1/10-25 °C	3.036 ± 0.295	2.920 ± 0.000
g-40%-r1/10-40 °C	2.863 ± 0.422	2.389 ± 0.000
g-60%-r1/4-25 °C	2.617 ± 0.000	2.225 ± 0.000
g-60%-r1/4-40 °C	2.852 ± 0.723	2.076 ± 0.000
g-60%-r1/10-25 °C	1.960 ± 0.000	2.052 ± 0.855
g-60%-r1/10-40 °C	2.582 ± 0.000	1.984 ± 0.000
s-40%-r1/4-25 °C	2.872 ± 0.116	2.174 ± 0.000
s-40%-r1/4-40 °C	2.587 ± 0.000	2.149 ± 0.105
s-40%-r1/10-25 °C	2.550 ± 0.012	2.251 ± 0.037
s-40%-r1/10-40 °C	2.559 ± 0.000	2.076 ± 0.201
s-60%-r1/4-25 °C	2.228 ± 0.708	2.076 ± 0.000
s-60%-r1/4-40 °C	2.083 ± 0.516	1.919 ± 0.030
s-60%-r1/10-25 °C	1.903 ± 0.779	1.614 ± 0.316
s-60%-r1/10-40 °C	2.045 ± 0.217	1.856 ± 0.290

Agente osmótico= g, glucosa; s, sorbitol

Concentración del agente osmótico= 40%; 60%

Relación fruta a agente osmótico= r1/4= relación 1 a 4; r1/10= relación 1 a 10

Temperatura osmótica= 25 °C; 40 °C

Las **Tablas 13 y 14** muestran los valores de humedad de las nectarinas y ciruelas deshidratadas por ósmosis seguido de secado por aire caliente, registrados a tiempo final.

**Tabla 13.** Valores de humedad de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.

Tratamientos osmóticos	X (g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )		
	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	0.035 ± 0.024	0.024 ± 0.008	0.005 ± 0.002
g-40%-r1/4-40 °C	0.127 ± 0.027	0.033 ± 0.017	0.013 ± 0.019
g-40%-r1/10-25 °C	0.202 ± 0.027	0.103 ± 0.035	0.004 ± 0.045
g-40%-r1/10-40 °C	0.343 ± 0.225	0.191 ± 0.109	0.026 ± 0.005
g-60%-r1/4-25 °C	0.102 ± 0.021	0.031 ± 0.009	0.006 ± 0.010
g-60%-r1/4-40 °C	0.099 ± 0.008	0.041 ± 0.072	0.005 ± 0.016
g-60%-r1/10-25 °C	0.029 ± 0.000	0.017 ± 0.005	0.002 ± 0.000
g-60%-r1/10-40 °C	0.048 ± 0.036	0.012 ± 0.029	0.006 ± 0.008
s-40%-r1/4-25 °C	0.197 ± 0.005	0.068 ± 0.001	0.062 ± 0.027
s-40%-r1/4-40 °C	0.239 ± 0.005	0.183 ± 0.001	0.153 ± 0.021
s-40%-r1/10-25 °C	0.237 ± 0.138	0.116 ± 0.044	0.063 ± 0.014
s-40%-r1/10-40 °C	0.519 ± 0.227	0.215 ± 0.003	0.133 ± 0.008
s-60%-r1/4-25 °C	0.530 ± 0.226	0.319 ± 0.102	0.296 ± 0.175
s-60%-r1/4-40 °C	0.152 ± 0.246	0.130 ± 0.026	0.098 ± 0.004
s-60%-r1/10-25 °C	0.081 ± 0.053	0.018 ± 0.037	0.004 ± 0.011
s-60%-r1/10-40 °C	0.275 ± 0.029	0.190 ± 0.092	0.131 ± 0.053

La humedad final de las porciones de nectarinas varió entre 0.002 y 0.530 g agua g sólido seco<sup>-1</sup>, mientras que la humedad final de las porciones de ciruelas varió entre 0.021 y 0.334 g agua g sólido seco<sup>-1</sup> y en ambos casos se observó una dependencia con la variable temperatura, hallándose una relación directa entre el nivel de deshidratación y el incremento de la temperatura de secado, estando los resultados condicionados por el tratamiento osmótico. Estos resultados son coincidentes a los obtenidos por Pavkov *et al.* (2011) durante el secado de nectarinas en mitades previamente osmodeshidratadas.

**Tabla 14.** Valores de humedad de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

Tratamientos osmóticos	$X$ (g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )		
	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	0.277 ± 0.089	0.124 ± 0.055	0.073 ± 0.027
g-40%-r1/4-40 °C	0.328 ± 0.124	0.278 ± 0.006	0.134 ± 0.050
g-40%-r1/10-25 °C	0.216 ± 0.029	0.103 ± 0.042	0.079 ± 0.058
g-40%-r1/10-40 °C	0.247 ± 0.061	0.164 ± 0.054	0.037 ± 0.009
g-60%-r1/4-25 °C	0.224 ± 0.008	0.179 ± 0.048	0.051 ± 0.025
g-60%-r1/4-40 °C	0.308 ± 0.082	0.220 ± 0.083	0.077 ± 0.051
g-60%-r1/10-25 °C	0.245 ± 0.030	0.069 ± 0.018	0.021 ± 0.014
g-60%-r1/10-40 °C	0.261 ± 0.093	0.250 ± 0.002	0.155 ± 0.094
s-40%-r1/4-25 °C	0.117 ± 0.015	0.067 ± 0.011	0.031 ± 0.002
s-40%-r1/4-40 °C	0.195 ± 0.069	0.098 ± 0.016	0.023 ± 0.012
s-40%-r1/10-25 °C	0.206 ± 0.048	0.140 ± 0.067	0.112 ± 0.025
s-40%-r1/10-40 °C	0.334 ± 0.049	0.180 ± 0.072	0.119 ± 0.089
s-60%-r1/4-25 °C	0.320 ± 0.009	0.163 ± 0.025	0.070 ± 0.039
s-60%-r1/4-40 °C	0.248 ± 0.092	0.233 ± 0.038	0.086 ± 0.017
s-60%-r1/10-25 °C	0.181 ± 0.017	0.114 ± 0.020	0.077 ± 0.004
s-60%-r1/10-40 °C	0.214 ± 0.081	0.122 ± 0.070	0.085 ± 0.018

Las **Tablas 15** y **16** muestran los valores de actividad de agua de las nectarinas y ciruelas deshidratadas por ósmosis seguido de secado por aire caliente, registrados a tiempo final.

**Tabla 15.** Valores de actividad de agua de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire.

Actividad de agua ( <i>aw</i> )			
Tratamientos osmóticos	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	0.723 ± 0.008	0.552 ± 0.010	0.503 ± 0.007
g-40%-r1/4-40 °C	0.697 ± 0.001	0.603 ± 0.005	0.581 ± 0.005
g-40%-r1/10-25 °C	0.738 ± 0.004	0.686 ± 0.001	0.576 ± 0.003
g-40%-r1/10-40 °C	0.678 ± 0.003	0.663 ± 0.004	0.640 ± 0.005
g-60%-r1/4-25 °C	0.750 ± 0.010	0.649 ± 0.006	0.612 ± 0.004
g-60%-r1/4-40 °C	0.742 ± 0.010	0.650 ± 0.009	0.576 ± 0.003
g-60%-r1/10-25 °C	0.702 ± 0.008	0.536 ± 0.004	0.535 ± 0.001
g-60%-r1/10-40 °C	0.681 ± 0.003	0.590 ± 0.005	0.571 ± 0.004
s-40%-r1/4-25 °C	0.620 ± 0.001	0.594 ± 0.001	0.568 ± 0.006
s-40%-r1/4-40 °C	0.643 ± 0.002	0.595 ± 0.002	0.556 ± 0.006
s-40%-r1/10-25 °C	0.593 ± 0.001	0.459 ± 0.000	0.435 ± 0.004
s-40%-r1/10-40 °C	0.689 ± 0.004	0.559 ± 0.002	0.426 ± 0.002
s-60%-r1/4-25 °C	0.612 ± 0.004	0.586 ± 0.008	0.490 ± 0.005
s-60%-r1/4-40 °C	0.639 ± 0.001	0.512 ± 0.008	0.467 ± 0.002
s-60%-r1/10-25 °C	0.584 ± 0.006	0.497 ± 0.003	0.449 ± 0.005
s-60%-r1/10-40 °C	0.632 ± 0.006	0.573 ± 0.002	0.514 ± 0.004

La actividad de agua estuvo comprendida en el rango de 0.426 - 0.750 y 0.441 - 0.845 para las nectarinas y ciruelas deshidratadas por métodos combinados, respectivamente.

Se observó que para una misma condición osmótica, la *aw* disminuyó conforme al aumento de la temperatura del SAC. El secado convectivo permitió reducir los niveles de *aw* de nectarinas de 0.971 hasta valores inferiores a 0.750 y en las ciruelas desde 0.966 hasta valores inferiores a 0.845, mediante la eliminación de agua y la incorporación, en menor medida, de sólidos solubles y obtener así, productos más estables desde el punto de vista microbiológico dado que las bacterias ya no pueden crecer en este intervalo, si existe contaminación es debida a microorganismos altamente resistentes a una baja actividad de agua como los denominados osmófilos o halófilos (Cheftel & Cheftel, 1992; Quintero-Chávez *et al.*, 2012).

**Tabla 16.** Valores de actividad de agua de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

Tratamientos osmóticos	Actividad de agua ( <i>aw</i> )		
	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	0.796 ± 0.002	0.634 ± 0.009	0.585 ± 0.007
g-40%-r1/4-40 °C	0.820 ± 0.001	0.677 ± 0.004	0.595 ± 0.001
g-40%-r1/10-25 °C	0.830 ± 0.007	0.647 ± 0.001	0.621 ± 0.004
g-40%-r1/10-40 °C	0.845 ± 0.008	0.681 ± 0.013	0.561 ± 0.003
g-60%-r1/4-25 °C	0.780 ± 0.013	0.721 ± 0.004	0.662 ± 0.001
g-60%-r1/4-40 °C	0.781 ± 0.011	0.632 ± 0.007	0.530 ± 0.004
g-60%-r1/10-25 °C	0.757 ± 0.013	0.578 ± 0.008	0.537 ± 0.001
g-60%-r1/10-40 °C	0.775 ± 0.012	0.678 ± 0.012	0.582 ± 0.001
s-40%-r1/4-25 °C	0.698 ± 0.015	0.610 ± 0.004	0.465 ± 0.001
s-40%-r1/4-40 °C	0.695 ± 0.007	0.523 ± 0.004	0.505 ± 0.005
s-40%-r1/10-25 °C	0.655 ± 0.016	0.567 ± 0.006	0.441 ± 0.007
s-40%-r1/10-40 °C	0.670 ± 0.008	0.573 ± 0.003	0.559 ± 0.007
s-60%-r1/4-25 °C	0.728 ± 0.006	0.649 ± 0.001	0.571 ± 0.005
s-60%-r1/4-40 °C	0.710 ± 0.008	0.611 ± 0.001	0.504 ± 0.009
s-60%-r1/10-25 °C	0.562 ± 0.000	0.557 ± 0.003	0.555 ± 0.004
s-60%-r1/10-40 °C	0.697 ± 0.000	0.568 ± 0.004	0.563 ± 0.001

Las **Tablas 17 y 18** muestran los resultados del análisis de la varianza para los valores de humedad y para la velocidad de secado según la influencia de las variables independientes en el secado por métodos combinado de nectarinas y ciruelas.



**Tabla 17.** ANOVA para los valores de humedad (*X*) y velocidad de secado de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.

Variables	<i>X</i>			<i>Velocidad de secado</i>		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>P</i>
Tiempo	9	2314.41	<0.0001	8	884.39	<0.0001
Agente osmótico	1	32.46	<0.0001	1	55.97	<0.0001
Concentración	1	399.11	<0.0001	1	58.99	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico	1	10.57	0.0012	1	12.33	0.0005
Temperatura de DO	1	16.90	<0.0001	1	0.35	0.5547
Temperatura de SAC	2	260.50	<0.0001	2	32.50	<0.0001
Tiempo*agente osmótico	9	28.28	<0.0001	8	5.16	<0.0001
Tiempo*concentración	9	15.87	<0.0001	8	4.21	0.0001
Tiempo*relación fruta/agente osmótico	9	1.83	0.0618	8	2.83	0.0046
Tiempo*temperatura de DO	9	0.45	0.9081	8	0.31	0.9628
Tiempo*temperatura de SAC	18	6.42	<0.0001	16	16.85	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	1.89	0.1699	1	21.65	<0.0001
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	18.76	<0.0001	1	0.01	0.9166
Agente osmótico*temperatura de DO	1	28.88	<0.0001	1	0.10	0.7484
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	10.64	<0.0001	2	0.65	0.5250
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	228.53	<0.0001	1	3.06	0.0809
Concentración*temperatura de DO	1	0.20	0.6584	1	37.90	<0.0001
Concentración*temperatura de SAC	2	11.80	<0.0001	2	0.81	0.4444
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	120.72	<0.0001	1	1.94	0.1648
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	2.43	0.0890	2	0.29	0.7483
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	1.42	0.2419	2	0.04	0.9599

gl, grados de libertad

**Tabla 18.** ANOVA para los valores de humedad ( $X$ ) y velocidad de secado de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.

Variables	$X$			Velocidad de secado		
	gl	F	$p$	gl	F	$P$
Tiempo	9	1734.21	<0.0001	8	340.79	<0.0001
Agente osmótico	1	429.27	<0.0001	1	3.21	0.0739
Concentración	1	362.18	<0.0001	1	25.04	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico	1	111.37	<0.0001	1	5.19	0.0233
Temperatura de DO	1	76.98	<0.0001	1	7.03	0.0084
Temperatura de SAC	2	272.29	<0.0001	2	56.30	<0.0001
Tiempo*agente osmótico	9	9.75	<0.0001	8	6.46	<0.0001
Tiempo*concentración	9	19.68	<0.0001	8	0.81	0.5912
Tiempo*relación fruta/agente osmótico	9	2.33	0.0146	8	0.59	0.8488
Tiempo*temperatura de DO	9	1.03	0.4167	8	6.06	<0.0001
Tiempo*temperatura de SAC	18	5.57	<0.0001	16	16.73	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	48.64	<0.0001	1	0.36	0.5506
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	85.68	<0.0001	1	3.63	0.0576
Agente osmótico*temperatura de DO	1	12.98	0.0004	1	7.84	0.0054
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	1.39	0.2493	2	0.89	0.4107
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	4.07	0.0442	1	3.08	0.0801
Concentración*temperatura de DO	1	3.95	0.0475	1	14.23	0.0002
Concentración*temperatura de SAC	2	0.23	0.7965	2	0.73	0.4804
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.55	0.2140	1	0.01	0.9405
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.30	0.7395	2	1.00	0.3688
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.18	0.8363	2	0.15	0.8635

gl, grados de libertad

En la **Tabla 17** se observa que  $X$  y la velocidad de secado fueron afectadas significativamente por el tiempo de proceso ( $p<0.0001$ ); el agente osmótico ( $p<0.0001$ );

la concentración ( $p < 0.0001$ ); la relación fruta/agente osmótico ( $p = 0.0012$ ;  $p = 0.0005$ ); la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ); y por las interacciones entre la variable tiempo con el tipo de agente osmótico ( $p < 0.0001$ ), con la concentración ( $p < 0.0001$ ) y con la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ).

Además, la temperatura de DO ( $p < 0.0001$ ); las interacciones del agente osmótico con la relación fruta/agente osmótico ( $p < 0.0001$ ), con la temperatura de DO ( $p < 0.0001$ ) y con la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ); las interacciones de la concentración con la relación fruta/agente osmótico ( $p < 0.0001$ ) y con la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ); y la interacción entre la relación fruta/agente osmótico con la temperatura de DO ( $p < 0.0001$ ) influyeron de un modo significativo sobre los valores de humedad.

Por otra parte, la interacción entre el tiempo y la relación fruta/agente osmótico ( $p = 0.0046$ ); y las interacciones de la concentración con el agente osmótico ( $p < 0.0001$ ) y con la temperatura de DO ( $p < 0.0001$ ) provocaron un efecto significativo sobre la velocidad de secado.

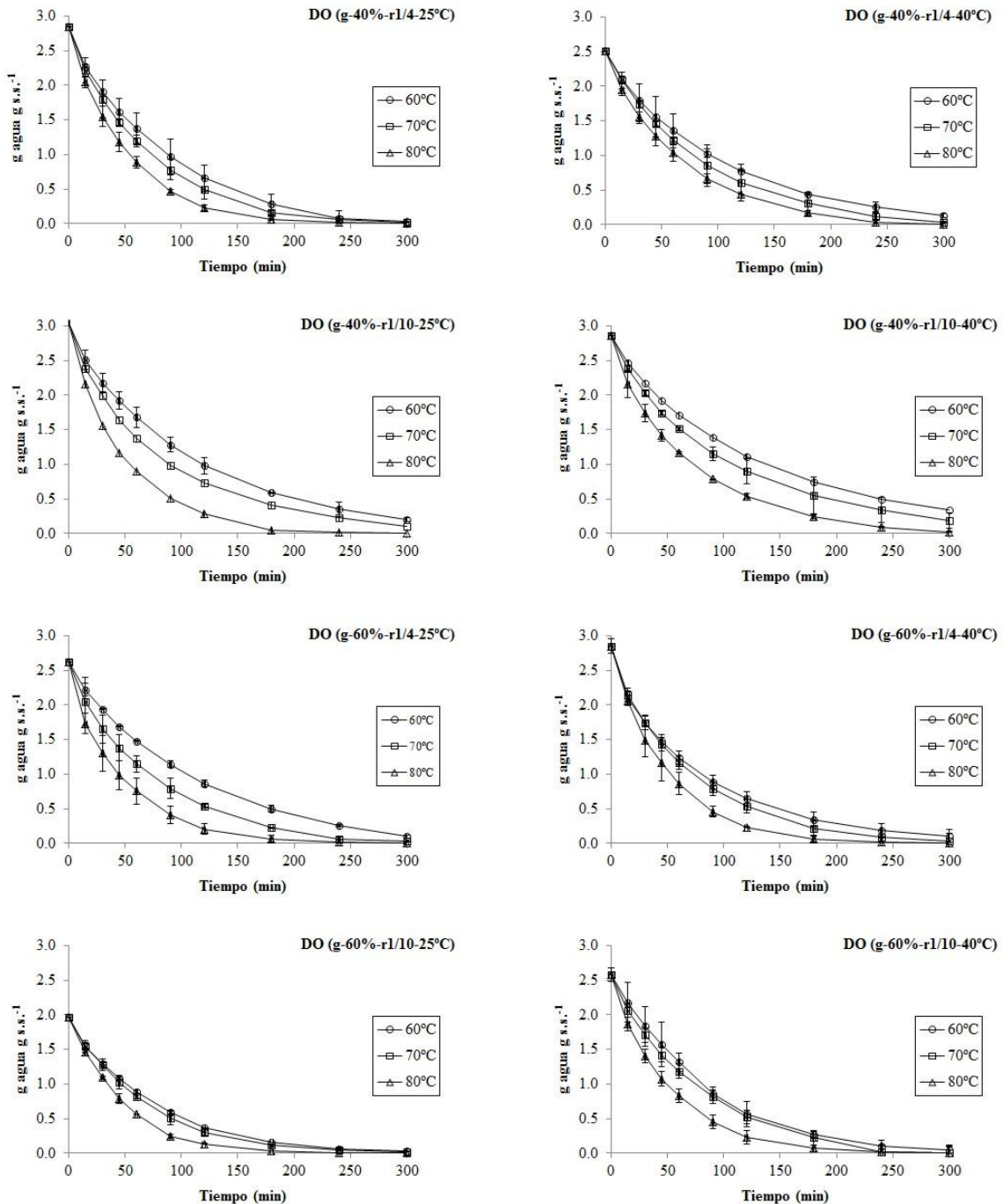
En la **Tabla 18** se observa que  $X$  y la velocidad de secado fueron afectadas significativamente por el tiempo de proceso ( $p < 0.0001$ ); la concentración ( $p < 0.0001$ ); la relación fruta/agente osmótico ( $p < 0.0001$ ;  $p = 0.0233$ ); la temperatura de DO ( $p < 0.0001$ ;  $p = 0.0084$ ); la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ); y por las interacciones entre la variable tiempo con el tipo de agente osmótico ( $p < 0.0001$ ) y con la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ); la interacción entre la temperatura de DO con el tipo de agente osmótico ( $p = 0.0004$ ;  $p = 0.0054$ ) y con la concentración ( $p = 0.0475$ ;  $p = 0.0002$ ).

Por otra parte, el agente osmótico ( $p < 0.0001$ ); las interacciones entre la variable tiempo con la concentración ( $p < 0.0001$ ) y con la relación fruta/agente osmótico ( $p = 0.0146$ ); las interacciones del agente osmótico con la concentración ( $p < 0.0001$ ) y con la relación fruta/agente osmótico ( $p < 0.0001$ ) y la interacción entre la relación fruta/agente osmótico con la concentración ( $p = 0.0442$ ), también influyeron de un modo significativo sobre los valores de humedad.

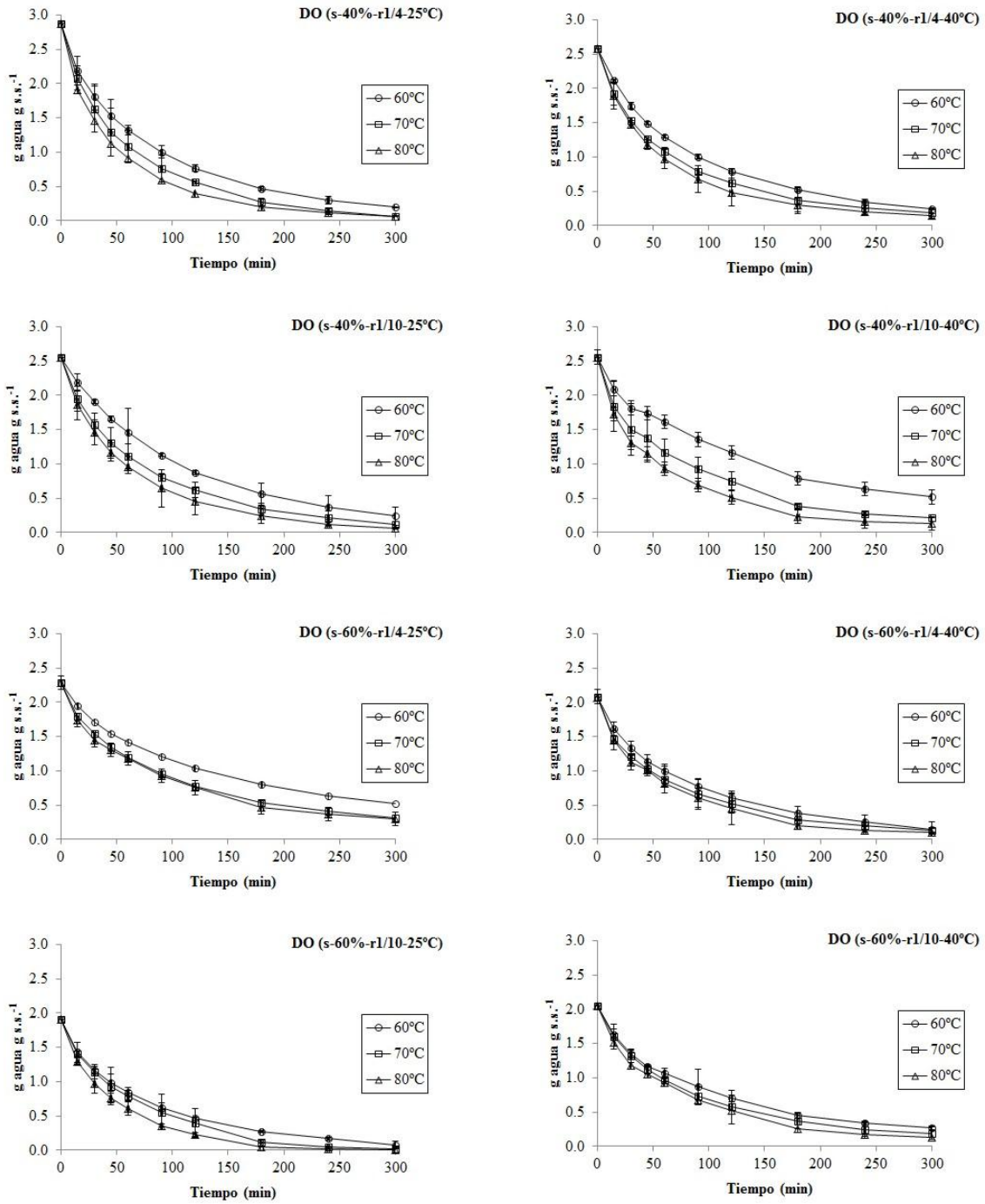
Finalmente, la interacción entre el tiempo y la temperatura de DO ( $p < 0.0001$ ) provocó un efecto significativo sobre la velocidad de secado.

Las **Figuras 17 y 18** representan las cinéticas de humedad en función del tiempo para las nectarinas y ciruelas secadas por convección a diferentes temperaturas, discriminadas por tratamiento osmótico. Además, la **Figuras 17 y 18** se subdividieron

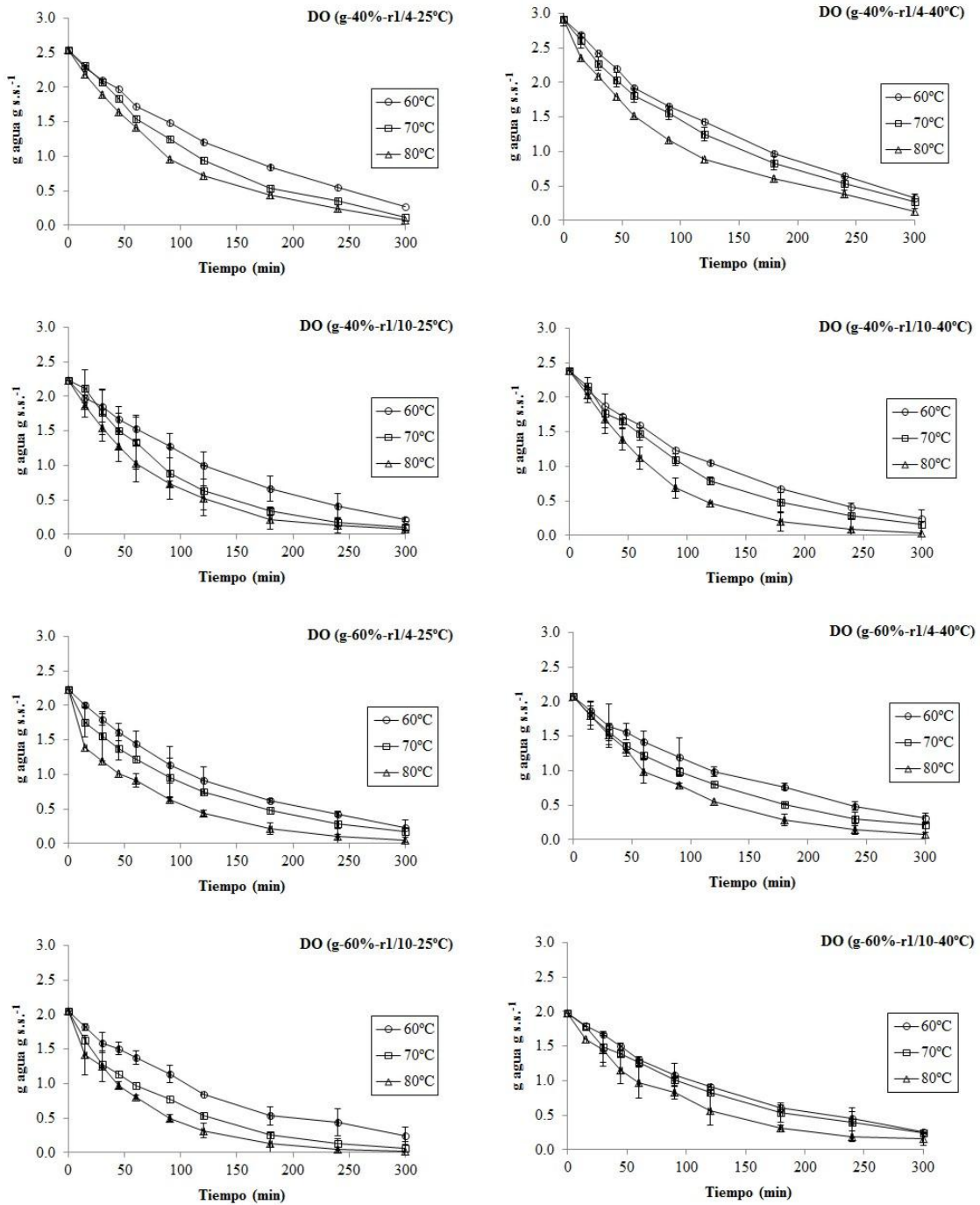
según el tipo de agente osmótico para una mejor visualización de los resultados, correspondiendo las **Figuras 17a** y **18a** a las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa y las **Figuras 17b**) y **18b**) a las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas en solución de sorbitol, respectivamente.



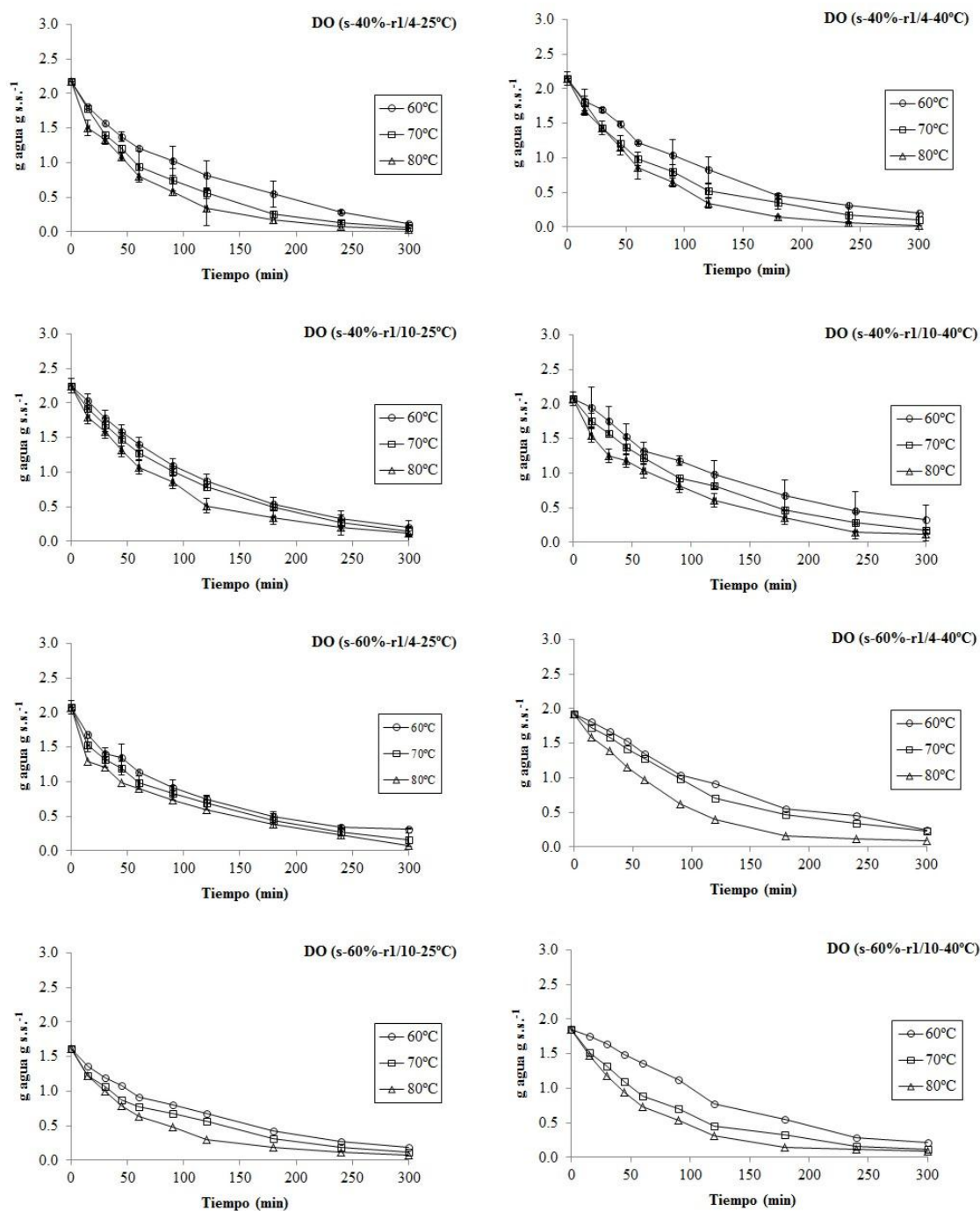
**Fig. 17a.** Cinéticas de humedad de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa.



**Fig. 17b.** Cinéticas de humedad de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de sorbitol.



**Fig. 18a.** Cinéticas de humedad de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa.



**Fig. 18b.** Cinéticas de humedad de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de sorbitol.

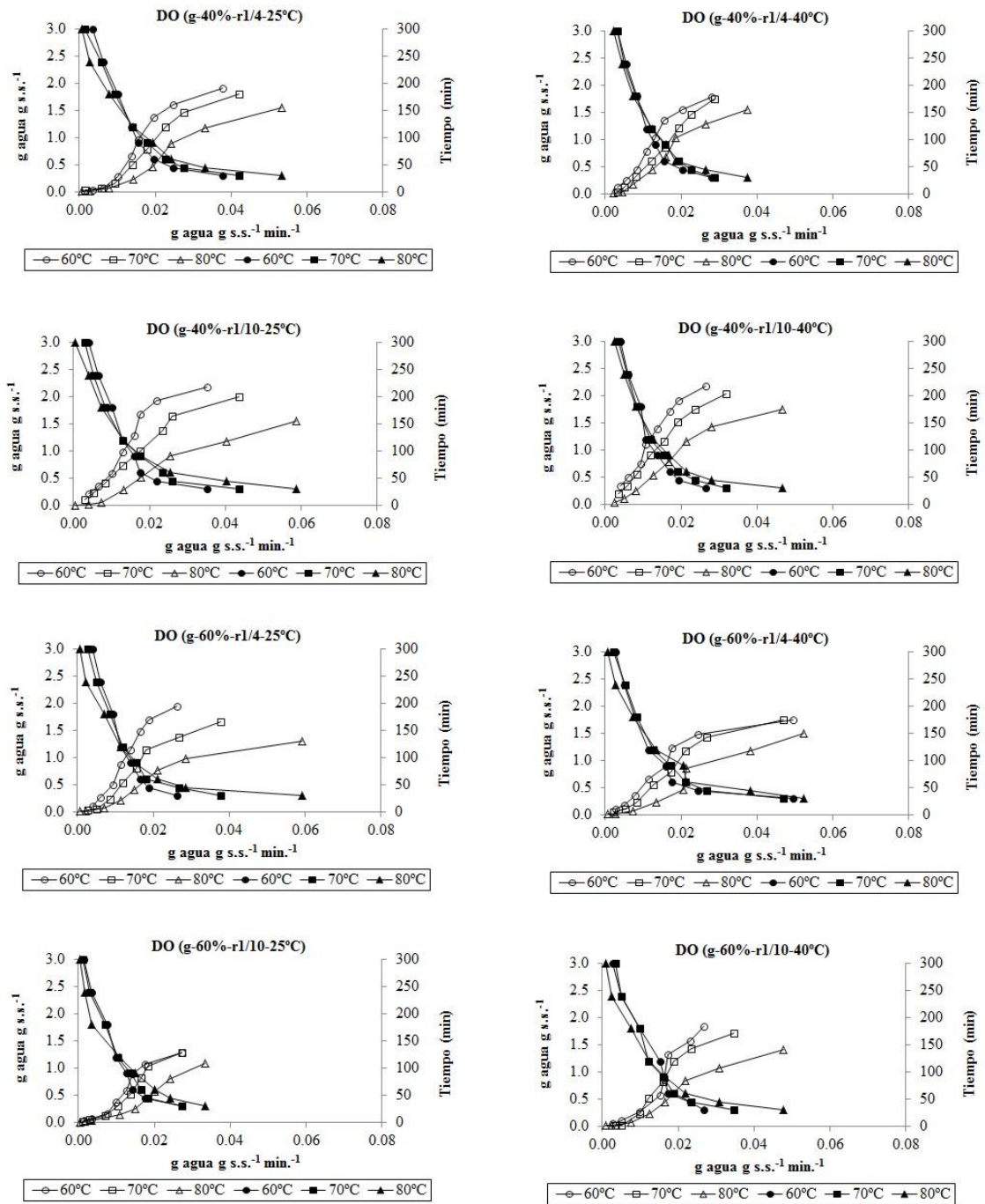
Para todas las condiciones, la humedad disminuye continuamente con el tiempo de proceso y con el incremento de la temperatura de secado, debido al aumento de la transferencia de calor entre el aire y las porciones de nectarinas y a la aceleración de la migración de agua dentro del fruto (Salicik & Elicin, 2006). El efecto de la temperatura de secado sobre las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas se hace evidente en las

**Figuras 17 y 18**, dado que las pendientes de las curvas aumentan con el incremento de la temperatura. Estos resultados son coincidentes a los obtenidos por Akpinar *et al.* (2003a), Akpinar *et al.* (2004), Lahsasni *et al.* (2004) y Pavkov *et al.*, 2011.

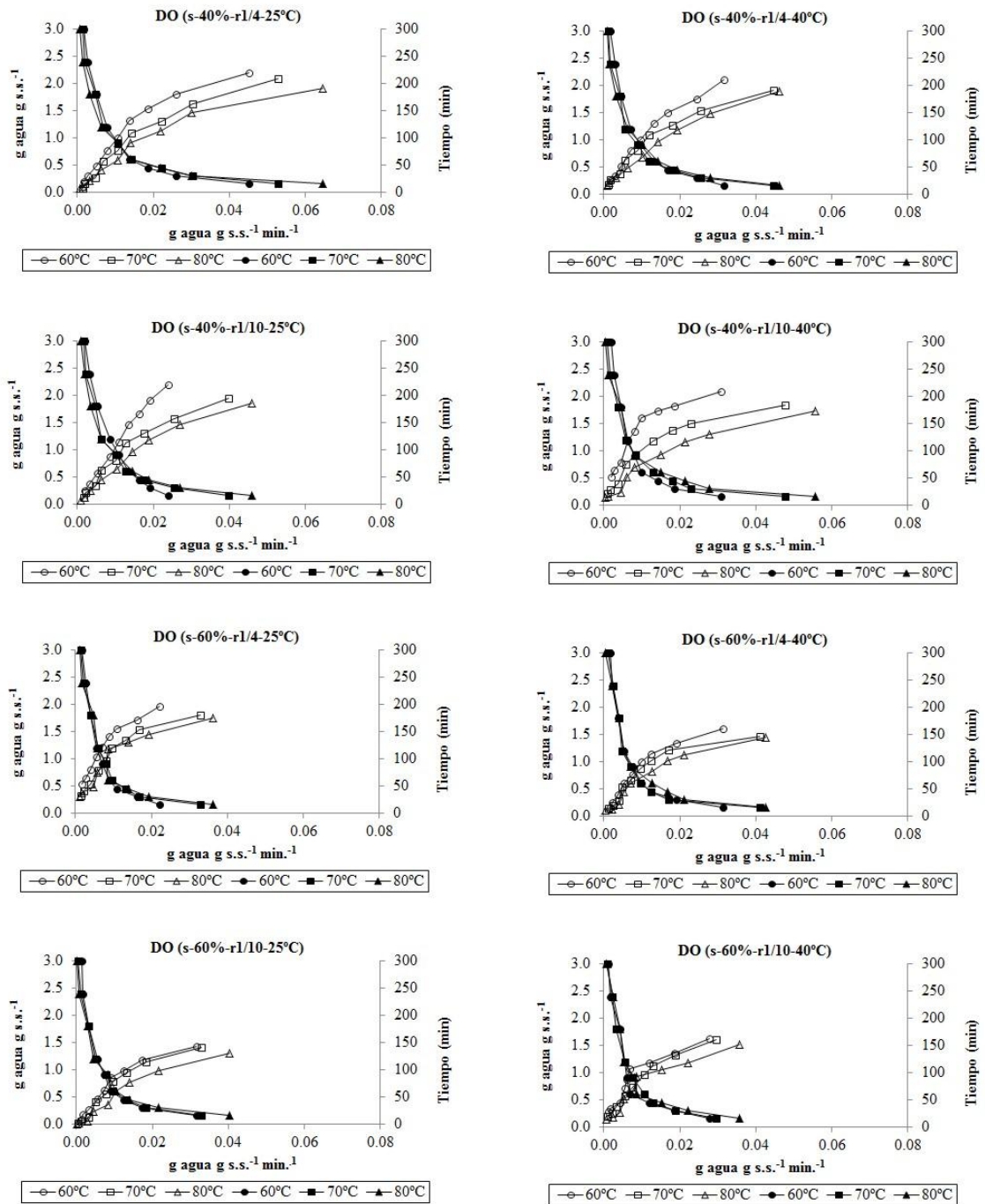
En cuanto al tratamiento osmótico, el uso de sorbitol junto al aumento de la concentración de la solución hipertónica de 40 a 60% p/p y la relación fruta a jarabe de 1 a 10 lograron un mayor grado de deshidratación en las nectarinas y ciruelas. Al mismo tiempo, se observa que el empleo de una temperatura de 25 °C permitió un mayor grado de deshidratación con respecto a la temperatura de 40 °C (**Figura 17 y 18**). Este efecto puede ser atribuido al colapso de la estructura celular cuando se trabaja en condiciones extremas, como altas temperatura, causando una parcial expulsión de la solución osmótica con liberación de gas, resultando en la contracción de los poros y, consecuentemente, la reducción del volumen libre para la liberación de agua (Barat *et al.*, 2001).

Las **Figuras 19 y 20** exhibe las cinéticas de humedad ( $\text{g agua g sólido seco}^{-1}$ ) en función de la velocidad de secado ( $\text{g agua g sólido seco}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) y las cinéticas del tiempo (min) en función de la velocidad de secado para las nectarinas y ciruelas secadas por aire caliente a diferentes temperaturas de secado, discriminadas por tratamiento osmótico. Al igual que para las cinéticas de humedad, las **Figuras 19 y 20** fueron fraccionadas en **a)** y **b)** según el tipo de agente osmótico haya sido jarabe de glucosa o sorbitol, respectivamente.

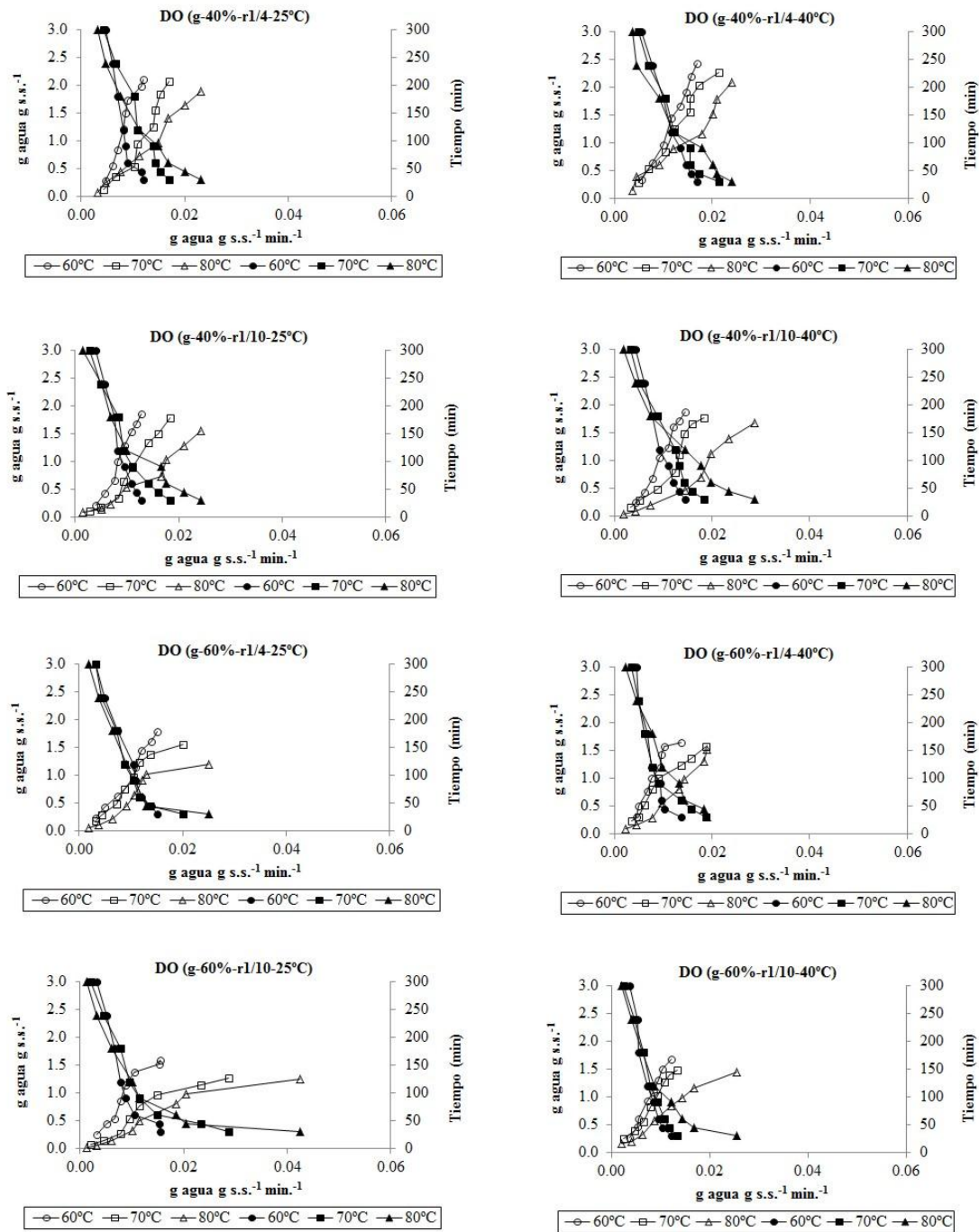




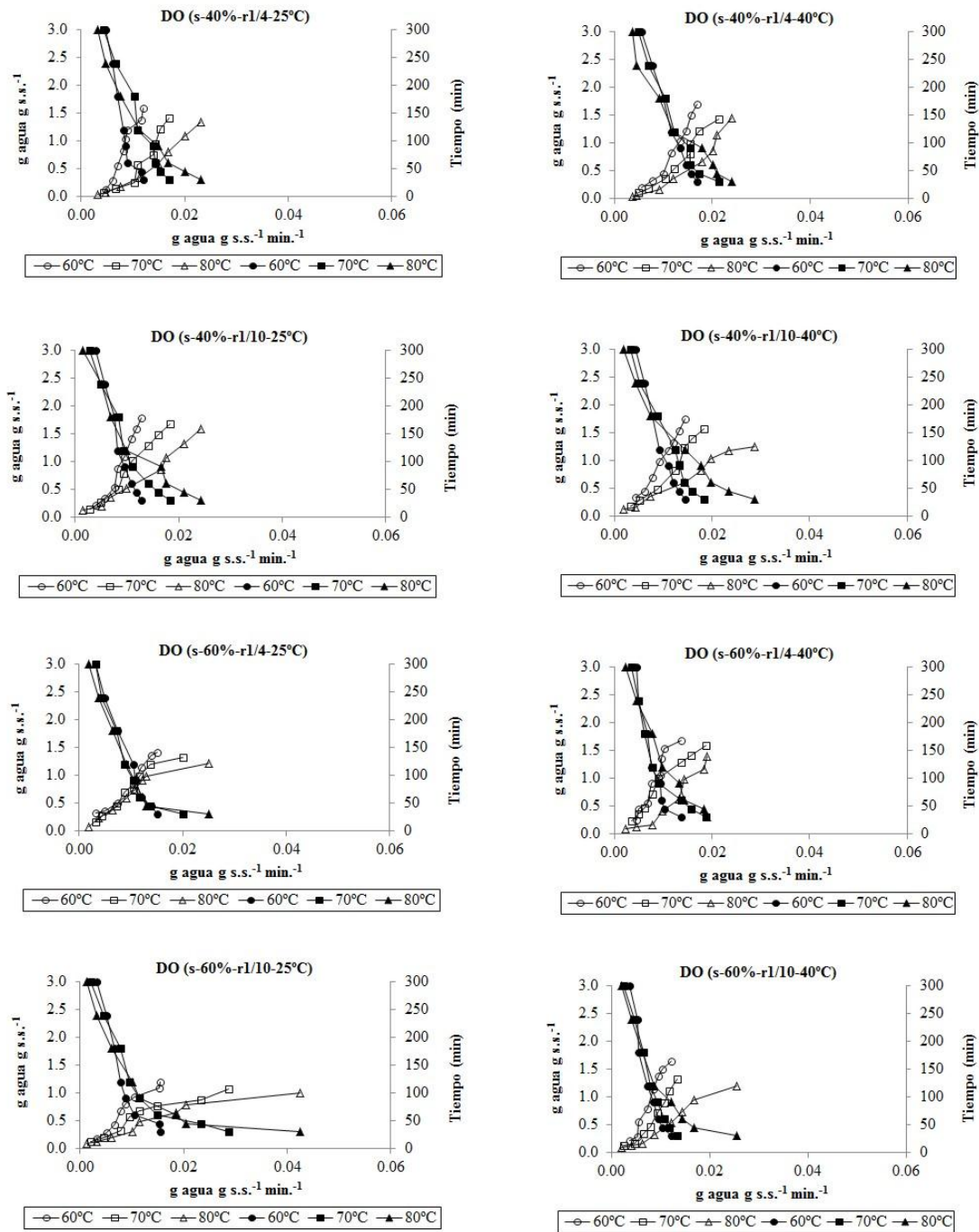
**Fig. 19a.** Cinéticas de humedad en función de la velocidad de secado y cinéticas del tiempo en función de la velocidad de secado de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, utilizando jarabe de glucosa.



**Fig. 19b.** Cinéticas de humedad en función de la velocidad de secado y cinéticas del tiempo en función de la velocidad de secado de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, utilizando sorbitol.



**Fig. 20a.** Cinéticas de humedad en función de la velocidad de secado y cinéticas del tiempo en función de la velocidad de secado de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, utilizando jarabe de glucosa.



**Fig. 20b.** Cinéticas de humedad en función de la velocidad de secado y cinéticas del tiempo en función de la velocidad de secado de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, utilizando sorbitol.

La evolución en el contenido de agua del producto en el tiempo puede ser representado mediante una curva de velocidad de secado que dependerá de varios factores, en la que pueden diferenciarse las distintas zonas características (Van Arsdel *et al.*, 1973; Üretir *et al.*, 1996; Simal *et al.*, 1997; Fito *et al.*, 2001; Keqing, 2004).

La totalidad de los tratamientos presentaron únicamente el período de velocidad de secado decreciente, por lo que el tratamiento osmótico favoreció la pérdida de humedad en las muestras. La ausencia del período de velocidad de secado constante indica que en el proceso de secado gobernó la difusión (Sanjuán *et al.*, 2003). Estos mismos resultados fueron reportados por Senadeera *et al.* (2003), Lahsasni *et al.* (2004), Sankat & Castaigne (2004), Doymaz (2005), Riva *et al.* (2005), Wang & Xi (2005) y Togrul (2010).

Asimismo, se observa que la velocidad de secado disminuyó proporcionalmente a la reducción de la humedad de las muestras y con el avance del tiempo, para todas las condiciones ensayadas. Por otra parte, la velocidad de secado se incrementa en función a la temperatura de secado, siendo significativamente favorecida por el aumento de la temperatura a 80 °C. Estos resultados son similares a los alcanzados por Van Arsdel *et al.* (1973), Salicik & Elicin (2006), Kaleta & Górnicki (2010) y Pavkov *et al.*, 2011.

En cuanto al tratamiento osmótico de nectarinas, el empleo de solución de jarabe de glucosa preparada al 40% p/p y con una proporción de solución respecto de la muestra de 4 a 1 permitió acelerar la velocidad de secado para la mayoría de las condiciones. Por otra parte, la temperatura del baño osmótico no tuvo ningún efecto significativo.

Mientras que durante el tratamiento osmótico de las ciruelas, el empleo de soluciones preparadas al 40% p/p, con una proporción de solución respecto de la muestra de 4 a 1 y temperatura osmótica de 25 °C permitió acelerar la velocidad de secado para la mayoría de las condiciones ensayadas. La variación de agente osmótico no evidenció un efecto estadísticamente significativo, pero si se pudo observar un leve aumento en la velocidad de deshidratación cuando las ciruelas fueron tratadas en solución de sorbitol.

#### ▪ **Modelado matemático del secado**

- *Coefficientes efectivos de difusión:*

En el período de velocidad de secado decreciente, cuando la resistencia a la transferencia de masa de agua, desde el interior del sólido a la interfase controla el proceso, se asume que si bien coexisten diferentes mecanismos, la eliminación del agua se realiza por difusión. Por lo tanto, los coeficientes efectivos de difusión pueden calcularse en términos de la ley de Fick y el balance de masa microscópica (Sanjuán *et*

al., 2003). Además, para realizar los cálculos, fue necesario conocer el semi-espesor equivalente de las porciones de los frutos.

Los coeficientes efectivos de difusión correspondientes a la etapa de secado a velocidad decreciente de las nectarinas y ciruelas se presentan en las **Tablas 19** y **20**, respectivamente.

**Tabla 19.** Valores de coeficientes efectivos de difusión de agua de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire.

Coeficiente efectivo de difusión ( $D_w$ ) ( $m^2 s^{-1}$ )			
Tratamientos osmóticos	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	1.57x10 <sup>-08</sup>	1.69x10 <sup>-08</sup>	2.22x10 <sup>-08</sup>
g-40%-r1/4-40 °C	1.02x10 <sup>-08</sup>	1.40x10 <sup>-08</sup>	1.88x10 <sup>-08</sup>
g-40%-r1/10-25 °C	9.39x10 <sup>-09</sup>	1.14x10 <sup>-08</sup>	2.32x10 <sup>-08</sup>
g-40%-r1/10-40 °C	7.39x10 <sup>-09</sup>	9.18x10 <sup>-09</sup>	1.57x10 <sup>-08</sup>
g-60%-r1/4-25 °C	1.09x10 <sup>-08</sup>	1.59x10 <sup>-08</sup>	2.10x10 <sup>-08</sup>
g-60%-r1/4-40 °C	1.15x10 <sup>-08</sup>	1.48x10 <sup>-08</sup>	2.22x10 <sup>-08</sup>
g-60%-r1/10-25 °C	1.48x10 <sup>-08</sup>	1.70x10 <sup>-08</sup>	2.43x10 <sup>-08</sup>
g-60%-r1/10-40 °C	1.41x10 <sup>-08</sup>	2.02x10 <sup>-08</sup>	2.12x10 <sup>-08</sup>
s-40%-r1/4-25 °C	9.08x10 <sup>-09</sup>	1.26x10 <sup>-08</sup>	1.31x10 <sup>-08</sup>
s-40%-r1/4-40 °C	8.23x10 <sup>-09</sup>	8.97x10 <sup>-09</sup>	9.82x10 <sup>-09</sup>
s-40%-r1/10-25 °C	8.34x10 <sup>-09</sup>	1.04x10 <sup>-08</sup>	1.27x10 <sup>-08</sup>
s-40%-r1/10-40 °C	5.49x10 <sup>-09</sup>	8.55x10 <sup>-09</sup>	1.03x10 <sup>-08</sup>
s-60%-r1/4-25 °C	4.96x10 <sup>-09</sup>	6.75x10 <sup>-09</sup>	7.07x10 <sup>-09</sup>
s-60%-r1/4-40 °C	8.76x10 <sup>-09</sup>	9.29x10 <sup>-09</sup>	1.08x10 <sup>-08</sup>
s-60%-r1/10-25 °C	1.04x10 <sup>-08</sup>	1.63x10 <sup>-08</sup>	2.16x10 <sup>-08</sup>
s-60%-r1/10-40 °C	6.97x10 <sup>-09</sup>	8.23x10 <sup>-09</sup>	9.60x10 <sup>-09</sup>

Los valores de  $D_w$  estuvieron comprendidos entre 4.96x10<sup>-09</sup> y 2.43x10<sup>-08</sup> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>. A partir de un análisis de la varianza se pudo determinar que los  $D_w$  fueron afectados significativamente por el tipo de agente osmótico ( $p<0.0001$ ), la concentración ( $p=0.0200$ ), la temperatura de DO ( $p=0.0037$ ), la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ), la interacción entre el agente osmótico y la temperatura de SAC ( $p=0.0083$ ), y las

interacciones de la relación fruta/agente osmótico con la concentración ( $p=0.0001$ ) y con la temperatura de DO ( $p=0.0385$ ) (**Anexo 4**).

En cuanto a la influencia de las variables implicadas en el tratamiento osmótico sobre los valores de  $D_w$ , se observa que la difusión de agua se vio favorecida por el jarabe de glucosa, la concentración del 60% p/p, la relación fruta a jarabe de 1 a 10 y la temperatura osmótica de 25 °C (**Tabla 19**).

**Tabla 20.** Valores de coeficientes efectivos de difusión de agua de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

Coeficiente efectivo de difusión ( $D_w$ ) ( $m^2 s^{-1}$ )			
Tratamientos osmóticos	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	$7.39 \times 10^{-09}$	$1.00 \times 10^{-08}$	$1.17 \times 10^{-08}$
g-40%-r1/4-40 °C	$1.02 \times 10^{-09}$	$7.81 \times 10^{-09}$	$9.82 \times 10^{-09}$
g-40%-r1/10-25 °C	$7.29 \times 10^{-09}$	$1.13 \times 10^{-08}$	$1.21 \times 10^{-08}$
g-40%-r1/10-40 °C	$4.22 \times 10^{-09}$	$9.50 \times 10^{-09}$	$1.57 \times 10^{-08}$
g-60%-r1/4-25 °C	$7.70 \times 10^{-09}$	$1.02 \times 10^{-08}$	$1.26 \times 10^{-08}$
g-60%-r1/4-40 °C	$6.44 \times 10^{-09}$	$7.92 \times 10^{-09}$	$1.16 \times 10^{-08}$
g-60%-r1/10-25 °C	$7.28 \times 10^{-09}$	$1.17 \times 10^{-08}$	$1.58 \times 10^{-08}$
g-60%-r1/10-40 °C	$6.97 \times 10^{-09}$	$7.18 \times 10^{-09}$	$9.29 \times 10^{-09}$
s-40%-r1/4-25 °C	$9.39 \times 10^{-09}$	$1.21 \times 10^{-08}$	$1.47 \times 10^{-08}$
s-40%-r1/4-40 °C	$1.02 \times 10^{-08}$	$1.06 \times 10^{-08}$	$9.82 \times 10^{-08}$
s-40%-r1/10-25 °C	$8.44 \times 10^{-09}$	$9.50 \times 10^{-09}$	$1.04 \times 10^{-08}$
s-40%-r1/10-40 °C	$6.54 \times 10^{-09}$	$8.44 \times 10^{-09}$	$1.48 \times 10^{-08}$
s-60%-r1/4-25 °C	$6.75 \times 10^{-09}$	$8.34 \times 10^{-09}$	$1.01 \times 10^{-08}$
s-60%-r1/4-40 °C	$7.18 \times 10^{-09}$	$7.60 \times 10^{-09}$	$1.17 \times 10^{-08}$
s-60%-r1/10-25 °C	$7.49 \times 10^{-09}$	$8.7 \times 10^{-09}$	$1.04 \times 10^{-08}$
s-60%-r1/10-40 °C	$8.02 \times 10^{-09}$	$9.82 \times 10^{-09}$	$1.13 \times 10^{-08}$

Los valores de  $D_w$  estuvieron comprendidos entre  $4.22 \times 10^{-09}$  y  $9.82 \times 10^{-08}$ . El análisis de la varianza demostró que los coeficientes efectivos de difusión no fueron afectados significativamente por ninguna de las variables implicadas en el proceso (**Tabla 20**) (**Anexo 5**).

Por otra parte, tanto para las nectarinas como para las ciruelas tratadas por ósmosis bajo las mismas condiciones experimentales, los valores de  $D_w$  aumentaron con el incremento de la temperatura de secado. Resultados similares fueron publicados por Maskan *et al.* (2002) en el secado de uvas, Akpinar *et al.* (2003b) en el secado de rodajas de papa, Sanjuán *et al.* (2003) en el secado de pimiento rojo a 50-70 °C y Keqing (2004) en el secado por aire de peras osmodeshidratadas. Los autores, también encontraron que la temperatura afectó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) a los coeficientes efectivos de difusión de agua durante el secado por aire, hallándose una relación directa entre el aumento de los  $D_w$  y la temperatura de secado.

Además, en cuanto a los valores de los coeficientes efectivos de difusión reportados en las **Tablas 19 y 20**, Wang *et al.* (2007) publicaron valores semejantes de  $D_w$ , comprendidos en un rango de  $1.91 \times 10^{-09}$  -  $3.93 \times 10^{-09} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para el secado por aire de manzanas y Velic *et al.* (2004) también reportaron valores cercanos del orden de  $1.79 \times 10^{-09}$  -  $4.45 \times 10^{-09} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para en el secado por aire a 60 °C de rodajas de manzanas.

- *Ajuste de datos mediante ecuaciones matemáticas:*

Las **Tablas 21 y 22** presentan el ajuste de las cinéticas de secado mediante el empleo de 10 modelos matemáticos. Para una mejor apreciación de los datos, las tablas fueron subdivididas en **a)** que corresponde al ajuste de las ecuaciones de Newton, Page, Page modificado, Henderson & Pabis, y el Modelo Logarítmico y **b)** que corresponde al ajuste de las ecuaciones del Modelo de dos términos, Exponencial de dos términos, Wang & Singh, Verma *et al.* y Midilli *et al.* En ellas se visualizan los valores de los indicadores estadísticos ( $r$ ;  $X^2$ ;  $RMSE$ ) obtenidos para los 48 tratamientos realizados con las nectarinas y con las ciruelas, respectivamente. Los indicadores estadísticos  $X^2$  y  $RMSE$  en la tabla están expresados en porcentaje (%).



**Tabla 21a.** Modelado matemático de las cinéticas de secado de las nectarinas osmodeshidratadas mediante las ecuaciones de Newton, Page, Page modificado, Henderson & Pabis y el Modelo Logarítmico.

N°	Newton			Page			Page modificado			Henderson & Pabis			Logarítmico		
	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE
1	0.998	0.026	0.48	0.999	0.047	0.62	0.999	0.047	0.62	0.998	0.04	0.56	1.000	0.03	0.44
2	0.999	0.012	0.32	0.999	0.019	0.39	0.999	0.019	0.39	0.999	0.01	0.32	1.000	0.01	0.30
3	0.999	0.010	0.29	1.000	0.014	0.34	1.000	0.014	0.34	0.999	0.01	0.29	1.000	0.01	0.27
4	1.000	0.029	0.51	1.000	0.008	0.25	1.000	0.008	0.25	1.000	0.03	0.49	1.000	0.05	0.59
5	0.999	0.005	0.20	0.999	0.007	0.24	0.999	0.007	0.24	0.999	0.01	0.21	1.000	0.02	0.37
6	0.999	0.014	0.36	0.999	0.018	0.38	0.999	0.018	0.38	0.999	0.01	0.32	1.000	0.04	0.51
7	0.999	0.049	0.66	1.000	0.008	0.26	1.000	0.008	0.26	1.000	0.05	0.64	1.000	0.06	0.63
8	0.997	0.091	0.91	1.000	0.003	0.14	1.000	0.003	0.14	0.999	0.19	1.23	1.000	0.16	1.06
9	0.999	0.020	0.42	0.999	0.009	0.27	0.999	0.009	0.27	0.999	0.05	0.61	0.999	0.08	0.74
10	0.999	0.070	0.79	1.000	0.001	0.07	1.000	0.001	0.07	1.000	0.10	0.89	1.000	0.04	0.56
11	0.998	0.078	0.84	1.000	0.001	0.11	1.000	0.001	0.11	1.000	0.14	1.05	1.000	0.10	0.85
12	0.998	0.056	0.71	0.999	0.011	0.30	0.999	0.011	0.30	1.000	0.10	0.88	1.000	0.16	1.06
13	0.999	0.013	0.35	0.999	0.022	0.42	0.999	0.022	0.42	0.999	0.01	0.34	1.000	0.04	0.52
14	0.999	0.029	0.51	0.999	0.027	0.47	0.999	0.027	0.47	0.999	0.03	0.47	1.000	0.07	0.72
15	0.998	0.062	0.75	0.999	0.020	0.40	0.999	0.020	0.40	1.000	0.14	1.05	1.000	0.17	1.10
16	0.995	0.185	1.29	1.000	0.015	0.34	1.000	0.015	0.34	1.000	0.31	1.57	1.000	0.30	1.44
17	0.999	0.052	0.68	1.000	0.015	0.35	1.000	0.015	0.35	1.000	0.08	0.78	1.000	0.11	0.88
18	1.000	0.008	0.27	1.000	0.009	0.26	1.000	0.009	0.26	1.000	0.01	0.27	1.000	0.01	0.30
19	1.000	0.011	0.32	1.000	0.016	0.36	1.000	0.016	0.36	1.000	0.01	0.34	1.000	0.01	0.29
20	0.999	0.012	0.33	1.000	0.010	0.28	1.000	1.613	3.59	1.000	0.04	0.56	1.000	0.03	0.44
21	0.998	0.029	0.51	0.999	0.009	0.26	0.999	0.009	0.26	0.999	0.13	1.02	0.999	0.13	0.97
22	0.999	0.033	0.54	1.000	0.008	0.25	1.000	0.008	0.25	1.000	0.09	0.83	1.000	0.06	0.65
23	0.997	0.031	0.53	0.997	0.055	0.66	0.997	0.055	0.66	0.997	0.05	0.62	0.999	0.04	0.51
24	1.000	0.009	0.29	1.000	0.011	0.29	1.000	0.011	0.29	1.000	0.01	0.28	1.000	0.01	0.31
25	0.989	0.313	1.68	1.000	0.001	0.06	1.000	0.001	0.06	0.999	0.58	2.15	1.000	0.33	1.53
26	0.991	0.206	1.36	1.000	0.004	0.18	1.000	0.004	0.18	0.999	0.53	2.06	0.999	0.47	1.82
27	0.986	0.234	1.45	1.000	0.001	0.07	1.000	0.001	0.07	0.998	0.79	2.52	1.000	0.56	1.97
28	0.992	0.247	1.49	1.000	0.008	0.25	1.000	0.008	0.25	0.999	0.49	1.97	1.000	0.20	1.18
29	0.981	0.417	1.94	1.000	0.008	0.26	1.000	0.008	0.26	0.997	0.99	2.81	1.000	0.41	1.70
30	0.979	0.288	1.61	0.999	0.032	0.50	0.999	0.032	0.50	0.994	1.02	2.86	1.000	0.24	1.30
31	0.999	0.039	0.59	0.856	2.576	4.54	1.000	0.003	0.15	1.000	0.08	0.80	1.000	0.02	0.33
32	0.992	0.209	1.37	1.000	0.002	0.13	1.000	0.002	0.13	0.999	0.45	1.90	1.000	0.31	1.48
33	0.993	0.146	1.15	0.754	2.394	4.38	1.000	0.000	0.06	0.999	0.43	1.85	1.000	0.29	1.43
34	0.994	0.422	1.95	0.988	0.376	1.73	0.999	0.041	0.57	0.999	0.36	1.70	1.000	0.19	1.15
35	0.985	0.563	2.25	0.998	0.046	0.61	0.998	0.046	0.61	0.998	0.73	2.42	0.999	0.54	1.94
36	0.978	0.486	2.09	0.998	0.020	0.40	0.998	0.020	0.40	0.997	1.07	2.93	0.999	0.73	2.25
37	0.992	0.454	2.02	1.000	0.008	0.25	1.000	0.008	0.25	0.999	0.57	2.13	1.000	0.15	1.02
38	0.985	0.531	2.19	1.000	0.003	0.17	1.000	0.003	0.17	0.998	0.78	2.50	1.000	0.26	1.34
39	0.984	0.599	2.32	0.999	0.014	0.34	0.999	0.014	0.34	0.998	0.80	2.54	1.000	0.35	1.55
40	0.990	0.350	1.77	1.000	0.003	0.17	1.000	0.003	0.17	0.999	0.57	2.13	1.000	0.42	1.72
41	0.982	0.513	2.15	1.000	0.010	0.29	1.000	0.010	0.29	0.997	0.35	1.68	1.000	0.63	2.11
42	0.986	0.403	1.91	0.998	0.038	0.55	0.998	0.038	0.55	0.999	0.70	2.37	0.999	0.57	2.00
43	0.992	0.253	1.51	1.000	0.006	0.22	1.000	0.006	0.22	0.999	0.45	1.91	1.000	0.39	1.65
44	0.996	0.108	0.98	0.997	0.070	0.75	0.997	1.535	3.50	0.998	0.12	0.96	0.999	0.24	1.29
45	0.996	0.088	0.89	0.998	0.028	0.47	0.998	0.028	0.47	0.999	0.18	1.21	0.999	0.28	1.40
46	0.986	0.508	2.14	1.000	0.011	0.30	1.000	0.011	0.30	0.998	0.74	2.44	1.000	0.29	1.43
47	0.987	0.347	1.77	1.000	0.007	0.24	1.000	0.007	0.24	0.998	0.70	2.37	1.000	0.24	1.30
48	0.988	0.372	1.83	0.999	0.029	0.49	0.999	0.029	0.49	0.998	0.61	2.20	0.999	0.41	1.70

**Tabla 21b.** Modelado matemático de las cinéticas de secado de las nectarinas osmodeshidratadas mediante las ecuaciones del Modelo de dos términos, Exponencial de dos términos, Wang & Singh, Verma *et al.* y Midilli *et al.*

N°	Dos términos			Exp. dos términos			Wang & Singh			Verma <i>et al.</i>			Midilli <i>et al.</i>		
	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE
1	0.998	0.08	0.69	0.999	0.04	0.57	0.984	0.47	1.95	0.998	0.04	0.54	1.000	0.269	1.27
2	0.999	0.02	0.37	0.999	0.02	0.37	0.961	0.78	2.50	0.999	0.01	0.32	1.000	0.212	1.13
3	0.999	0.02	0.31	1.000	0.01	0.33	0.837	1.83	3.82	0.999	0.01	0.29	1.000	0.104	0.79
4	1.000	0.00	0.15	1.000	0.02	0.39	0.990	0.36	1.70	1.000	0.00	0.12	1.000	0.014	0.29
5	0.999	0.02	0.34	0.999	0.01	0.23	0.981	0.47	1.93	0.999	0.01	0.21	1.000	0.020	0.35
6	0.999	0.02	0.31	0.999	0.02	0.40	0.955	0.89	2.67	0.999	0.01	0.28	1.000	0.108	0.81
7	1.000	0.01	0.21	1.000	0.02	0.43	0.991	0.35	1.68	1.000	0.00	0.07	1.000	0.030	0.43
8	0.999	0.18	1.04	1.000	0.00	0.20	0.966	0.87	2.63	0.999	0.02	0.41	1.000	0.067	0.63
9	0.999	0.03	0.45	0.999	0.02	0.39	0.807	2.16	4.16	0.999	0.01	0.23	0.999	0.143	0.93
10	1.000	0.07	0.66	1.000	0.01	0.23	0.996	0.22	1.34	1.000	0.02	0.38	1.000	0.002	0.11
11	1.000	0.11	0.83	1.000	0.01	0.21	0.987	0.46	1.92	1.000	0.03	0.43	1.000	0.051	0.55
12	1.000	0.06	0.62	0.999	0.03	0.49	0.944	1.15	3.04	1.000	0.00	0.15	1.000	0.028	0.41
13	0.999	0.04	0.49	0.999	0.02	0.40	0.993	0.25	1.40	0.999	0.02	0.34	1.000	0.001	0.09
14	0.999	0.03	0.39	0.999	0.04	0.53	0.968	0.78	2.50	0.999	0.01	0.31	1.000	0.196	1.08
15	1.000	0.11	0.83	0.999	0.04	0.57	0.751	2.59	4.55	1.000	0.00	0.16	1.000	0.474	1.69
16	1.000	0.30	1.34	1.000	0.02	0.37	0.956	1.18	3.07	1.000	0.01	0.24	1.000	0.143	0.93
17	1.000	0.04	0.51	0.999	0.03	0.53	0.950	1.07	2.92	1.000	0.00	0.10	1.000	0.146	0.94
18	1.000	0.01	0.23	1.000	0.01	0.28	0.820	1.98	3.98	1.000	0.01	0.22	1.000	0.128	0.88
19	1.000	0.03	0.40	1.000	0.01	0.34	0.971	0.60	2.19	1.000	0.02	0.34	1.000	0.134	0.90
20	1.000	0.06	0.59	1.000	0.01	0.23	0.959	0.69	2.36	1.000	0.02	0.38	1.000	0.077	0.68
21	0.999	0.23	1.17	1.000	0.01	0.23	0.802	1.87	3.87	0.999	0.02	0.41	1.000	0.055	0.58
22	1.000	0.17	1.01	1.000	0.01	0.21	0.987	0.26	1.45	1.000	0.03	0.46	1.000	0.020	0.34
23	0.997	0.07	0.63	0.997	0.05	0.61	0.980	0.54	2.08	0.997	0.05	0.60	0.999	0.252	1.23
24	1.000	0.01	0.22	1.000	0.01	0.31	0.847	1.81	3.80	1.000	0.01	0.22	1.000	0.200	1.10
25	0.999	0.58	1.87	0.999	0.06	0.69	0.966	1.09	2.96	0.999	0.07	0.71	1.000	0.006	0.19
26	0.999	0.53	1.78	0.999	0.02	0.44	0.913	1.74	3.74	0.999	0.05	0.60	1.000	0.020	0.34
27	0.998	0.83	2.23	0.997	0.06	0.67	0.814	2.62	4.58	0.998	0.05	0.57	1.000	0.018	0.33
28	0.999	0.49	1.71	0.999	0.03	0.46	0.980	0.70	2.37	0.999	0.12	0.92	1.000	0.147	0.94
29	0.997	1.15	2.63	0.995	0.13	1.01	0.944	1.49	3.45	0.997	0.16	1.06	1.000	0.034	0.45
30	0.994	1.12	2.59	0.993	0.09	0.85	0.912	1.73	3.72	0.994	0.20	1.17	1.000	0.143	0.93
31	1.000	0.02	0.34	1.000	0.02	0.38	0.994	0.24	1.38	1.000	0.02	0.42	1.000	0.009	0.24
32	0.999	0.44	1.62	0.999	0.02	0.39	0.956	1.17	3.06	0.999	0.06	0.65	1.000	0.023	0.38
33	0.999	0.41	1.57	1.000	0.01	0.29	0.912	1.64	3.63	0.999	0.04	0.55	1.000	0.023	0.37
34	0.999	0.33	1.42	0.999	0.14	1.04	0.996	0.44	1.88	0.999	0.05	0.56	1.000	0.571	1.85
35	0.998	0.76	2.13	0.995	0.21	1.30	0.966	1.36	3.30	0.998	0.05	0.57	0.999	1.088	2.55
36	0.997	1.16	2.64	0.992	0.24	1.38	0.901	2.21	4.21	0.997	0.07	0.72	0.999	0.886	2.31
37	0.999	0.59	1.88	0.998	0.15	1.08	0.995	0.37	1.71	0.999	0.16	1.07	1.000	0.013	0.27
38	0.998	0.83	2.23	0.899	2.42	4.40	0.983	0.79	2.52	0.998	0.14	0.99	1.000	0.042	0.50
39	0.998	0.85	2.26	0.908	2.22	4.21	0.980	0.97	2.78	0.998	0.10	0.85	1.000	0.504	1.74
40	0.999	0.57	1.85	0.999	0.07	0.74	0.970	1.05	2.89	0.999	0.07	0.72	1.000	0.054	0.57
41	0.999	0.93	2.36	0.995	0.25	1.42	0.944	1.66	3.65	0.999	0.06	0.63	1.000	0.276	1.29
42	0.999	0.72	2.08	0.996	0.13	1.02	0.932	1.78	3.77	0.999	0.04	0.50	0.999	0.992	2.44
43	0.999	0.44	1.62	0.999	0.04	0.55	0.956	1.22	3.13	0.999	0.04	0.50	1.000	0.002	0.10
44	0.998	0.08	0.71	0.998	0.03	0.48	0.954	1.14	3.02	0.998	0.03	0.45	0.999	0.650	1.97
45	0.999	0.14	0.92	0.999	0.01	0.27	0.837	2.19	4.19	0.999	0.01	0.25	0.999	0.495	1.72
46	0.998	0.78	2.17	0.996	0.16	1.13	0.984	0.81	2.54	0.998	0.14	1.00	1.000	0.188	1.06
47	0.998	0.73	2.10	0.997	0.08	0.79	0.972	0.94	2.75	0.998	0.14	0.99	0.999	0.020	0.35
48	0.998	0.61	1.92	0.997	0.10	0.91	0.960	1.30	3.23	0.998	0.06	0.62	0.999	0.711	2.07

**Tabla 22a.** Modelado matemático de las cinéticas de secado de las ciruelas osmodeshidratadas mediante las ecuaciones de Newton, Page, Page modificado, Henderson y Pabis, y el Modelo Logarítmico.

N°	Newton			Page			Page modificado			Henderson & Pabis			Logarítmico		
	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE
1	0.998	0.039	0.59	0.999	0.036	0.54	0.999	0.036	0.54	0.999	0.08	0.79	1.000	0.03	0.44
2	0.998	0.063	0.75	0.999	0.017	0.37	0.999	0.017	0.37	0.999	0.09	0.85	0.999	0.03	0.45
3	0.999	0.019	0.41	0.999	0.018	0.38	0.999	0.018	0.38	0.999	0.02	0.41	0.999	0.02	0.39
4	0.998	0.036	0.57	0.999	0.045	0.60	0.999	0.045	0.60	0.999	0.05	0.61	1.000	0.10	0.82
5	0.999	0.032	0.53	0.999	0.032	0.51	0.999	0.032	0.51	0.999	0.03	0.48	1.000	0.11	0.86
6	0.996	0.116	1.02	0.998	0.027	0.47	0.998	0.027	0.47	0.998	0.16	1.12	0.998	0.24	1.30
7	0.999	0.043	0.63	1.000	0.026	0.46	1.000	0.026	0.46	0.999	0.10	0.89	1.000	0.01	0.27
8	0.997	0.186	1.29	0.951	0.973	2.79	0.999	0.071	0.75	1.000	0.20	1.28	1.000	0.30	1.45
9	0.999	0.006	0.24	1.000	0.008	0.26	1.000	0.008	0.26	0.999	0.01	0.29	1.000	0.01	0.24
10	0.999	0.020	0.43	0.974	0.688	2.35	1.000	0.030	0.49	0.999	0.03	0.45	1.000	0.03	0.46
11	0.999	0.037	0.58	0.954	0.977	2.80	0.999	0.036	0.53	0.999	0.04	0.58	0.999	0.05	0.59
12	0.999	0.043	0.62	0.980	0.337	1.64	1.000	0.007	0.24	1.000	0.09	0.83	1.000	0.10	0.86
13	0.999	0.008	0.27	0.999	0.009	0.27	0.999	0.009	0.27	0.999	0.01	0.28	1.000	0.02	0.36
14	0.997	0.175	1.25	1.000	0.031	0.50	1.000	0.031	0.50	1.000	0.16	1.14	1.000	0.19	1.14
15	0.986	0.567	2.26	0.996	0.156	1.12	0.996	0.156	1.12	0.999	0.69	2.35	1.000	0.90	2.51
16	0.999	0.036	0.57	0.999	0.037	0.54	0.999	0.037	0.54	0.999	0.03	0.49	1.000	0.10	0.82
17	0.999	0.055	0.70	1.000	0.010	0.29	1.000	0.010	0.29	1.000	0.07	0.74	1.000	0.06	0.66
18	0.999	0.028	0.50	0.999	0.032	0.50	0.999	0.032	0.50	0.999	0.03	0.49	0.999	0.03	0.49
19	0.999	0.045	0.64	0.999	0.048	0.62	0.999	0.048	0.62	0.999	0.05	0.62	0.999	0.06	0.62
20	0.997	0.139	1.12	0.998	0.061	0.70	0.998	1.410	3.36	0.999	0.16	1.12	0.999	0.25	1.32
21	0.998	0.115	1.02	0.999	0.078	0.79	0.999	0.078	0.79	0.999	0.12	0.98	0.999	0.15	1.04
22	0.999	0.018	0.40	0.999	0.020	0.40	0.999	0.020	0.40	0.999	0.02	0.41	0.999	0.03	0.43
23	0.999	0.056	0.71	1.000	0.022	0.42	1.000	0.022	0.42	1.000	0.08	0.78	1.000	0.06	0.64
24	0.996	0.111	1.00	0.998	0.048	0.62	0.998	0.048	0.62	0.998	0.17	1.17	0.999	0.08	0.74
25	0.997	0.127	1.07	0.997	0.091	0.85	0.997	0.091	0.85	0.998	0.10	0.88	0.999	0.36	1.59
26	0.998	0.066	0.77	0.999	0.030	0.49	0.999	0.030	0.49	0.999	0.12	0.99	0.999	0.15	1.04
27	0.997	0.135	1.10	0.999	0.072	0.76	0.999	0.072	0.76	0.999	0.17	1.17	0.999	0.19	1.15
28	0.999	0.042	0.61	0.820	3.292	5.13	0.999	0.040	0.57	0.999	0.04	0.59	0.999	0.05	0.57
29	0.996	0.096	0.93	0.999	0.030	0.49	0.999	0.030	0.49	0.998	0.22	1.33	0.998	0.16	1.07
30	0.998	0.030	0.52	0.956	0.696	2.36	0.999	0.036	0.53	0.998	0.04	0.55	0.999	0.04	0.51
31	1.000	0.005	0.21	1.000	0.004	0.17	1.000	0.004	0.17	1.000	0.00	0.16	1.000	0.00	0.18
32	0.999	0.020	0.43	0.999	0.012	0.31	0.999	0.012	0.31	1.000	0.02	0.38	1.000	0.06	0.66
33	0.997	0.069	0.79	0.999	0.035	0.53	0.999	0.035	0.53	0.998	0.12	0.98	0.999	0.05	0.61
34	0.999	0.042	0.62	1.000	0.048	0.62	1.000	0.048	0.62	0.999	0.06	0.69	1.000	0.05	0.61
35	0.999	0.041	0.61	1.000	0.019	0.39	1.000	0.019	0.39	1.000	0.04	0.55	1.000	0.05	0.60
36	0.994	0.344	1.76	0.997	0.135	1.04	0.997	0.135	1.04	0.999	0.30	1.55	0.999	0.44	1.75
37	0.990	0.363	1.81	0.999	0.037	0.55	0.999	0.037	0.55	0.997	0.53	2.05	0.999	0.12	0.91
38	0.989	0.537	2.20	0.998	0.069	0.74	0.998	0.069	0.74	0.999	0.55	2.09	0.999	0.68	2.18
39	0.975	1.039	3.06	0.993	0.213	1.31	0.993	0.213	1.31	0.997	1.00	2.82	0.999	1.67	3.42
40	0.998	0.097	0.93	0.999	0.059	0.69	0.999	0.059	0.69	0.999	0.07	0.77	0.999	0.10	0.84
41	0.998	0.050	0.67	0.998	0.063	0.71	0.998	0.063	0.71	0.998	0.05	0.63	0.999	0.16	1.07
42	0.997	0.045	0.64	0.997	0.037	0.54	0.997	0.037	0.54	0.998	0.07	0.75	0.999	0.21	1.22
43	0.998	0.136	1.11	0.999	0.042	0.58	0.999	0.042	0.58	0.999	0.12	0.99	0.999	0.18	1.14
44	0.990	0.459	2.03	0.997	0.101	0.90	0.997	1.367	3.31	0.998	0.47	1.93	0.999	0.69	2.20
45	0.989	0.174	1.25	0.999	0.027	0.47	0.999	0.027	0.47	0.996	0.54	2.08	0.999	0.15	1.03
46	0.995	0.274	1.57	0.998	0.058	0.68	0.998	0.058	0.68	0.998	0.37	1.72	0.998	0.33	1.53
47	0.996	0.076	0.82	0.998	0.035	0.53	0.998	0.035	0.53	0.998	0.16	1.14	0.998	0.05	0.57
48	0.995	0.047	0.65	0.997	0.038	0.55	0.997	0.038	0.55	0.996	0.15	1.10	0.999	0.01	0.31

**Tabla 22b.** Modelado matemático de las cinéticas de secado de las ciruelas osmodeshidratadas mediante las ecuaciones del Modelo de dos términos, Exponencial de dos términos, Wang y Singh, Verma *et al.* y Midilli *et al.*

N°	Dos términos			Exp. dos términos			Wang & Singh			Verma <i>et al.</i>			Midilli <i>et al.</i>		
	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE
1	0.999	0.16	0.99	0.999	0.03	0.48	0.999	0.06	0.66	0.999	0.06	0.66	1.000	0.06	0.61
2	0.999	0.21	1.12	0.999	0.02	0.40	0.997	0.07	0.76	0.999	0.03	0.46	0.999	0.18	1.04
3	0.999	0.06	0.60	0.999	0.02	0.39	0.989	0.26	1.45	0.999	0.02	0.38	0.999	0.33	1.40
4	0.999	3.00	4.24	0.999	0.04	0.58	0.998	0.10	0.89	0.999	0.05	0.57	1.000	1.15	2.62
5	0.999	0.03	0.44	0.999	0.02	0.43	0.997	0.18	1.20	0.999	0.03	0.43	1.000	0.09	0.72
6	0.998	0.12	0.86	0.998	0.03	0.47	0.981	0.61	2.21	0.998	0.04	0.51	0.999	1.19	2.67
7	0.999	0.20	1.10	0.822	4.83	6.22	0.999	0.04	0.53	0.999	0.07	0.69	1.000	0.01	0.29
8	1.000	0.41	1.57	0.999	0.08	0.78	0.996	0.12	0.99	1.000	0.01	0.31	1.000	0.20	1.08
9	0.999	0.02	0.32	1.000	0.01	0.24	0.981	0.43	1.86	0.999	0.01	0.26	1.000	0.01	0.23
10	0.999	0.05	0.57	1.000	0.03	0.47	0.998	0.10	0.91	0.999	0.03	0.45	1.000	0.03	0.45
11	0.999	0.09	0.75	0.999	0.04	0.54	0.997	0.12	0.98	0.999	0.04	0.53	1.000	0.05	0.55
12	1.000	0.21	1.12	1.000	0.01	0.27	0.978	0.38	1.74	1.000	0.01	0.28	1.000	0.03	0.41
13	0.999	0.02	0.38	0.999	0.01	0.27	0.997	0.10	0.88	0.999	0.01	0.28	1.000	0.26	1.24
14	1.000	0.12	0.84	0.999	0.04	0.59	0.989	0.55	2.10	1.000	0.00	0.10	1.000	0.14	0.91
15	0.999	0.70	2.05	0.933	1.38	3.32	0.916	2.23	4.23	0.999	0.02	0.35	1.000	1.64	3.13
16	0.999	2.45	3.83	0.918	2.08	4.08	0.998	0.13	1.02	0.999	0.03	0.45	1.000	0.10	0.77
17	1.000	9.05	7.37	0.999	0.02	0.42	0.996	0.23	1.36	1.000	0.02	0.37	1.000	0.07	0.63
18	0.999	0.06	0.59	0.999	0.03	0.50	0.987	0.32	1.61	0.999	0.03	0.49	0.999	0.12	0.85
19	0.999	5.82	5.91	0.998	0.06	0.68	0.997	0.11	0.93	0.999	0.05	0.60	0.999	0.08	0.68
20	0.999	0.13	0.87	0.998	0.10	0.91	0.976	0.82	2.56	0.999	0.04	0.53	0.999	0.48	1.71
21	0.999	0.09	0.75	0.998	0.11	0.93	0.929	1.38	3.32	0.999	0.04	0.52	1.000	0.50	1.72
22	0.999	0.04	0.49	0.999	0.02	0.40	0.998	0.07	0.76	0.999	0.02	0.41	1.000	0.29	1.31
23	1.000	1.04	2.50	1.000	0.03	0.47	0.997	0.17	1.18	1.000	0.04	0.54	1.000	0.03	0.42
24	0.998	0.15	0.95	0.998	0.05	0.66	0.988	0.46	1.93	0.998	0.07	0.70	0.999	0.22	1.15
25	0.998	0.08	0.69	0.998	0.05	0.61	0.990	0.50	2.01	0.998	0.05	0.60	1.000	0.21	1.12
26	0.999	0.10	0.77	0.998	0.04	0.55	0.974	0.72	2.41	0.999	0.05	0.61	0.999	0.04	0.48
27	0.999	0.14	0.91	0.998	0.10	0.90	0.929	1.41	3.36	0.999	0.04	0.52	0.999	0.35	1.44
28	0.999	0.05	0.55	0.999	0.04	0.58	0.996	0.17	1.15	0.999	0.04	0.54	0.999	0.08	0.71
29	0.998	0.20	1.11	0.999	0.03	0.47	0.974	0.71	2.39	0.998	0.09	0.79	0.999	0.62	1.93
30	0.998	0.08	0.68	0.999	0.03	0.52	0.962	0.72	2.40	0.998	0.04	0.54	0.999	0.09	0.74
31	1.000	0.03	0.43	1.000	0.00	0.19	0.998	0.07	0.74	1.000	0.00	0.11	1.000	0.02	0.33
32	1.000	0.01	0.23	0.999	0.02	0.41	0.994	0.26	1.43	1.000	0.01	0.23	1.000	0.01	0.29
33	0.998	0.10	0.76	0.999	0.04	0.54	0.979	0.56	2.11	0.998	0.05	0.58	0.999	0.04	0.52
34	0.999	0.08	0.69	1.000	0.04	0.60	0.999	0.09	0.83	0.999	0.06	0.67	1.000	0.17	1.02
35	1.000	0.02	0.34	0.999	0.03	0.49	0.995	0.23	1.37	1.000	0.01	0.30	1.000	0.04	0.48
36	0.999	0.27	1.28	0.998	0.11	0.93	0.978	1.02	2.86	0.999	0.05	0.58	0.999	1.15	2.63
37	0.997	0.54	1.79	0.997	0.10	0.91	0.992	0.49	1.99	0.997	0.13	0.95	1.000	0.38	1.51
38	0.999	0.54	1.80	0.998	0.18	1.20	0.974	1.22	3.12	0.999	0.03	0.45	1.000	0.24	1.19
39	0.997	1.07	2.53	0.947	1.65	3.63	0.931	2.48	4.46	0.997	0.04	0.53	0.998	0.20	1.10
40	0.999	0.17	1.02	0.999	0.07	0.75	0.998	1.42	3.37	0.999	0.04	0.51	0.999	0.33	1.41
41	0.998	0.09	0.75	0.999	0.07	0.74	0.998	0.04	0.60	0.998	0.05	0.61	0.999	0.04	0.47
42	0.998	0.16	0.96	0.997	0.05	0.65	0.986	0.26	1.44	0.998	0.05	0.59	1.000	0.11	0.81
43	0.999	0.09	0.75	0.999	0.07	0.76	0.994	0.36	1.69	0.999	0.03	0.49	0.999	0.13	0.88
44	0.998	0.46	1.65	0.997	0.16	1.12	0.976	1.12	3.00	0.998	0.07	0.70	0.999	0.45	1.65
45	0.996	0.55	1.82	0.998	0.03	0.51	0.939	1.29	3.21	0.996	0.12	0.91	0.999	0.15	0.96
46	0.998	0.65	1.97	0.999	0.05	0.65	0.998	0.11	0.92	0.998	0.14	0.98	0.999	0.05	0.57
47	0.998	0.14	0.92	0.998	0.03	0.48	0.982	0.51	2.01	0.998	0.07	0.69	0.998	0.06	0.59
48	0.996	0.13	0.88	0.998	0.02	0.41	0.952	0.89	2.68	0.996	0.06	0.66	0.999	0.03	0.41

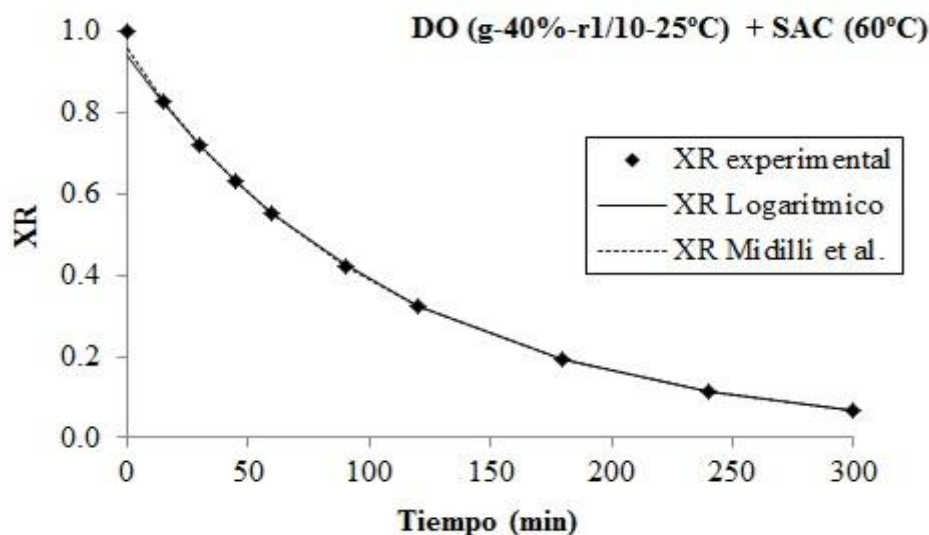
En las **Tablas 21a** y **21b** se observa que en el secado por aire de las nectarinas osmodeshidratadas, los valores de  $r$  estuvieron comprendidos entre 0.750556 y 0.999995, el rango para  $X^2$  fue de 0.000005 - 0.026241 y para  $RMSE$  fue de 0.000618 - 0.045818.

Las **Tablas 22a** y **22b** muestran que durante el secado por aire de las ciruelas osmodeshidratadas, los valores de  $r$  estuvieron comprendidos entre 0.820418 y 0.999993, el rango para  $X^2$  fue de 0.000015 - 0.090545 y para  $RMSE$  fue de 0.001040 - 0.073707. Estos resultados indican que los modelos estudiados describieron correctamente la cinética de secado por aire caliente de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas.

Al comparar de modo exhaustivo el comportamiento de los modelos, se podría destacar que los modelos Logarítmico y Midilli *et al.* fueron los que presentaron una mejor calidad de ajuste, manifestada por valores de  $r$  cercanos a la unidad y valores pequeños de  $X^2$  y  $RMSE$ .

De las 10 ecuaciones matemáticas ajustadas, era de esperar que el Modelo Wang & Singh presentara una menor calidad de ajuste por ser una ecuación de tipo no exponencial. Como así también, que los Modelos Logarítmico, Modelos de dos Términos, Exponencial de dos Términos, Verma *et al.* y Midilli *et al.* fueran los que presentaran una mayor calidad de ajuste, por ser ecuaciones exponenciales con más términos, que les permite una mejor representación de las curvas de secado de nectarinas y ciruelas, que son curvas exponenciales y asintóticas en el tiempo. Estos resultados son coincidentes a los obtenidos por Menges & Ertekin (2006), Sacilik & Elicin (2006) y Rayaguru *et al.* (2010).

La **Figura 21** muestra el ajuste de los modelos Logarítmico y Midilli *et al.* para uno de los 48 tratamientos ensayados en el secado de nectarinas osmodeshidratadas. En ella se observan los valores de humedad absoluta obtenidos experimentalmente y los predichos por los modelos mencionados en función del tiempo.



**Fig. 21.** Ajuste de los Modelos Logarítmico y Midilli *et al.* a los datos obtenidos de las nectarinas osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 40 % p/p; relación fruta a agente 1 a 10; 25 °C y secadas por aire a 60 °C.

Las **Tablas 23** y **24** presentan las constantes de ajuste significativas ( $p \leq 0.05$ ) correspondientes a los modelos seleccionados como los más aptos para describir las cinéticas de secado de las frutas. Las Tablas fueron subdivididas en **a)** y **b)** según los datos correspondan a los Modelos Logarítmico o Midilli *et al.*, respectivamente.

Para el modelo Logarítmico, la constante de ajuste  $A$  se encontró comprendida entre 0.739870 y 1.090110, mientras que la constante  $K$  tomó valores en el rango de 0.000117 y 0.000378, y por último,  $C$  tomó valores entre -0.049995 y 0.164590.

El análisis de la varianza determinó que la constante de ajuste  $A$  fue afectada por el tipo de agente osmótico ( $p < 0.0001$ ); por la temperatura de DO ( $p = 0.0312$ ) y por la interacción entre la concentración y la relación fruta/agente ( $p = 0.0004$ ). Por otra parte, la constante de secado  $K$  ( $\text{seg}^{-1}$ ) fue influenciada por el tipo de agente osmótico ( $p < 0.0001$ ); por la concentración ( $p = 0.0459$ ); por la temperatura de DO ( $p = 0.0018$ ); por la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ); por las interacciones del agente osmótico con la concentración ( $p = 0.0001$ ) y con la temperatura de SAC ( $p = 0.0003$ ); y por las interacciones de la variable concentración con la relación fruta/agente ( $p < 0.0001$ ) y con la temperatura de DO ( $p = 0.0329$ ). La interacción entre la relación fruta/agente y la temperatura de DO también fue significativa ( $p = 0.0089$ ). Por último, la constante  $C$  fue afectada por el tipo de agente osmótico ( $p < 0.0001$ ) (**Anexo 6**).

En la **Tabla 23a** se observa que las constantes  $A$  y  $K$  muestran un incremento en sus valores cuando se utilizó jarabe de glucosa como agente deshidratante y cuando la temperatura osmótica fue de 25 °C. Al mismo tiempo, estos aumentos de  $K$  se ven favorecidos por la concentración del 60% p/p y por el incremento de la temperatura de secado. La constante  $C$  toma valores superiores cuando las nectarinas fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol.

Para el modelo de Midilli *et al.*, la constante  $A$  tomó valores dentro del rango de 0.749777 y 1.093718, mientras que  $K$  se mantuvo entre 0.000011 y 0.003385,  $N$  tomó valores entre 0.664908 y 1.250895 y por último, la constante  $B$  estuvo comprendida entre -0.000004 y 0.000007.

A partir del análisis de la varianza se pudo determinar que la constante de ajuste  $A$  del modelo de Midilli *et al.* fue afectada por la concentración ( $p=0.0174$ ) y por la interacción entre el agente osmótico y la relación fruta/agente ( $p=0.0385$ ). Además, la constante  $K$  fue influenciada por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0001$ ); la concentración ( $p=0.0206$ ); la relación fruta/agente ( $p=0.0292$ ) y las interacciones entre el tipo de agente osmótico con la relación fruta/agente ( $p=0.0072$ ), con la concentración y con la temperatura de SAC ( $p=0.0341$ ). La constante  $N$  fue afectada por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0011$ ) y por la concentración ( $p=0.0375$ ) y finalmente,  $B$  fue influenciada por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0003$ ) (**Anexo 7**).

En la **Tabla 23b** se observa que los valores de las constantes de ajuste  $A$  y  $K$  fueron superiores cuando la concentración fue del 40% p/p, siendo este efecto más acentuado para  $K$  cuando la relación fruta/agente fue de 1 a 4. La constante  $N$  presentó valores superiores para la condición experimental de jarabe de glucosa al 60% p/p. Por último, cuando las nectarinas fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol,  $K$  y  $B$  arrojaron valores más altos comparados con los obtenidos en jarabe de glucosa.

**Tabla 23a.** Valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico en el proceso de deshidratación de nectarinas.

<b>Constantes del Modelo Logarítmico</b>							
<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>C</b>
<b>1</b>	0.994	1.860	-0.031	<b>25</b>	0.812	1.780	0.039
<b>2</b>	0.989	2.350	-0.011	<b>26</b>	0.813	2.140	0.011
<b>3</b>	0.994	3.280	-0.003	<b>27</b>	0.785	2.650	0.020
<b>4</b>	0.951	1.520	-0.009	<b>28</b>	0.836	1.680	0.056
<b>5</b>	0.988	1.840	-0.021	<b>29</b>	0.779	2.060	0.057
<b>6</b>	0.968	2.270	-0.017	<b>30</b>	0.818	2.560	0.056
<b>7</b>	0.936	1.470	0.002	<b>31</b>	0.934	1.530	0.036
<b>8</b>	0.889	1.860	0.009	<b>32</b>	0.835	1.900	0.023
<b>9</b>	0.935	3.170	-0.005	<b>33</b>	0.844	2.320	0.017
<b>10</b>	0.913	1.310	0.035	<b>34</b>	0.791	1.170	0.103
<b>11</b>	0.907	1.540	0.015	<b>35</b>	0.771	1.650	0.039
<b>12</b>	0.905	2.130	-0.009	<b>36</b>	0.746	2.180	0.033
<b>13</b>	1.000	1.330	-0.050	<b>37</b>	0.740	1.310	0.165
<b>14</b>	0.950	2.030	-0.019	<b>38</b>	0.767	1.630	0.101
<b>15</b>	0.893	3.200	-0.002	<b>39</b>	0.761	1.630	0.087
<b>16</b>	0.849	1.880	0.007	<b>40</b>	0.804	1.570	0.031
<b>17</b>	0.917	2.190	-0.005	<b>41</b>	0.757	1.800	0.035
<b>18</b>	0.980	3.310	-0.002	<b>42</b>	0.783	2.010	0.021
<b>19</b>	0.999	2.230	-0.006	<b>43</b>	0.823	1.770	0.016
<b>20</b>	1.035	2.540	-0.005	<b>44</b>	0.898	1.990	-0.023
<b>21</b>	1.090	3.780	-0.002	<b>45</b>	0.870	2.750	-0.008
<b>22</b>	1.062	2.090	-0.009	<b>46</b>	0.774	1.600	0.090
<b>23</b>	0.994	1.920	-0.038	<b>47</b>	0.809	1.850	0.066
<b>24</b>	0.979	3.170	-0.003	<b>48</b>	0.804	1.860	0.032



**Tabla 23b.** Valores de las constantes significativas del Modelo de Midilli *et al.* en el proceso de deshidratación de nectarinas.

<b>Constantes del Modelo de Midilli <i>et al.</i></b>									
<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>N</b>	<b>B (x10<sup>-07</sup>)</b>	<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>N</b>	<b>B (x10<sup>-07</sup>)</b>
<b>1</b>	0.876	35.00	1.188	-0.100	<b>25</b>	1.002	0.163	0.753	7.501
<b>2</b>	0.889	56.25	1.159	13.60	<b>26</b>	1.032	0.238	0.737	-8.697
<b>3</b>	0.999	6.687	0.907	-0.378	<b>27</b>	0.968	0.178	0.788	2.695
<b>4</b>	0.972	2.540	0.945	-8.734	<b>28</b>	1.094	0.255	0.698	-4.873
<b>5</b>	1.034	4.463	0.907	-0.161	<b>29</b>	1.044	0.282	0.707	7.182
<b>6</b>	0.922	1.403	1.056	-6.245	<b>30</b>	1.093	0.281	0.728	0.154
<b>7</b>	0.958	2.140	0.959	-3.296	<b>31</b>	1.023	3.857	0.895	4.170
<b>8</b>	1.062	0.150	0.773	-0.124	<b>32</b>	1.036	0.190	0.747	-7.281
<b>9</b>	0.911	2.452	1.030	-2.220	<b>33</b>	1.037	0.178	0.776	-2.499
<b>10</b>	0.992	3.214	0.898	99.60	<b>34</b>	0.821	10.80	1.251	0.662
<b>11</b>	1.055	0.113	0.782	-0.154	<b>35</b>	0.750	38.29	1.154	0.273
<b>12</b>	0.959	4.894	0.911	-8.728	<b>36</b>	0.774	2.142	0.995	0.167
<b>13</b>	0.992	2.765	0.926	-0.275	<b>37</b>	1.026	0.146	0.716	0.172
<b>14</b>	0.895	1.076	1.073	-5.833	<b>38</b>	0.950	7.702	0.816	0.242
<b>15</b>	0.832	1.414	1.091	59.90	<b>39</b>	0.829	1.188	1.022	0.391
<b>16</b>	0.907	4.269	0.910	-2.054	<b>40</b>	1.057	0.338	0.665	-0.190
<b>17</b>	0.907	1.983	1.012	-2.103	<b>41</b>	0.872	7.412	0.841	5.141
<b>18</b>	0.915	1.533	1.086	16.00	<b>42</b>	0.760	86.49	1.088	0.145
<b>19</b>	0.911	59.01	1.147	3.240	<b>43</b>	0.994	0.161	0.759	-0.114
<b>20</b>	0.932	61.56	1.157	2.245	<b>44</b>	0.808	52.72	1.149	-4.687
<b>21</b>	0.945	71.42	1.189	1.390	<b>45</b>	0.830	1.668	1.057	-2.973
<b>22</b>	0.971	56.93	1.144	2.710	<b>46</b>	0.901	3.539	0.900	0.285
<b>23</b>	0.882	48.25	1.157	-0.107	<b>47</b>	1.033	0.185	0.734	0.236
<b>24</b>	0.891	1.060	1.123	58.30	<b>48</b>	0.800	93.12	1.070	0.192

Para el modelo Logarítmico, la constante de ajuste A se encontró comprendida entre 0.762412 y 1.157926, mientras que la constante K tomó valores en el rango de 0.000072 y 0.000265, y por último, C tomó valores entre -0.197257 y 0.104992.

El análisis de la varianza determinó que la constante de ajuste  $A$  fue afectada por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0012$ ); por la concentración ( $p=0.0002$ ); por la temperatura de DO ( $p=0.0033$ ); por la temperatura de SAC ( $p=0.0001$ ); por la interacción del agente osmótico y la concentración ( $p=0.0039$ ) y por las interacciones entre la variable temperatura de DO con el tipo de agente osmótico ( $p=0.0131$ ), con la concentración ( $p<0.0001$ ) y con la relación fruta/agente ( $p=0.0452$ ). Por otra parte, la constante desecado  $K$  ( $\text{seg}^{-1}$ ) fue influenciada por la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ). Por último, la constante  $C$  fue afectada por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0212$ ); por la concentración ( $p=0.0128$ ); por la temperatura de SAC ( $p=0.0161$ ) y por la interacción entre el tipo de agente osmótico y la temperatura de SAC ( $p=0.0363$ ) (**Anexo 8**).

En la **Tabla 24a** se observa que la constante  $A$  muestra un incremento en sus valores cuando las ciruelas fueron osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, temperatura osmótica de 40 °C y luego secadas por aire a 60 °C. La constante  $C$  toma valores superiores cuando las ciruelas fueron osmodeshidratadas en sorbitol al 60% p/p. Al mismo tiempo, los valores de  $K$  y de  $C$  se ven favorecidos por el incremento de la temperatura de secado (80 °C).

Para el modelo de Midilli *et al.*, la constante  $A$  tomó valores dentro del rango de 0.687144 y 1.280851, mientras que  $K$  se mantuvo entre 0.000001 y 0.013205,  $N$  tomó valores entre 0.458610 y 1.326325 y por último, la constante  $B$  estuvo comprendida entre -0.000016 y 0.000006.

A partir del análisis de la varianza se pudo determinar que la constante de ajuste  $A$  del modelo de Midilli *et al.* fue afectada por la concentración del agente osmótico ( $p=0.0215$ ). Además, la constante  $K$  fue influenciada por la relación fruta/agente ( $p=0.0261$ ) y por la interacción entre el tipo de agente y la temperatura de DO ( $p=0.0391$ ). La constante  $N$  fue afectada por la relación fruta/agente ( $p=0.0151$ ) y por la interacción entre el tipo de agente osmótico y la temperatura de DO ( $p=0.0042$ ). Por último, la constante de ajuste  $B$  fue afectada por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0292$ ); la concentración ( $p=0.0281$ ); la relación fruta/agente ( $p=0.0048$ ); por la temperatura de SAC ( $p=0.0212$ ) y por las interacciones del tipo de agente osmótico con la relación fruta/agente ( $p=0.0433$ ) y con la temperatura de DO ( $p=0.0120$ ) (**Anexo 9**).

En la **Tabla 24b** se observa que los valores de las constantes de ajuste  $A$  fueron superiores cuando la concentración fue del 40% p/p. La constante  $K$  fue mayor cuando la relación fruta/agente fue de 1 a 4, mientras que  $N$  tomó valores superiores cuando la

relación fruta/agente fue de 1 a 10. Por último, cuando las nectarinas fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60% p/p, relación fruta/agente de 1 a 10 y temperatura de SAC de 80 °C, la constante  $K$  arrojó valores mas altos.

**Tabla 24a.** Valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico en el proceso de deshidratación de ciruelas.

<b>Constantes del Modelo Logarítmico</b>							
<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>C</b>
<b>1</b>	1.158	0.746	-0.187	<b>25</b>	1.002	0.886	-0.147
<b>2</b>	1.075	1.295	-0.046	<b>26</b>	0.921	1.844	-0.003
<b>3</b>	1.012	1.656	-0.012	<b>27</b>	0.896	2.325	0.001
<b>4</b>	1.145	0.716	-0.197	<b>28</b>	0.976	1.403	0.012
<b>5</b>	1.024	0.923	-0.095	<b>29</b>	0.901	1.799	0.016
<b>6</b>	0.901	1.354	-0.017	<b>30</b>	1.005	2.365	-0.005
<b>7</b>	1.111	0.913	-0.116	<b>31</b>	1.011	1.358	0.005
<b>8</b>	1.131	1.952	0.011	<b>32</b>	0.974	1.282	-0.033
<b>9</b>	1.001	2.149	0.013	<b>33</b>	0.938	1.936	0.026
<b>10</b>	1.036	0.987	-0.073	<b>34</b>	0.974	1.093	0.023
<b>11</b>	1.023	1.519	0.002	<b>35</b>	0.956	1.289	-0.008
<b>12</b>	1.080	2.383	0.001	<b>36</b>	0.856	1.394	-0.023
<b>13</b>	1.001	1.140	-0.018	<b>37</b>	0.818	1.667	0.105
<b>14</b>	0.886	1.329	0.001	<b>38</b>	0.799	1.201	-0.012
<b>15</b>	0.762	1.759	-0.012	<b>39</b>	0.763	9.340	-0.101
<b>16</b>	1.070	0.732	-0.136	<b>40</b>	1.053	1.180	0.014
<b>17</b>	0.934	1.289	0.009	<b>41</b>	1.019	1.590	0.067
<b>18</b>	1.004	1.858	0.003	<b>42</b>	1.072	2.389	0.024
<b>19</b>	0.984	1.194	0.014	<b>43</b>	0.923	1.072	-0.024
<b>20</b>	0.896	1.643	-0.016	<b>44</b>	0.830	1.151	-0.037
<b>21</b>	0.912	2.385	-0.004	<b>45</b>	0.863	2.352	0.042
<b>22</b>	1.001	1.054	-0.009	<b>46</b>	1.147	1.225	-0.022
<b>23</b>	0.937	1.189	0.020	<b>47</b>	0.931	1.930	0.036
<b>24</b>	0.881	1.645	0.047	<b>48</b>	0.966	2.651	0.037

**Tabla 24b.** Valores de las constantes significativas del Modelo de Midilli *et al.* en el proceso de deshidratación de ciruelas.

<b>Constantes del Modelo de Midilli <i>et al.</i></b>									
<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>N</b>	<b>B (x10<sup>-07</sup>)</b>	<b>N°</b>	<b>A</b>	<b>K (x10<sup>-04</sup>)</b>	<b>N</b>	<b>B (x10<sup>-07</sup>)</b>
<b>1</b>	1.051	5.761	0.789	-94.03	<b>25</b>	1.110	64.45	0.553	-115.5
<b>2</b>	1.097	4.028	0.881	-32.96	<b>26</b>	1.014	6.847	0.859	-10.60
<b>3</b>	1.132	9.534	0.811	-23.19	<b>27</b>	0.864	1.375	1.057	2.595
<b>4</b>	1.261	126.6	0.459	-163.2	<b>28</b>	0.952	0.659	1.081	13.09
<b>5</b>	1.070	15.14	0.704	-79.18	<b>29</b>	1.189	35.68	0.676	-19.95
<b>6</b>	1.281	111.4	0.529	-64.90	<b>30</b>	0.944	1.037	1.092	0.691
<b>7</b>	0.986	0.705	1.039	-30.89	<b>31</b>	1.032	1.864	0.965	-2.145
<b>8</b>	1.105	1.184	1.053	8.765	<b>32</b>	1.026	5.726	0.841	-31.07
<b>9</b>	0.991	1.595	1.031	8.191	<b>33</b>	1.001	3.572	0.929	6.963
<b>10</b>	0.964	0.991	1.006	-23.27	<b>34</b>	1.092	6.801	0.799	-23.86
<b>11</b>	0.989	0.764	1.075	7.812	<b>35</b>	0.962	1.707	0.970	-6.204
<b>12</b>	1.036	1.347	1.063	3.124	<b>36</b>	0.745	0.110	1.281	10.12
<b>13</b>	1.119	12.11	0.745	-45.44	<b>37</b>	0.858	0.426	1.134	56.64
<b>14</b>	0.910	2.166	0.947	-5.340	<b>38</b>	0.886	9.525	0.777	-28.81
<b>15</b>	0.687	0.349	1.179	2.872	<b>39</b>	0.923	132.0	0.487	-77.76
<b>16</b>	1.071	19.03	0.654	-106.7	<b>40</b>	1.129	3.750	0.872	-15.44
<b>17</b>	0.947	1.367	0.993	3.042	<b>41</b>	1.017	0.458	1.128	40.76
<b>18</b>	1.071	4.438	0.905	-5.556	<b>42</b>	0.928	0.160	1.290	25.86
<b>19</b>	0.964	0.535	1.086	15.75	<b>43</b>	0.926	1.997	0.935	-16.53
<b>20</b>	0.840	0.720	1.092	-1.158	<b>44</b>	0.848	4.007	0.869	-26.71
<b>21</b>	0.831	0.639	1.146	2.712	<b>45</b>	1.090	19.67	0.761	7.919
<b>22</b>	1.123	12.01	0.735	-47.67	<b>46</b>	1.005	0.064	1.326	29.03
<b>23</b>	1.011	3.638	0.876	-9.812	<b>47</b>	1.034	5.185	0.887	8.906
<b>24</b>	0.903	0.699	1.099	23.49	<b>48</b>	0.972	2.012	1.023	20.82

▪ **Optimización del proceso**

En la **Tablas 25 y 26** se establece el tiempo necesario, para cada tratamiento de secado por métodos combinados (DO+SAC), para alcanzar una humedad del 25% en

base húmeda como reglamenta el Código Alimentario Argentino para la comercialización de las frutas deshidratadas.

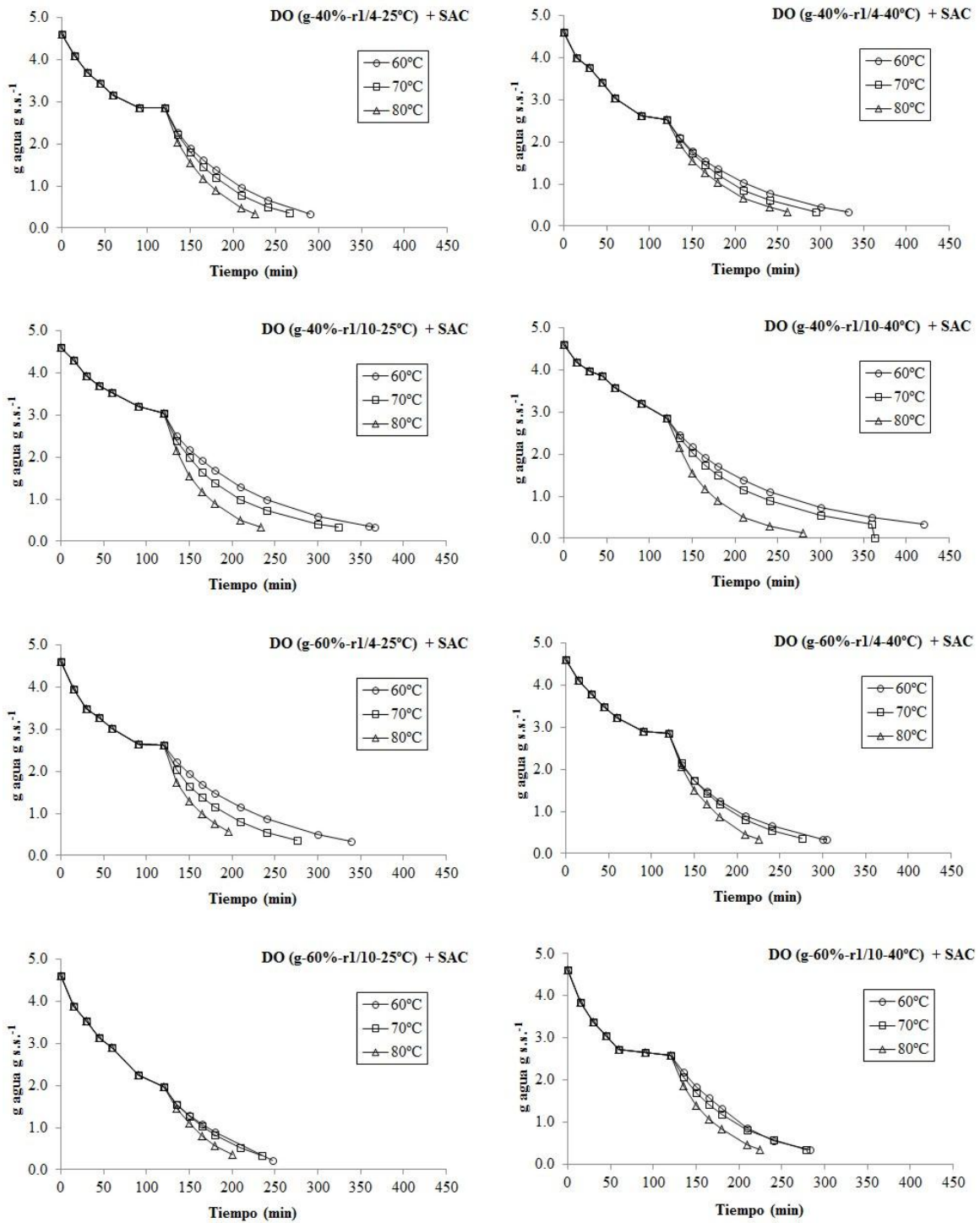
**Tabla 25.** Ajuste de la duración del proceso (DO+SAC) para alcanzar la humedad de comercialización en nectarinas.

Tratamientos osmóticos	Tiempo (min)		
	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	289.38	265.41	225.71
g-40%-r1/4-40 °C	332.27	294.19	261.07
g-40%-r1/10-25 °C	366.42	324.37	233.07
g-40%-r1/10-40 °C	420.00	363.12	278.83
g-60%-r1/4-25 °C	339.48	276.30	195.66
g-60%-r1/4-40 °C	304.64	275.85	225.57
g-60%-r1/10-25 °C	247.88	234.42	199.87
g-60%-r1/10-40 °C	282.50	277.91	224.36
s-40%-r1/4-25 °C	347.70	284.82	258.28
s-40%-r1/4-40 °C	365.61	319.44	286.86
s-40%-r1/10-25 °C	373.23	302.94	271.47
s-40%-r1/10-40 °C	420.00	326.85	261.15
s-60%-r1/4-25 °C	420.00	409.82	387.79
s-60%-r1/4-40 °C	322.59	286.57	250.71
s-60%-r1/10-25 °C	278.56	257.83	215.90
s-60%-r1/10-40 °C	369.09	318.26	271.41

**Tabla 26.** Ajuste de la duración del proceso (DO+SAC) para alcanzar la humedad de comercialización en ciruelas.

Tratamientos osmóticos	Tiempo (min)		
	60 °C	70 °C	80 °C
g-40%-r1/4-25 °C	405.91	364.15	368.12
g-40%-r1/4-40 °C	416.74	405.35	385.57
g-40%-r1/10-25 °C	381.34	301.15	275.01
g-40%-r1/10-40 °C	387.97	342.58	266.93
g-60%-r1/4-25 °C	388.23	348.98	266.79
g-60%-r1/4-40 °C	410.47	348.47	288.31
g-60%-r1/10-25 °C	391.26	279.50	237.42
g-60%-r1/10-40 °C	400.89	384.41	306.29
s-40%-r1/4-25 °C	347.83	278.29	241.31
s-40%-r1/4-40 °C	351.55	305.98	245.71
s-40%-r1/10-25 °C	360.04	340.49	304.85
s-40%-r1/10-40 °C	420.00	344.28	308.66
s-60%-r1/4-25 °C	390.28	334.68	316.62
s-60%-r1/4-40 °C	392.09	367.00	367.00
s-60%-r1/10-25 °C	334.32	294.18	234.67
s-60%-r1/10-40 °C	345.39	296.93	237.46

En las **Figuras 22** y **23** se visualizan las curvas experimentales del secado por aire a 60, 70 u 80 °C de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa y sorbitol en función de los tiempos ajustados para alcanzar la humedad del 25% en b.h., **Figuras 22-23a** y **Figuras 22-23b**, respectivamente



**Fig. 22a.** Cinéticas de secado graficadas hasta alcanzar la humedad de comercialización en nectarinas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa.

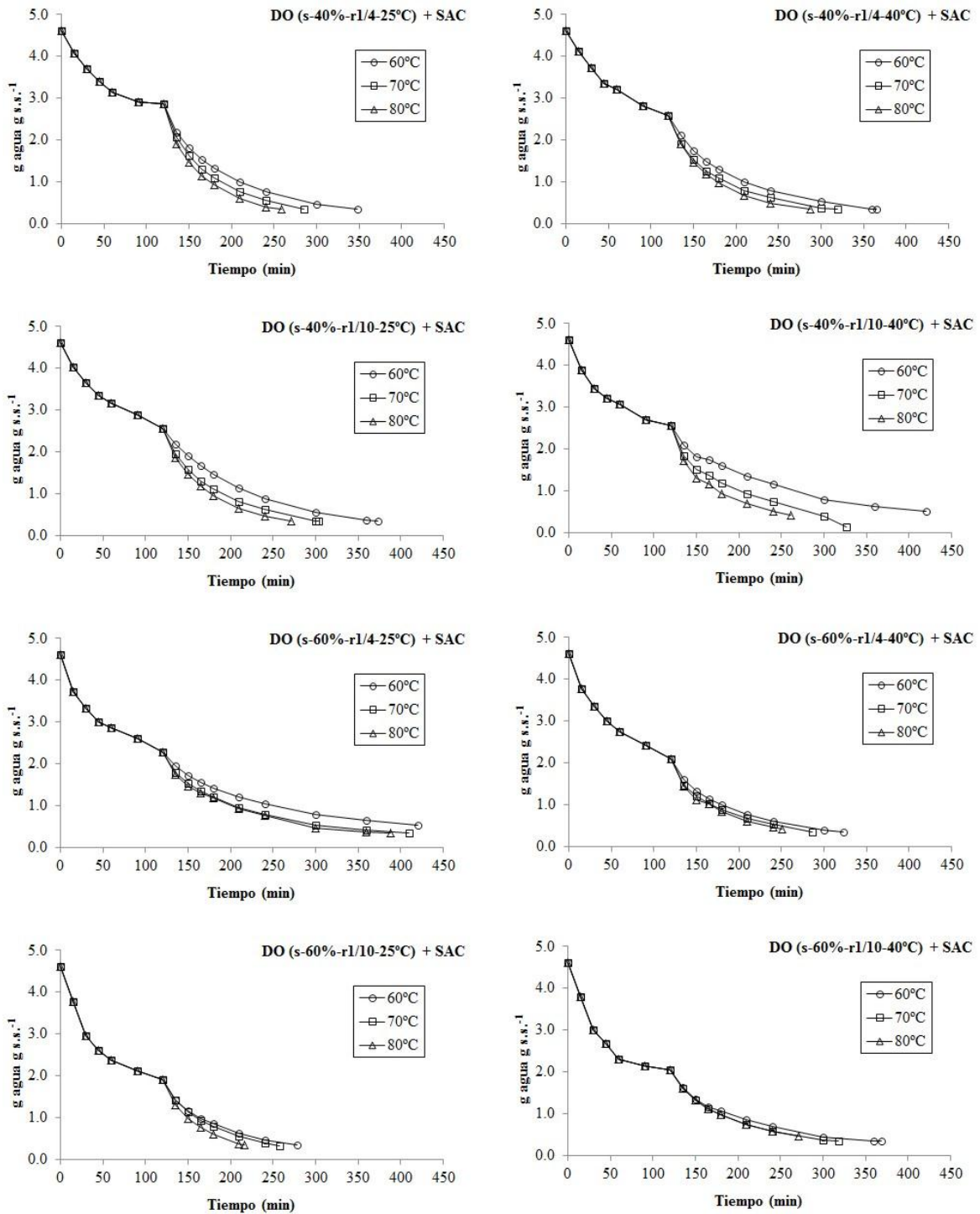
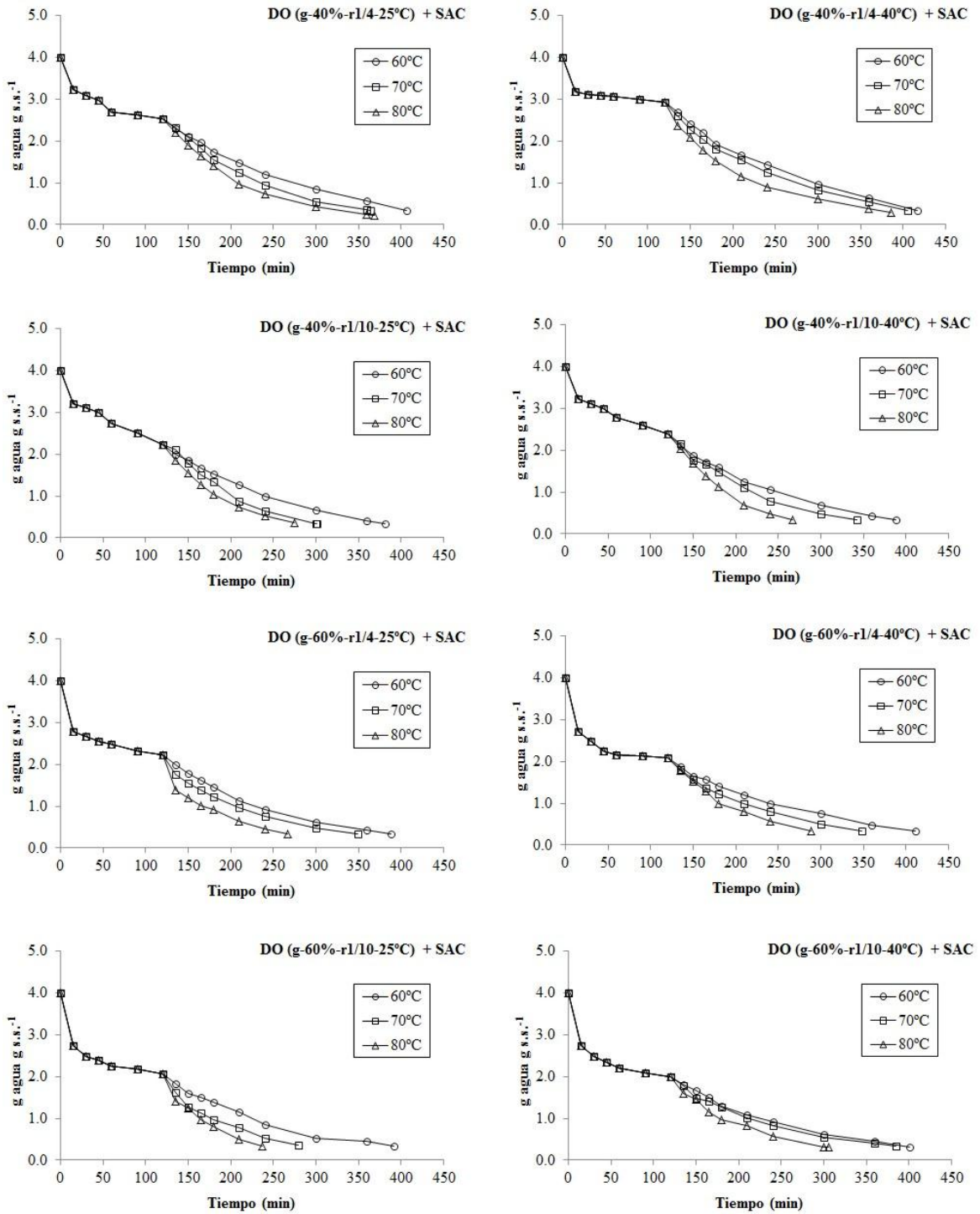
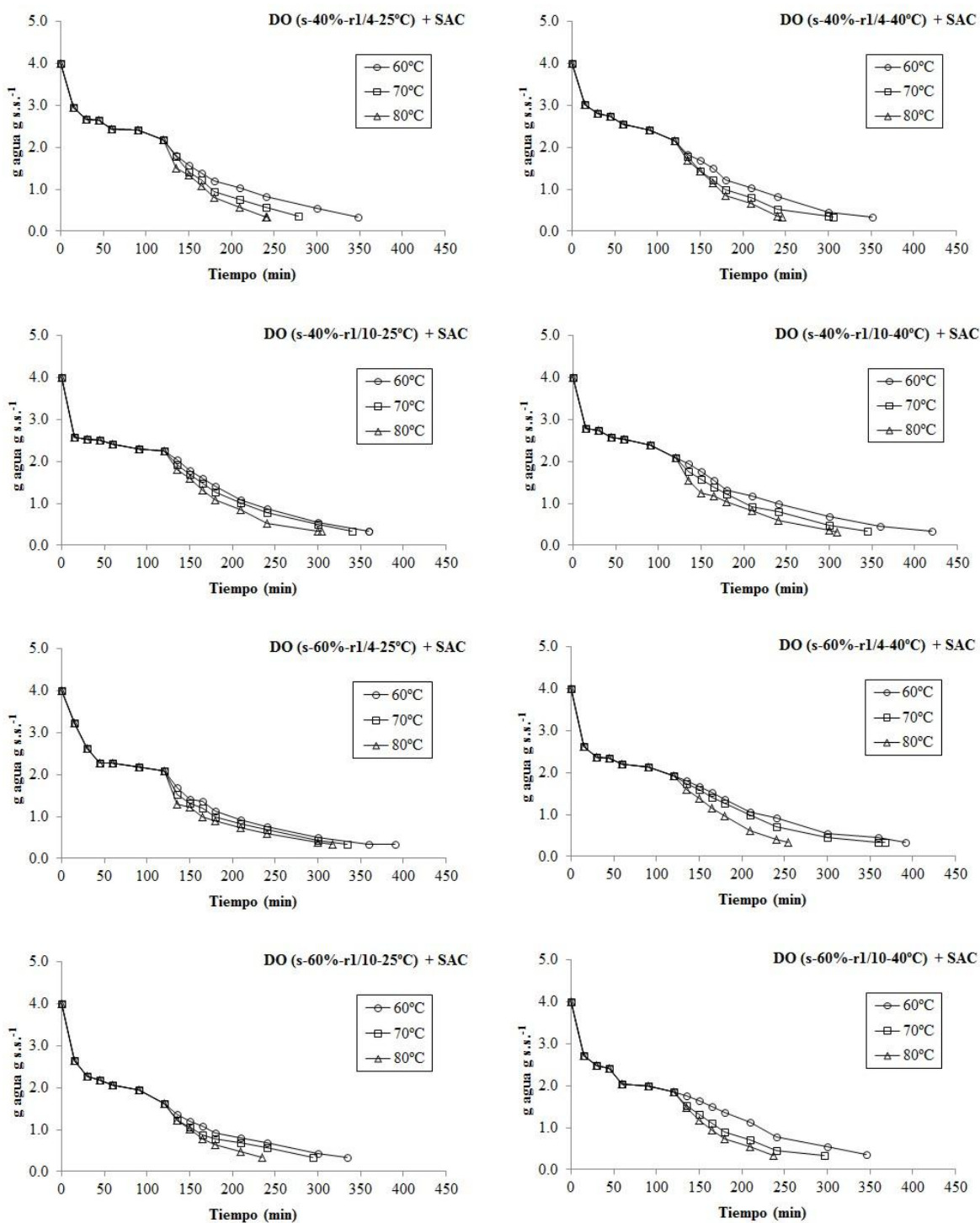


Fig. 22b. Cinéticas de secado graficadas hasta alcanzar la humedad de comercialización en nectarinas osmodeshidratadas en solución de sorbitol.





**Fig. 23a.** Cinéticas de secado graficadas hasta alcanzar la humedad de comercialización en ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa.



**Fig. 23b.** Cinéticas de secado graficadas hasta alcanzar la humedad de comercialización en ciruelas osmodeshidratadas en solución de sorbitol.

En la **Tabla 25** se observa que cuando las nectarinas fueron osmodeshidratadas durante 120 minutos en jarabe de glucosa al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, temperatura osmótica de 25 °C, seguido del secado por aire a 80 °C durante 75.66

minutos, fue el tratamiento donde se alcanzó una mayor optimización del proceso en función de un mínimo tiempo total (**Figura 22a** y **Figura 22b**).

En la **Tabla 26** se aprecia que cuando las ciruelas fueron osmodeshidratadas durante 120 minutos en sorbitol al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, temperatura osmótica de 25 °C, seguido del secado por aire a 80 °C durante 114.67 minutos, fue el tratamiento donde se alcanzó una mayor optimización del proceso (**Figura 23a** y **Figura 23b**).

Tanto en las nectarinas como en las ciruelas, para la totalidad de las condiciones, la optimización del proceso dependió de la temperatura de secado por aire. Donde para una misma condición osmótica, la reducción del tiempo fue proporcional al incremento de la temperatura de secado. Estos resultados son coincidentes con los publicados por Keqing (2004) para la optimización del secado por aire caliente de peras y por Ramaswamy & Van Nieuwenhuijzen (2002), Wang & Chao (2002), Salicik & Elicin (2006) en el secado por aire de rodajas de manzanas.

La optimización permitiría disminuir la duración del proceso y por lo tanto reducir el costo, mientras que al mismo tiempo se logra disminuir la exposición de la fruta a las condiciones de secado, de tiempo y temperatura (Geankoplis, 1998; Fito *et al.*, 2001; Sanjuán *et al.*, 2003; Curcio, 2010), logrando un producto seguro que cumple con la reglamentación establecida por el CAA.

## **Conclusión**

Se observa que el grado de deshidratación en las nectarinas y ciruelas aumenta proporcionalmente con el incremento de la temperatura del aire de secado, estando los resultados condicionados por el tratamiento osmótico. Los modelos matemáticos utilizados presentaron una alta calidad de ajuste, siendo las ecuaciones Logarítmica y de Midilli *et al.* recomendables para la predicción de las condiciones de proceso a escala industrial por ser las que mejor describieron las cinéticas de secado.

Además, el aumento de la temperatura del aire acrecentó la velocidad de secado y los valores del coeficiente efectivo de difusión en ambos frutos, debido a una mayor difusión del agua desde el interior hacia la superficie, que es evidenciado por el incremento de la velocidad de secado  $K$  del modelo Logarítmico.

Las variables del tratamiento osmótico incidieron sobre los valores de las constantes de ajuste de los modelos Logarítmico y Midilli *et al.*, como también sobre el tiempo del proceso para garantizar la seguridad del producto, siendo en estos casos, la temperatura de secado la variable dominante para la optimización.

## Nomenclatura

$a_w$	Actividad de agua
$b.h.$	Base húmeda (g H <sub>2</sub> O 100 g muestra <sup>-1</sup> )
$DO$	Deshidratación osmótica
$D_w$	Coefficiente de difusión de agua (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
$K$	Constante de tasa de secado (s <sup>-1</sup> )
$l$	Semiespesor (m)
$N$	Número de observaciones
$n$	Número de constantes de los modelos
$N; A; C; B; K_1; G$	Constantes experimentales de los modelos
$r$	Coefficiente de correlación
$RMSE$	Raíz de los cuadrados medios del error
$s.s.$	Sólido seco
$SAC$	Secado por aire caliente
$t$	Tiempo (s; min)
$X$	(g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )
$X_\infty$	Humedad en el equilibrio (g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )
$X_0$	Humedad inicial (g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )
$X^2$	Chi-cuadrado reducido
$X_c$	Humedad crítica (g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )
$XR$	Razón de humedad
$XR_{exp}$	Razón de humedad experimental
$XR_{pre}$	Razón de humedad predicha o teórica

## **Bibliografía**

- Akbulut, A. & Durmus, A. (2009). Thin layer solar drying and mathematical modeling of mulberry. *International Journal of Energy Research*, vol. 33, pp. 687-695.
- Akpınar, E. K., Bicer, Y. & Yildiz, C. (2003a). Thin layer drying of red pepper. *Journals of Food Engineering*, vol. 59(1), pp. 99-104.
- Akpınar, E. K., Sarsılmaz, C. & Yildiz, C. (2004). Mathematical modelling of a thin layer drying of apricots in a solar energized rotary dryer. *International Journal of Energy Research*, vol. 28, pp. 739-752
- Akpınar, E., Midilli, A. & Bicer, Y. (2003b). Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management*, vol. 44(10), pp. 1689-1705.
- AOAC (1980). Official Methods of Analysis. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Barat, J. M., Chiralt, A. & Fito, P. (2001). Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International*, vol. 7, pp. 451-456.
- Barbosa Cánovas, G. V. & Vega Mercado, H. (2000). Deshidratación de Alimentos, Zaragoza, España, Ed. ACRIBIA S.A., 296.
- CAA, (2001). Código Alimentario Argentino, Capítulo XI, Alimentos Vegetales, Frutos, Artículo 903.
- Cheftel, J. C. & Cheftel, H. (1992). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos, Zaragoza, España, Ed. ACRIBIA S.A.
- Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Hawlader, M. N. A., Chou, S. K. & Ho, J. C. (2001). Batch drying of banana pieces-effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, vol. 34, pp. 721-731.
- Crank, J. (1975). The Mathematics of diffusion, 2nd Ed., pp.47-49, Oxford University Press, Oxford, England.
- Curcio, S. (2010). A multiphase model to analyze transport phenomena in food drying processes. *Drying Technology*, vol. 28, pp. 773-785.

- Dandamrongrak, R., Young, G. & Mason, R. (2002). Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering*, vol. 55, pp. 139-146.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Doymaz, I. (2004). Effect of dipping treatment on air drying of plums. *Journal of Food Engineering*, vol. 64, pp. 465-470.
- Doymaz, I. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, vol. 69, pp. 275-279.
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Gaspareto, O. C. P. & Oliveira, E. L. (2006). Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 77, pp. 188-193.
- Fito, P., Andrés, A. M., Barat, J. M. & Albors, A. M. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Geankoplis, C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias, Cap. 9 Secado de materiales de proceso, 3ra ed., Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México.
- Ghazanfari, A., Emami, S., Tabil, L. G. & Panigrahi, S. (2006). Thin-layer drying of flax fiber: II. Modeling drying process using semi-theoretical and empirical models. *Drying technology*, vol. 24(12), pp. 1637-1642.
- Kaleta, A. & Górnicki, K. (2010). Evaluation of drying models of apple (var. *McIntosh*) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 45, pp. 891-898.
- Keqing, D. Xue (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Ait Mohamed, L. & Agorram, B. (2004). Characteristic drying curve and mathematical modeling of thin layer solar drying of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Process Engineering*, vol. 27, pp. 103-117.
- López, R., De Ita, A. & Vaca, M. (2009). Drying of prickly pear cactus cladodes (*Opuntia ficus indica*) in a forced convection tunnel. *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 2119-2126.

- Maskan, A., Kaya, S. & Maskan, M. (2002). Hot air and sun drying of grape leather (*pestil*). *Journal of Food Engineering*, vol. 4(1), pp. 81-88.
- Mazza, G. & Le Maguer, M. (1980). Dehydration of onion: Some theoretical and practical considerations. *Journal Food Technology*, vol. 15, pp. 181-194.
- McMinn, W. A. M., McLoughlin & Magee, T. R. A. (2005). Thin-layer modeling of microwave, microwave-conective, and microwave-vacuum drying of pharmaceutical powders. *Drying Technology*, vol. 23(3), pp. 513-532.
- Menges, H. O. & Ertekin, C. (2006). Mathematical modelling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, vol. 77(1), pp. 119-125.
- Midilli, A., Kucuk, H. & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, vol. 20(7), pp. 1503-1513.
- Pavkov, I., Babić, Lj., Babić, M., Radojčin, M., Stojanović, Č. (2011). Effects of osmotic pre-treatment on convective drying kinetics of nectarines halves (*Pyrus persica* L.). *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, vol. 15(4), pp. 217-222.
- Quintero-Chávez, R., Quintero-Ramos, A., Jiménez-Castro, J., Barnard, J., Márquez-Meléndez, R., Zazueta-Morales, J. & Balandrán-Quintana, R. (2012). Modeling of total soluble solid and NaCl uptake during osmotic treatment of bell peppers under different infusion pressures. *Food Bioprocess Technology*, vol. 5, pp. 184-192.
- Ramaswamy, H. S. & Van Nieuwenhuijzen, N. H. (2002). Evaluation and modeling of two-stage osmo-convective drying of Apple slices. *Drying Technology*, vol. 20(3), pp. 651-667.
- Rayaguru, K., Routray, W. & Mohanty, S. N. (2010). Mathematical modeling and quality parameters of air-dried betel leaf (*Piper beetle* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 35, pp. 394-401.
- Riva, M., Campolongo, S., Leva, A. A., Maestrelli, A. & Torreggiani, D. (2005). Structure-property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*, vol. 38, pp. 533-542.
- Salcik, K. & Elicin, A. K. (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, vol. 73, pp. 281-289.
- Sander, A., Prlić Kardum, J. & Glasnović, A. (2010). Drying of solids: estimation of the mathematical model parameter. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 88, pp. 822-829.



- Sanjuán, N., Lozano, M., García-Pascual, P. & Mulet, A. (2003). Dehydration kinetics of red pepper (*Capsicum annuum* L var *Jaranda*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 83, pp. 697-701.
- Sankat, C. K. & Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, vol. 37, pp. 517-525.
- Senadeera, W., Bhandari, B. R., Young, G. & Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 58, pp. 277-283.
- Simal, S., Deyá, E., Frau, M. & Roselló C. (1997). Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apples cubes. *Journal of Food Engineering*, vol. 33, pp. 139-150.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C. & Roselló, C. (2005). Use of exponential models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, vol. 66, pp. 323-328.
- Togrul, I. T. (2010). Modelling of heat and moisture transport during drying black grapes. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 45, pp. 1146-1152.
- Üretir, G., Özilgen, M. & Katnas, S. (1996). Effects of velocity and temperature of air on the drying rate constants of apple cubes. *Journal of Food Engineering*, vol. 30, pp. 339-350.
- Van Arsdel, W. B., Copley, M. J. & Morgan, A. I. (1973). Food Dehydration, 2nd Edition, Vol. 1, Principles, AVI, Westport.
- Vega, A., Fito, P., Andrés, A. & Lemus R. (2007). Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. *Lamuyo*). *Journal of Food Engineering*, vol. 9, pp. 1460-1466.
- Velic, D., Planinic, M., Tomas, S. & Belic, M. (2004). Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 64(1), pp. 97-102.
- Wang, J. & Xi, Y. S. (2005). Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. *Journal of Food Engineering*, vol. 68, pp. 505-511.
- Wang, J. and Chao, Y. (2002). Drying characteristics of irradiated apple slices. *Journal of Food Engineering*, vol. 52(1), pp. 83-88.

- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. & Hu, X. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, vol. 40, pp. 39-46.
- Wilkinson, L. (1990). SYSTAT: The System for Statistics: Statistics, Evanston: SYSTAT 2007, Inc. version N° 12.02.00.
- Yaldiz, O. & Ertekin, C. (2001). Thin-layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, vol. 19(3-4), pp. 583-597.

## *CAPÍTULO 3:*

### *Parámetros de calidad de frutos de carozo deshidratados*



*“Todos somos muy ignorantes. Lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas”.*

*Albert Einstein*

## **Resumen**

El objetivo de este capítulo fue analizar la influencia del proceso de secado por métodos combinados sobre los parámetros de calidad, para hallar las condiciones óptimas que permitan conservar y mantener las propiedades organolépticas del fruto. Porciones de nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire fueron evaluadas en cuanto al color, la textura y la capacidad de rehidratación. Además, en las ciruelas se evaluó el contenido de antioxidantes (Fenoles Totales y Flavonoides). Los parámetros  $L$ ,  $a$  y  $b$  del color fueron determinados con el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen, además se evaluó el efecto del almacenamiento sobre la variación total del color. Por otra parte, se analizó la influencia de las condiciones de deshidratación sobre la Firmeza y la capacidad de rehidratación. Las curvas de absorción de agua en función del tiempo fueron modeladas mediante las ecuaciones de Peleg y de Weibull. La estabilidad de los frutos fue comprobada mediante el almacenamiento. También se compararon los resultados dados por el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen para evaluar el color.

## **Introducción**

En la deshidratación de alimentos, mantener las características sensoriales del producto es un factor determinante, puesto que durante el proceso se modifican sustancialmente algunas propiedades físicas y químicas del fruto. Entre los cambios físicos están el encogimiento, el endurecimiento y la termoplasticidad; provocando cambios en la forma del producto. Los cambios químicos influyen en lo referente al color, sabor y viscosidad, principalmente. También, puede ocurrir la degradación de nutrientes como vitaminas y antioxidantes; además, estas modificaciones pueden incrementarse durante el almacenamiento (Ruíz Díaz *et al.*, 2003; Mandala *et al.*, 2005; Mayor *et al.*, 2005; Riva *et al.*, 2005; Timoumi *et al.*, 2007; Atarés *et al.*, 2009). El manejo de la operación de secado y la aplicación de tratamientos previos al proceso es fundamental para evitar el deterioro y mantener las características sensoriales y el valor nutritivo del producto (Lewicki, 1998; Keqing, 2004).

La textura es el resultado de interacciones complejas entre los componentes de los alimentos a un nivel microestructural y a niveles estructurales más altos como, por ejemplo, la estructura del tejido (la orientación celular, la porosidad) y los diferentes tipos de tejidos u órganos que constituyen los materiales alimenticios (Mayor *et al.*, 2007). La textura de un alimento es una propiedad que involucra a los atributos reológicos y estructurales perceptibles por receptores mecánicos y táctiles, y cuando sea apropiado, también visuales y auditivos. En el caso de las frutas deshidratadas, la textura deseada dependerá de qué uso se le va a dar al producto final. Si se va a consumir como “snack” se buscará una textura crujiente, y si se requiere una rehidratación previa a su consumo, se intentará que la estructura del producto quede lo menos alterada posible para que posea una buena capacidad de rehidratación posterior. Independientemente de la textura final deseada, el color del producto deberá sufrir los mínimos cambios posibles, ya que el color es uno de los principales criterios por los que los consumidores juzgan la frescura y calidad de muchos alimentos (Clydesdale, 1993; Abdullah *et al.*, 2001; Keqing, 2004; Escalada Pla *et al.*, 2005; Dorota, 2006).

El color es uno de los parámetros de calidad más importante en productos deshidratados. Los cambios en el color se deben a la concentración de pigmentos o a la degradación de los mismos (Mayor *et al.*, 2005). La alteración del color de los productos frutícolas está fundamentalmente relacionada con el pardeamiento. Existen

dos tipos de pardeamiento, uno enzimático y otro no enzimático conocido como reacciones de Maillard. La intensidad del pardeamiento dependerá de factores como pH, temperatura, actividad de agua ( $a_w$ ) y composición del producto (Chua *et al.*, 2001; Keqing, 2004; Osorio *et al.*, 2007).

El pardeamiento enzimático es un conjunto complejo de reacciones, cuyo inicio es catalizado enzimáticamente. La reacción de pardeamiento se puede frenar actuando sobre diferentes factores: remoción del oxígeno, aplicando calor, reduciendo el pH o incorporando agentes reductores o quelantes (Calvo & Durán, 1997). Las frutas deshidratadas son muy sensibles al pardeamiento enzimático debido a su alta concentración en polifenoles y polifenol-oxidasa. Del mismo modo, la actividad enzimática puede quedar inhibida si la actividad de agua es suficientemente baja, menor de 0.3 y se ve potenciada con el aumento de la misma (Mayer, 1961; Mayer & Harel, 1979; Bolin & Steele, 1987; Dorantes-Álvarez & Chiralt, 2000; Keqing, 2004).

El pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard) también provoca alteraciones importantes en la tonalidad de las frutas, sobre todo si se almacenan a temperaturas altas. La reacción de Maillard ocurre vía una serie de reacciones complejas definidas entre grupos carbonilo, de azúcares reductores principalmente, y grupos amino libres, de aminoácidos y proteínas. Estas reacciones provocan pérdidas en el valor nutritivo al suponer un descenso en la disponibilidad de aminoácidos esenciales como la lisina, formación de pigmentos pardos o negros, así como la formación de sabores extraños. La reacción queda prácticamente inhibida a pH ácidos ( $\text{pH} < 7$ ) y a valores de  $a_w$  inferiores a 0.6 y se ve potenciada a valores de  $a_w$  intermedios (0.6 - 0.9). Los sulfitos han sido ampliamente utilizados para inhibir el pardeamiento (enzimático y no enzimático). Pese a su efectividad, los problemas de toxicidad asociados al uso de sulfitos han hecho que su uso esté restringido (Primo-Yúfera, 1997; Keqing, 2004).

Mientras que el tratamiento osmótico, previo al secado por aire, tiene un efecto positivo sobre la textura y el color de las frutas secas (Rodrigues & Fernandes, 2006; Khoji & Hesari, 2007; Tarhan, 2007; Lombard *et al.*, 2008; Kaleta & Górnicki, 2010; Monnerat, 2010), incide de modo negativo sobre las propiedades de rehidratación (Lewicki, 1998; Falade & Abbo, 2007). Así, las frutas pre-tratadas por ósmosis y luego secadas por aire presentan una velocidad y capacidad de rehidratación menor que las de los productos secados por aire sin pre-tratar. Esto es debido a la rápida impregnación del azúcar en las capas de tejido superficial del producto y a la menor capacidad de

rehidratación del azúcar presente en el mismo (Lenart, 1991; Lewicki, 1998; Lee *et al.*, 2006).

La rehidratación puede ser considerada como una medida del daño que ha sufrido el material durante el secado. La rehidratación involucra tres fenómenos simultáneos: la imbibición de agua por parte del material seco, el hinchamiento y la dilución de los sólidos solubles. En general se acepta que el grado de rehidratación es dependiente del grado de ruptura celular y estructural. El daño que se produce durante el secado es irreversible, la estructura colapsa, se encogen los capilares y por lo tanto se pierden las propiedades hidrofílicas, que se reflejan por la incapacidad para rehidratarse plenamente (Lewicki, 1998; Krokida & Marinos-Kouris, 2003; Giraldo *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2009; Maldonado *et al.*, 2010; Zura-Bravo *et al.*, 2012).

Además de las condiciones de deshidratación, la habilidad del material seco para rehidratarse depende de las variables de la rehidratación, tales como la temperatura, el tiempo y la relación masa-volumen entre el fruto y la solución, como así también la presencia de burbujas de aire atrapadas que impide la absorción de agua por parte del producto (Keqing, 2004).

El papel de las frutas y hortalizas en la prevención de enfermedades han sido atribuidas, en parte, a las propiedades antioxidantes de los polifenoles (Scalbert & Williamson, 2000; Chun & Kim, 2004; Balasundram *et al.*, 2006). Estos compuestos además de ser responsables de las propiedades sensoriales (color y sabor) tienen propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antimicrobianas, antialérgicas, antimutagénicas, antitrombóticas y antiinflamatorias (Martínez-Flórez *et al.*, 2002; Sellappan & Akoh, 2002; Kim *et al.*, 2003; Balasundram *et al.*, 2006; Orak, 2007) y su consumo ha demostrado ser eficaz en la prevención del cáncer y en las enfermedades cardiovasculares (Imeh & Khokhar, 2002; Balasundram *et al.*, 2006; Kahlon & Smith, 2007).

Estructuralmente, los compuestos fenólicos poseen un anillo aromático que lleva uno o más sustituyentes hidroxilo y sus estructuras van desde una molécula fenólica sencilla hasta la de un polímero complejo de alto peso molecular (Balasundram *et al.*, 2006). De ellos, los ácidos fenólicos, los flavonoides y los taninos son los grupos más relevantes. Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>) conformados por dos anillos de fenilos ligados a través de un anillo de pirano. Constituyen el grupo más numeroso, habiéndose identificado hasta la actualidad más de

5.000 flavonoides diferentes (Martínez-Flórez *et al.*, 2002; Balasundram *et al.*, 2006; Makris *et al.*, 2006).

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos depende de la estructura, en particular del número y las posiciones de los grupos hidroxilo y la naturaleza de las sustituciones en los anillos aromáticos (Parr & Bolwell, 2000; Martínez-Flórez *et al.*, 2002; Balasundram *et al.*, 2006) y que se refleja en la capacidad para captar radicales libres, átomos de hidrógeno o donar electrones, o de quelar cationes metálicos (Balasundram *et al.*, 2006).

Las ciruelas contienen grandes cantidades de compuestos polifenólicos (ácido hidroxicinámico, ácido clorogénico, ácido neoclorogénico, flavonoides y antocianinas) que pueden funcionar como antioxidantes naturales efectivos en nuestra dieta (Kim *et al.*, 2003; Chun & Kim, 2004) y que han demostrado poseer una actividad antioxidante fuerte (Scalzo *et al.*, 2005). Muchos autores como Franklin *et al.* (2006), Piirainen *et al.* (2007) y Gallaher & Gallaher (2008) destacan a las ciruelas como un alimento funcional, que en forma natural o procesada, aporta nutrientes y contiene componentes adicionales que favorecen a la salud de los consumidores del producto (Martínez-Vásquez, 2007).

### **Objetivos**

Los objetivos de este capítulo son los siguientes:

- Analizar la influencia de las variables implicadas en el proceso de secado por métodos combinados (DO+SAC) sobre los parámetros de calidad, tales como la textura, el color, la capacidad de rehidratación y el contenido de antioxidantes (ciruelas).
- Evaluar el color con el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen a través del software Photoshop y comparar los resultados obtenidos. Como así también, determinar el efecto del almacenamiento sobre los parámetros del color.
- Modelar las cinéticas de rehidratación mediante ecuaciones matemáticas y analizar el efecto de las condiciones experimentales sobre las constantes de los modelos.



## **Materiales y métodos**

### ▪ **Materia prima**

Para el desarrollo del diseño experimental se trabajó con porciones de nectarinas variedad Caldesi (*Prunus persica* var. *nectarina*) y ciruelas variedad D'ente (*Prunus doméstica* L.), osmodeshidratadas durante 2 h mediante el empleo de distintas condiciones experimentales de tipo de agente osmótico (glucosa, sorbitol), concentración (40 - 60% p/p), relación fruta a agente osmótico (1/4 - 1/10), temperatura osmótica (25 – 40 °C). Las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas fueron secadas por aire a 60, 70 u 80 °C y luego fueron evaluadas en cuanto a la actividad de agua, el color, la textura y la capacidad de rehidratación. Además, en las ciruelas se evaluó el contenido de antioxidantes. Previo a los ensayos las muestras fueron almacenadas a 5 °C.

### ▪ **Determinación de actividad de agua ( $a_w$ )**

La  $a_w$  fue determinada mediante el equipo Aqualab (modelo 3TE, Washington, USA). Para la calibración del equipo se utilizaron soluciones saturadas de NaCl ( $a_w=0.753 \pm 0.003$  a 25 °C) y KCl ( $a_w=0.843 \pm 0.003$  a 25 °C). La lectura de la actividad de agua fue tomada cuando la diferencia de temperatura entre la cámara y la muestra era de  $\pm 0.5$  °C. Todas las mediciones se realizaron a 25 °C y por duplicado.

### ▪ **Determinación del color mediante el colorímetro Minolta**

Se evaluaron los parámetros  $L$  (luminosidad),  $a$  (enrojecimiento) y  $b$  (amarillamiento) con el colorímetro Minolta (modelo CR-400, Japón). El parámetro “ $L$ ” varía desde 100 para un blanco perfecto a cero para el negro; “ $a$ ” representa el color rojo cuando toma valores positivos, gris cuando es cero y verde cuando toma valores negativos. El parámetro “ $b$ ” representa el color amarillo cuando toma valores positivos, gris cuando es cero y azul cuando toma valores negativos.

Para la calibración se utilizó el patrón blanco que provee el equipo ( $Y=93.2$ ;  $x=0.3133$ ;  $y=0.3192$ ), para la cual se utilizó la escala Hunter. El colorímetro se programó de modo que cada destello sea un disparo y las muestras fueron dispuestas de modo que cubrieran toda la pantalla del colorímetro.

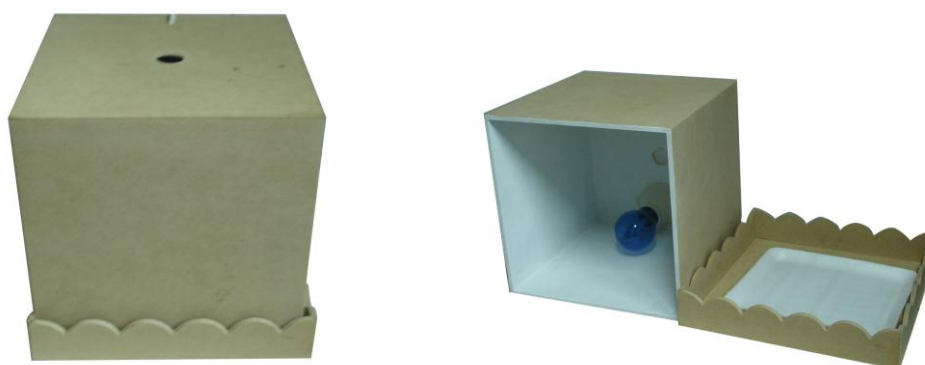
El cambio total de color después de la deshidratación por métodos combinados (DO+SAC) fue evaluado de acuerdo a la **Ecuación 18** de Hunter (1975).

$$\Delta C = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (18)$$

donde  $\Delta C$  es la variación total del color; las variaciones de  $\Delta L$ ;  $\Delta a$  y  $\Delta b$  fueron calculadas con respecto a los valores iniciales de las muestras, es decir, en el fruto fresco ( $L_0$ ;  $a_0$ ;  $b_0$ ).

▪ **Determinación de color mediante el análisis de la imagen**

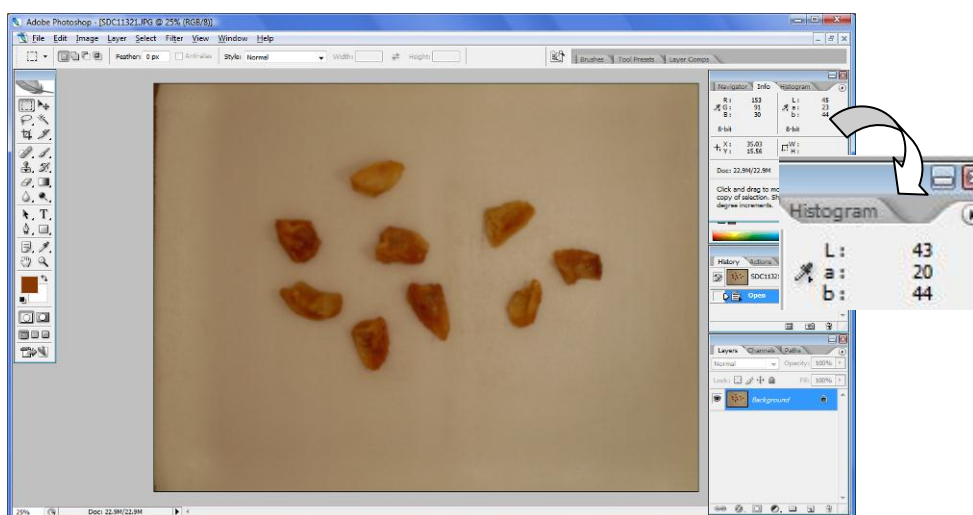
Para la evaluación del color, se dispuso a las muestras sobre una bandeja blanca, que luego fue colocada en una caja con iluminación estandarizada DAYLIGHT 60W (luz de día) (**Figura 24**). La imagen fue tomada con una cámara fotográfica (8.1 Mega Pixels) mediante el orificio ubicado en la parte superior de la caja. Este procedimiento se realizó para garantizar que todas las imágenes fueran tomadas de la misma manera.



**Fig. 24.** Caja utilizada para la determinación del color.

Para cada tratamiento se evaluaron 10 replicados. Al igual que para la determinación del color mediante el colorímetro Minolta, se calculó la variación total del color (**Ecuación 18**).

El análisis de la imagen se realizó con el software Photoshop, este método también fue utilizado por Riva *et al.* (2005) para el secado por aire de damascos osmodeshidratados. A modo de ejemplo en la **Figura 25** se muestra el procedimiento de la evaluación de color para las nectarinas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4 y a 25 °C y luego secadas por aire a 60 °C.



**Fig. 25.** Determinación de color por análisis de la imagen mediante el software Photoshop.

▪ **Comparación de métodos para la determinación del color**

Se compararon los parámetros del color ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ ) evaluados mediante el colorímetro Minolta y por análisis de la imagen a través del software Photoshop, para ello se utilizó el análisis de medias apareadas mediante la Prueba  $T$ .

La comparación entre los métodos se realizó para evaluar el color de las muestras provenientes de los 48 tratamientos de secado por métodos combinados (DO+SAC) y para la fruta en estado fresco.

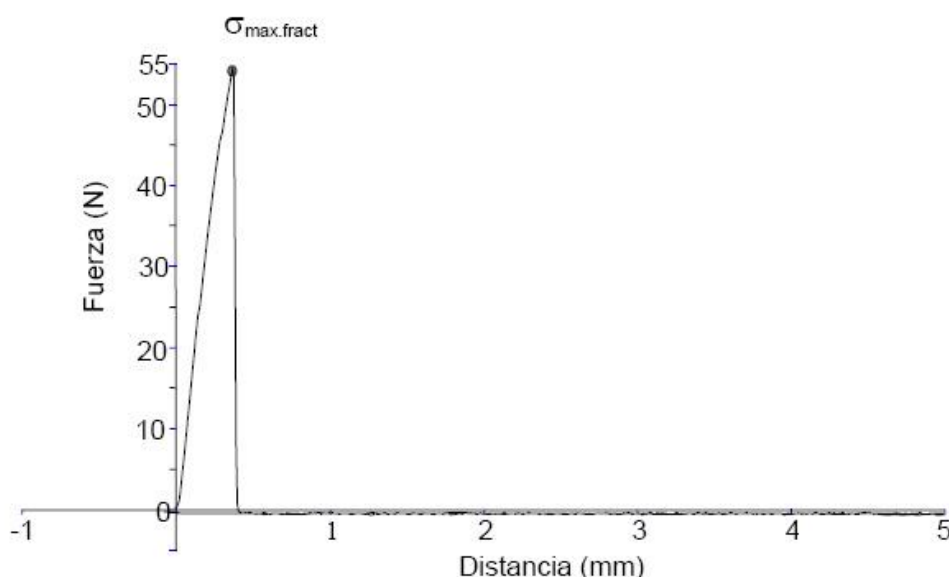
▪ **Efecto del almacenamiento sobre la evaluación del color**

Las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire fueron almacenadas durante 12 meses a 5 °C. Luego, las muestras fueron evaluadas nuevamente mediante el análisis de la imagen para ver el efecto del tratamiento sobre los parámetros del color.

▪ **Determinación de textura**

Se realizó un ensayo de corte, para lo cual se utilizó el texturómetro Universal Testing Machine (modelo TATX2i, marca Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Se trabajó a una velocidad de ensayo de 0.1 mm seg<sup>-1</sup>; distancia 100%, velocidad pre-ensayo de 2 mm seg<sup>-1</sup>; velocidad post-ensayo de 5 mm seg<sup>-1</sup>, la sonda utilizada fue el diente y las muestras se dispusieron de costado sobre una base lisa.

En cada medición se obtuvieron gráficas de Fuerza (N) en función de la distancia (mm) (**Figura 26**), para lo cual se tomó el par de coordenadas correspondientes al pico más alto, que representa la fuerza máxima de fractura o corte. Para cada tratamiento se realizaron entre 5 y 10 mediciones. Finalmente se determinó la Firmeza como la relación entre la Fuerza y la distancia.



**Fig. 26.** Curva típica del comportamiento de un material cuando se le aplica una fuerza hasta alcanzar su ruptura.

▪ **Determinación de la capacidad de rehidratación**

La rehidratación se realizó durante 3 h en agua destilada, con una relación de fruto/agua de 1/30 y a 25 °C. A intervalos de tiempo regulares (5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 90; 120; 150; 180 min) las porciones de nectarinas y ciruelas se retiraron del erlenmeyer, se escurrieron sobre papel absorbente y luego se pesaron (balanza analítica, METTLER AE 240, precisión  $\pm 0.0001$  g).

Una vez terminado el ensayo de re-hidratación las muestras se mantuvieron en agua durante 24 h hasta alcanzar el equilibrio. La humedad de las muestras fue expresada en base seca ( $\text{g de agua g sólido seco}^{-1}$ ).

La capacidad de rehidratación fue expresada como razón de humedad o tasa de rehidratación ( $XR$ ) de acuerdo a la siguiente expresión (**Ec. 19**):

$$XR = \frac{X_r(t) - X_{r\infty}}{X_0 - X_{r\infty}} \quad (19)$$

donde  $X_r$  es la humedad de rehidratación de la muestra a tiempo  $t$  (g agua g sólido seco<sup>-1</sup>);  $X_0$  es la humedad inicial (g agua g sólido seco<sup>-1</sup>);  $X_{r\infty}$  es la humedad de rehidratación en el equilibrio (g agua g sólido seco<sup>-1</sup>).

▪ **Modelado matemático de la rehidratación**

Las cinéticas de re-hidratación de las nectarinas y ciruelas secadas por métodos combinados fueron ajustadas por 2 ecuaciones matemáticas (**Tabla 27**).

**Tabla 27.** Ecuaciones matemáticas utilizadas para el ajuste de la cinética de rehidratación de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

Modelos	Ecuaciones	Referencias
Peleg	$X_r = X_0 + t / (K_1 + K_2 * t)$	Ruíz Díaz <i>et al.</i> , 2003
Weibull	$X_r = X_{r\infty} + (X_0 - X_{r\infty}) * \exp(-(t / \beta)^\alpha)$	Marques <i>et al.</i> , 2009

donde  $t$  es el tiempo (s) y  $K_1$ ;  $K_2$ ;  $\alpha$ ;  $\beta$  son las constantes de los modelos.

▪ **Determinación de antioxidantes**

Las ciruelas deshidratadas por métodos combinados (DO+SAC) fueron trituradas en un molinillo, luego se tomaron muestras de 2 g para realizar la extracción de los compuestos antioxidantes. Las muestras molidas se colocaron en erlenmeyer de 50 mL de capacidad con 5 mL de una mezcla metanol/acético con una relación 40/1. Las extracciones se realizaron mediante agitación en shaker a 180 rpm durante 30 minutos y bajo campana de extracción para la remoción de los vapores del metanol. Luego los sobrenadantes (solvente + extractos fenólicos) se trasvasaron a tubos de ensayos y se centrifugaron durante 5 minutos hasta separar los sobrenadantes de los residuos de ciruela triturada. El proceso de extracción se repitió dos veces más y finalmente se juntaron los tres volúmenes de sobrenadantes centrifugados, se midieron los volúmenes finales mediante pipetas y se guardaron los extractos en frascos color caramelo a 5 °C hasta su posterior medición.

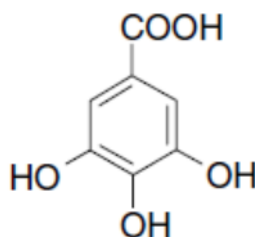
El rendimiento de extracción depende del solvente y el método de extracción empleado, el cual debe permitir la extracción completa de los compuestos de interés sin

modificar su composición química (Nihal *et al.*, 2006). Para la elección de los solventes de extracción se realizaron ensayos previos con acetona, etanol, metanol, ácido acético y mezclas de ellos en distintas proporciones. Donde se comprobó que el contenido de antioxidantes en ciruelas fue superior al utilizar metanol acidificado como solvente de extracción.

Para la determinación de los compuestos antioxidantes se realizó la dilución de los extractos obtenidos en agua destilada (1:25) para lo cual se dispuso de un matraz de 25 mL de capacidad. Se utilizó el espectrofotómetro (Metrolab 1700, UV vis Spectrophotometer) y pipetas automáticas de 0-100 mL, 100-1000 mL, 1000-5000 mL.

- *Fenoles Totales:*

Para la determinación de Fenoles Totales se realizó una curva de calibración con una solución patrón de ácido gálico ( $0.1 \text{ mg mL}^{-1}$ ) (**Figura 27**), siguiendo los lineamientos de Singleton & Rosi (1965). Para construir la curva se tomaron volúmenes de 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160  $\mu\text{L}$  de la solución patrón, que fueron llevados con agua destilada a un volumen final de 500  $\mu\text{L}$ . Para el blanco se utilizó 500  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Luego, a cada uno de los estándares se les adicionó 250  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin-Ciocalteau preparado con una normalidad igual a 1 (1N) seguido de una homogeneización en un sonicador durante 5 minutos. Finalmente se le adicionó 1250  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaCO}_3$  al 20% p/v y luego de 120 minutos se realizó la lectura a 760 nm.



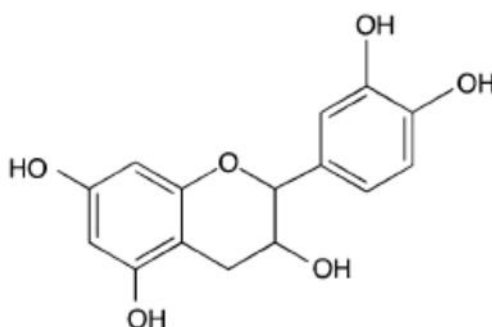
**Fig. 27.** Estructura química del ácido gálico.

Una vez construida la curva de absorbancia en función de la concentración de ácido gálico ( $\text{mg de ácido gálico litro de solución}^{-1}$ ) se repitió la lectura en las muestras de ciruelas deshidratadas por métodos combinados, para lo cual se utilizó en lugar de los estándar 500  $\mu\text{L}$  de los extractos fenólicos. Los resultados fueron finalmente

expresados como mg equivalente a ácido gálico por cada 100 g de muestra de ciruela en base seca.

- *Flavonoides:*

Para la determinación de Flavonoides se realizó una curva de calibración con una solución patrón de catequina ( $0.1 \text{ mg mL}^{-1}$ ) (**Figura 28**). Para construir la curva se tomaron volúmenes de 0, 20, 40, 60, 80, 100  $\mu\text{L}$  de la solución patrón, que fueron llevados con agua destilada a un volumen final de 2500  $\mu\text{L}$ . Para el blanco se utilizó 2500  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Luego, se tomaron volúmenes de los estándares de 500  $\mu\text{L}$  y se les adicionó 1250  $\mu\text{L}$  agua, seguido de 75  $\mu\text{L}$   $\text{NaNO}_2$  al 5% p/v y se dejó reposar durante 6 minutos. Finalmente se le adicionó 150  $\mu\text{L}$   $\text{AlCl}_3$  al 10% p/v y nuevamente se deja reposar 5 minutos, luego se adicionan 500  $\mu\text{L}$   $\text{NaOH}$  con una molaridad igual a 1 (1M) y finalmente, 25  $\mu\text{L}$  agua. La lectura se realizó a 510 nm y antes de los 30 minutos.



**Fig. 28.** Estructura química de la catequina.

Una vez construida la curva de absorbancia en función de la concentración de catequina ( $\text{mg de catequina litro de solución}^{-1}$ ) se repitió la lectura en las muestras de ciruelas deshidratadas por métodos combinados, para lo cual se utilizó en lugar de los estándar 500  $\mu\text{L}$  de los extractos fenólicos. Los resultados fueron finalmente expresados como mg equivalente a catequina por cada 100 g de muestra de ciruela en base seca.

- **Análisis estadístico**

La influencia de las variables del proceso sobre los parámetros de calidad fue evaluada a través de un ANOVA con un nivel de significación del 5%. El análisis fue

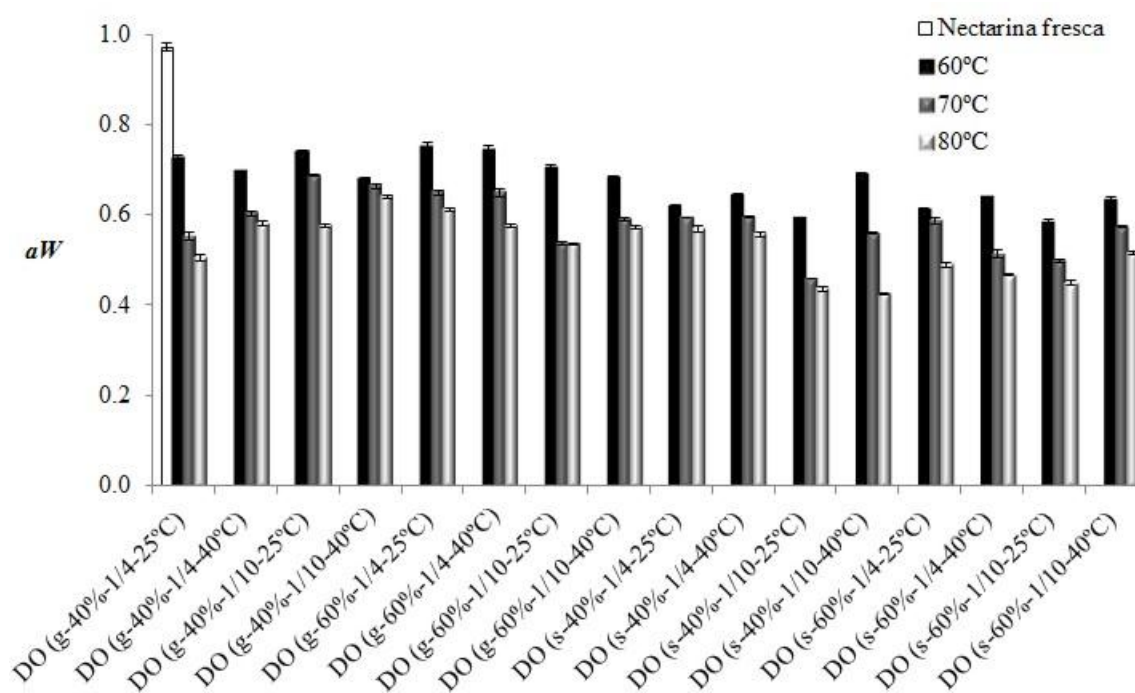
realizado utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Para la comparación entre el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen se utilizó el análisis de medias apareadas mediante la Prueba *T*.

El modelado matemático de los datos se realizó mediante la función análisis de regresión no lineal que permite estimar la bondad de ajuste de los modelos teóricos, usando el Systat 2007 (Wilkinson, 1990). La bondad de ajuste de los modelos fue evaluada mediante el coeficiente de correlación (*r*) (Ec. 15), el chi-cuadrado reducido ( $X^2$ ) (Ec. 16) y la raíz de los cuadrados medios del error (*RMSE*) (Ec. 17).

### Resultados y discusión

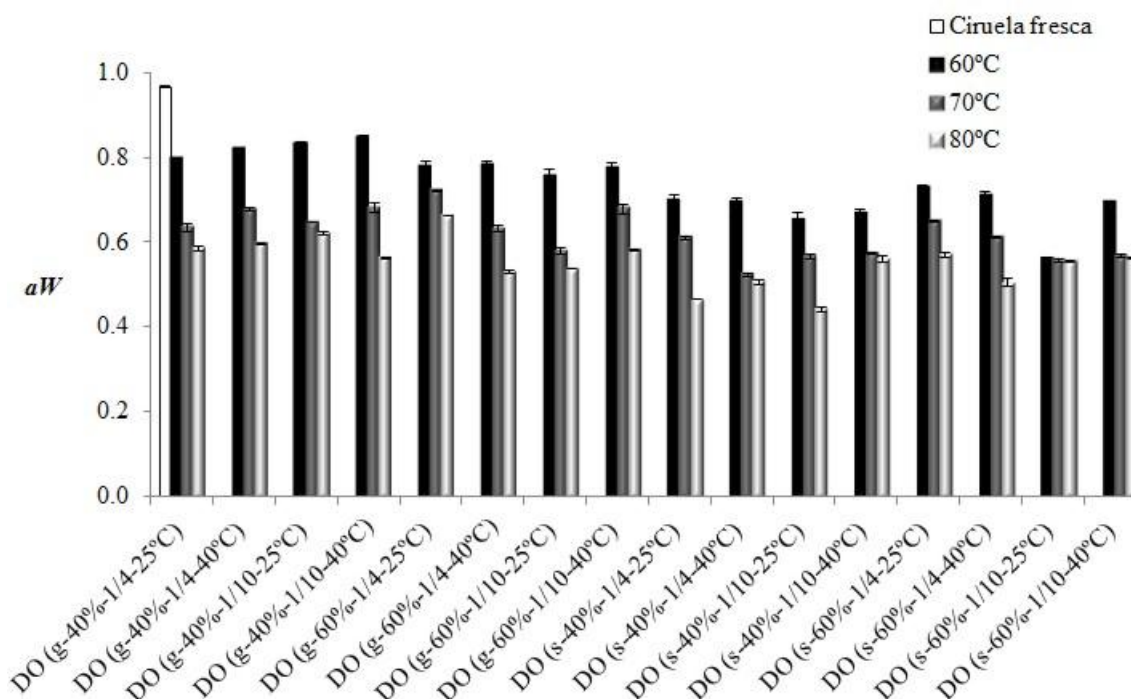
#### ▪ Evaluación de la actividad de agua (*aw*)

Las Figuras 29 y 30 exhiben el efecto del tratamiento de secado por métodos combinados sobre la *aw*, en comparación con las nectarinas y las ciruelas sin tratar.



**Fig. 29.** Actividad de agua (*aw*) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, agrupadas por tratamiento osmótico y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.





**Fig. 30.** Actividad de agua ( $a_w$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, agrupadas por tratamiento osmótico y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

Las nectarinas presentaron una  $a_w$  inicial de  $0.971 \pm 0.009$ , luego del secado por métodos combinados (DO+SAC) los valores se redujeron a un rango comprendido entre 0.426 - 0.750, dependiendo de las condiciones experimentales. Las muestras osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, una temperatura del baño osmótico de 40 °C y luego secadas por aire a 80 °C fueron las que presentaron menor  $a_w$ , mientras que las osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, una temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 60 °C presentaron la mayor actividad acuosa.

Por otra parte, las ciruelas que partían de una  $a_w$  inicial de  $0.966 \pm 0.002$ , luego del secado por métodos combinados (DO+SAC) los valores se redujeron a un rango comprendido entre 0.441 - 0.845, dependiendo de las condiciones ensayadas. Las muestras deshidratadas por ósmosis en solución de sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, una temperatura del baño osmótico de 25 °C y luego secadas por aire a 80 °C fueron las que presentaron menor  $a_w$ , mientras que las osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, una temperatura osmótica de 40 °C y luego secadas por aire a 60 °C presentaron

una actividad de agua superior, con respecto a las ciruelas deshidratadas en otras condiciones de proceso.

El efecto combinado de la DO (con pérdida de agua y – en menor medida - ganancia de sólido) y el secado convectivo en nectarinas y ciruelas permitió reducir los niveles de *aw* y obtener así, productos más estables desde el punto de vista microbiológico (Cheftel & Cheftel, 1992; Quintero-Chávez *et al.*, 2012).

La **Tabla 28** muestra los resultados del análisis de la varianza para los valores de *aw* según la influencia de las variables independientes.

**Tabla 28.** ANOVA para los valores de actividad de agua (*aw*) de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

Variables	<i>aw</i>					
	Nectarinas			Ciruelas		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	34.13	<0.0001	1	61.34	<0.0001
Concentración	1	0.47	0.4986	1	0.02	0.8956
Relación fruta/agente osmótico	1	2.39	0.1337	1	2.56	0.1210
Temperatura de DO	1	1.66	0.2088	1	0.24	0.6293
Temperatura de SAC	2	34.43	<0.0001	2	96.77	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	0.17	0.6857	1	5.04	0.0332
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	1.67	0.2068	1	0.47	0.4991
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.39	0.5367	1	0.18	0.6777
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.18	0.8379	2	2.58	0.0940
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.97	0.3325	1	3.83	0.0608
Concentración*temperatura de DO	1	0.17	0.6813	1	0.47	0.4991
Concentración*temperatura de SAC	2	0.04	0.9581	2	1.80	0.1842
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.63	0.2130	1	8.30	0.0077
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.04	0.9587	2	0.66	0.5249
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.09	0.9177	2	0.67	0.5190

gl, grados de libertad

Tanto para las nectarinas como para las ciruelas, el tipo de agente osmótico y la temperatura de secado fueron las variables que influenciaron significativamente sobre los valores de  $a_w$  ( $p < 0.0001$ ).

Las nectarinas y ciruelas deshidratadas por ósmosis en soluciones de sorbitol alcanzaron una actividad de agua inferior con respecto a las muestras osmodeshidratadas en jarabe de glucosa, como consecuencia de una mayor pérdida de agua y ganancia de sólidos experimentada durante el tratamiento osmótico. A pesar de la similitud en el peso molecular, en el capítulo 1 se hizo referencia a las variables que influyen sobre el comportamiento de los agentes osmóticos.

Durante el secado por aire caliente de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas, en todos los tratamientos la actividad de agua dependió de la temperatura de secado, produciéndose una disminución de los valores de  $a_w$  en función del aumento de la temperatura del aire (**Figuras 29 y 30**).

Además, durante el secado por aire caliente de las ciruelas osmodeshidratadas, la interacción entre el tipo de agente osmótico y la concentración ( $p = 0.0332$ ) y la interacción entre la relación fruta/agente osmótico con la temperatura de DO ( $p = 0.0077$ ) influyeron sobre la  $a_w$ .

De lo anterior se deduce, que el tratamiento óptimo que permitió disminuir la actividad acuosa durante el secado por métodos combinados de nectarinas y ciruelas, fue cuando se utilizó sorbitol como agente osmótico y temperatura del aire de secado de 80 °C.

#### ▪ Evaluación del color mediante el colorímetro Minolta

Las nectarinas frescas presentaron los siguientes valores de  $L_0 = 64.543 \pm 1.783$ ;  $a_0 = 0.953 \pm 0.644$  y  $b_0 = 48.118 \pm 2.494$ . Los valores iniciales de los parámetros de color hacen pensar en una fruta de pulpa clara, de color amarillo y con una leve tonalidad roja.

Los parámetros de color de las ciruelas en estado fresco fueron los siguientes:  $L_0 = 22.582 \pm 3.147$ ;  $a_0 = -1.108 \pm 0.646$  y  $b_0 = 14.105 \pm 2.330$ . La lectura de estos valores refleja la presencia de una fruta de pulpa clara, de color amarillo y con una leve tonalidad verde representada por los valores negativos. Tanto para las nectarinas como para las ciruelas, los valores obtenidos corresponden al promedio de 6 replicados.

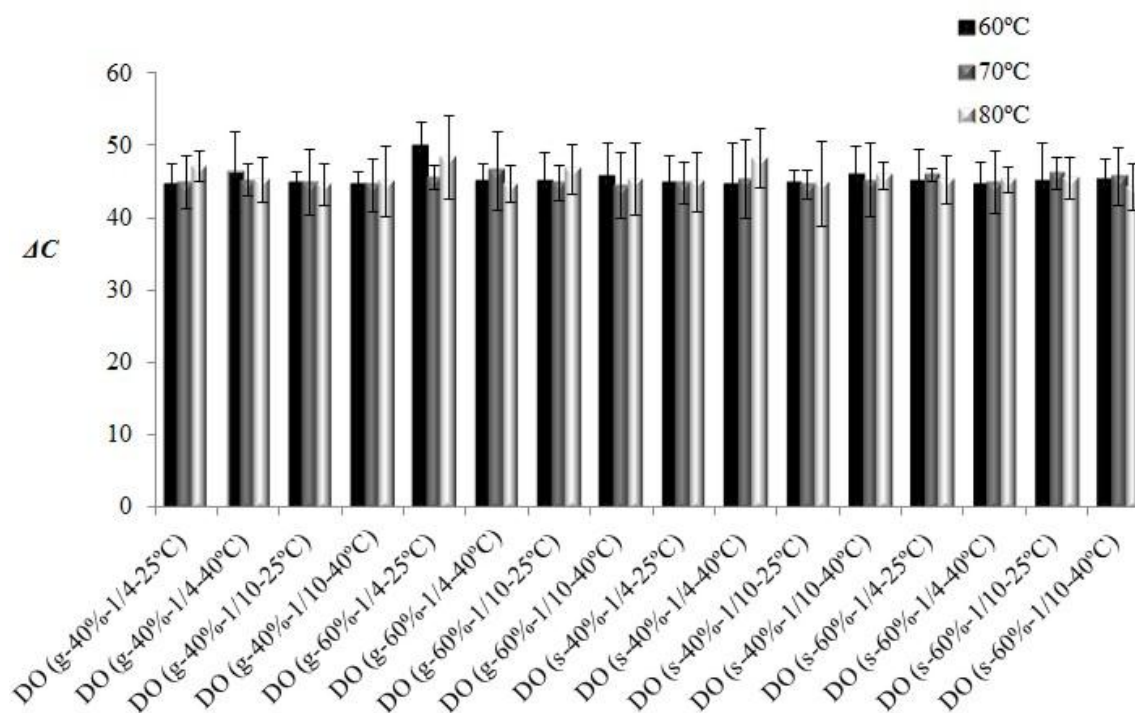
Después del secado por métodos combinados de las nectarinas, los valores de  $L$  estuvieron comprendidos entre 27.060 - 44.615; el parámetro  $a$  varió entre 24.886 - 42.444 y  $b$  entre 25.545 - 45.277 (**Anexo 10**). Mientras que, después del secado por métodos combinados de las ciruelas, los valores de  $L$  estuvieron comprendidos entre 21.091 - 29.831; el parámetro  $a$  varió entre 4.591 - 9.057 y  $b$  entre 5.515 - 16.940 (**Anexo 11**).

A simple vista se podría concluir que después del secado, las nectarinas presentan menor luminosidad y amarillamiento, y mayor enrojecimiento con respecto al fruto fresco. La disminución del parámetro “ $L$ ” y el aumento de “ $a$ ” son considerados indicadores de pardeamiento (Riva *et al.*, 2005; Guiné *et al.*, 2010).

Las ciruelas también presentan mayor enrojecimiento y en la mayoría de los casos, menor amarillamiento con respecto al fruto fresco. Mientras que la luminosidad, como era de esperar, exhibió un leve aumento debido a que las ciruelas se procesaron con piel, siendo el color de esta más claro una vez deshidratada.

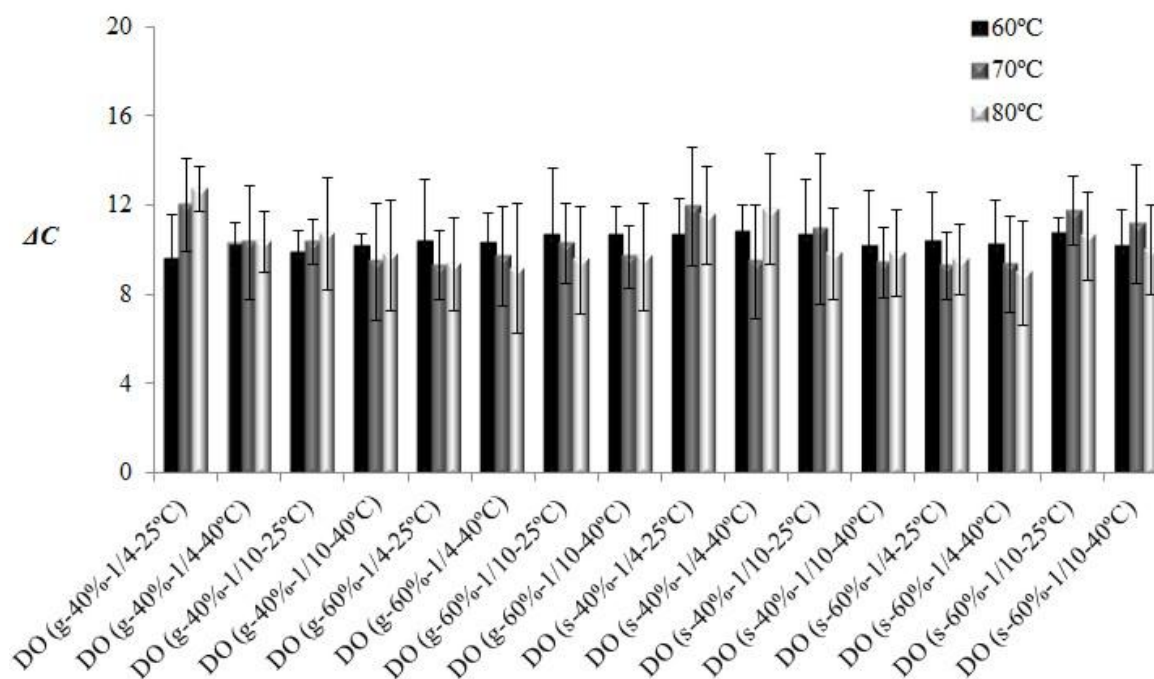
Por otra parte el parámetro “ $b$ ” no presentó un comportamiento definido después del secado de nectarinas y ciruelas, no siendo relevante su análisis, este mismo resultado fue obtenido por Guiné *et al.* (2010) en la evaluación del color, posterior al secado de peras.

Las **Figuras 31 y 32** presentan la variación total del color de las nectarinas y ciruelas deshidratadas por métodos combinados con respecto al fruto en estado fresco, respectivamente.



**Fig. 31.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluada a través del colorímetro Minolta, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

En la **Figura 31** se observa que la variación total del color en las nectarinas estuvo comprendida entre 44.251 y 49.873. Las muestras osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60%, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, a 40 °C y luego secada por aire a 80 °C fueron las que presentaron menor variación, mientras que las osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe 1 a 4 y a 25 °C y luego secadas por aire a 60 °C fueron las que presentaron mayor variación del color. Un análisis de la varianza arrojó que solo la interacción entre la concentración de la solución y la temperatura osmótica ejerció un efecto significativo sobre  $\Delta C$  ( $p=0.0128$ ) (**Anexo 12**).



**Fig. 32.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada a través del colorímetro Minolta, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

La **Figura 32** muestra que la  $\Delta C$  en las ciruelas estuvo comprendida entre 8.978 y 12.721, siendo estos valores inferiores a los reportados en nectarinas. Las muestras osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60%, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, a 40 °C y luego secada por aire a 80 °C fueron las que presentaron menor variación, mientras que las osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe 1 a 4, a 25 °C y luego secadas por aire a 80 °C fueron las que presentaron mayor variación del color. Un análisis de la varianza arrojó que la variación de color fue afectada por la concentración ( $p=0.0118$ ), la temperatura de DO ( $p=0.0132$ ) y las interacciones entre la variable concentración con la relación fruta/ agente ( $p=0.0002$ ) y con la temperatura de SAC ( $p=0.0173$ ) (**Anexo 13**), siendo la mayor variación de color en las muestras tratadas en soluciones osmóticas preparadas al 40% p/p y a 25 °C.

Las **Tabla 29** y **30** muestran el análisis de la varianza correspondiente a los indicadores del color  $L$ ;  $a$ ;  $b$  según las variables independientes implicadas para cada ensayo.

**Tabla 29.** ANOVA para los parámetros del color (*L*; *a*; *b*) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el colorímetro Minolta.

Variables	<i>L</i>			<i>a</i>			<i>b</i>		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	10.28	0.0034	1	12.88	0.0013	1	11.83	0.0019
Concentración	1	0.32	0.5782	1	0.23	0.6383	1	0.22	0.6418
Relación fruta/agente osmótico	1	4.57	0.0418	1	4.34	0.0468	1	4.89	0.0356
Temperatura de DO	1	0.0002	0.9900	1	0.03	0.8740	1	0.02	0.8970
Temperatura de SAC	2	0.79	0.4622	2	1.10	0.3489	2	1.18	0.3220
Agente osmótico*concentración	1	0.73	0.4006	1	0.80	0.3784	1	0.65	0.4277
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.37	0.5496	1	0.59	0.4495	1	0.55	0.4644
Agente osmótico*temperatura de DO	1	1.40	0.2467	1	1.37	0.2524	1	1.83	0.1873
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.01	0.9934	2	0.0015	0.9985	2	0.03	0.9701
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.31	0.5820	1	0.13	0.7235	1	0.08	0.7739
Concentración*temperatura de DO	1	2.75	0.1089	1	2.21	0.1490	1	2.55	0.1219
Concentración*temperatura de SAC	2	0.59	0.5611	2	0.54	0.5883	2	0.42	0.6620
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.22	0.2785	1	1.13	0.2975	1	0.96	0.3369
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.66	0.5274	2	0.67	0.5191	2	0.89	0.4206
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.14	0.8670	2	0.15	0.8640	2	0.21	0.8112

gl, grados de libertad

**Tabla 30.** ANOVA para los parámetros del color (*L*; *a*; *b*) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el colorímetro Minolta.

Variables	<i>L</i>			<i>a</i>			<i>b</i>		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	0.22	0.6412	1	0.12	0.7362	1	0.03	0.8552
Concentración	1	3.02	0.0934	1	7.23	0.0121	1	16.51	0.0004
Relación fruta/agente osmótico	1	0.07	0.7903	1	19.72	0.0001	1	1.98	0.1706
Temperatura de DO	1	2.39	0.1341	1	15.14	0.0006	1	10.65	0.0030
Temperatura de SAC	2	19.61	<0.0001	2	50.31	<0.0001	2	70.48	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	0.07	0.7919	1	0.37	0.5455	1	1.72	0.2007
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.92	0.3470	1	0.01	0.9413	1	1.9 x10 <sup>-03</sup>	0.9657
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.52	0.4764	1	1.92	0.1777	1	7.20	0.0123
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	4.18	0.0263	2	12.95	0.0001	2	4.61	0.0190
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	11.27	0.0024	1	13.40	0.0011	1	4.76	0.0380
Concentración*temperatura de DO	1	2.01	0.1672	1	0.01	0.9401	1	1.74	0.1983
Concentración*temperatura de SAC	2	1.44	0.2544	2	11.54	0.0002	2	15.06	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.01	0.9220	1	0.30	0.5866	1	0.03	0.8736
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	2.04	0.1495	2	2.54	0.0972	2	1.87	0.1737
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	2.84	0.0761	2	6.17	0.0062	2	4.72	0.0174

gl, grados de libertad

Para las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, el tipo de agente osmótico y la relación fruta a jarabe fueron las variables que ejercieron un efecto significativo sobre *L*, *a* y *b*. La variación del agente osmótico influyó significativamente sobre los parámetros del color *L* ( $p=0.0034$ ), *a* ( $p=0.0013$ ) y *b* ( $p=0.0019$ ). Al comparar los jarabes, se observa que los tres indicadores se intensificaron cuando se utilizó



sorbitol como solución hipertónica. El sorbitol ha sido destacado en muchos trabajos científicos por sus propiedades humectantes y protectoras del color (Torregiani *et al.*, 1995; Ozen *et al.*, 2002; Riva *et al.*, 2005). La relación fruta a jarabe tuvo un efecto significativo sobre  $L$  ( $p=0.0418$ ),  $a$  ( $p=0.0468$ ) y  $b$  ( $p=0.0356$ ). Los valores de  $L$ ,  $a$  y  $b$  fueron superiores cuando la relación fruta a jarabe fue de 1 a 10, con respecto a los obtenidos cuando la relación fue de 1 a 4 (**Tabla 29**).

Para las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, los parámetros del color  $L$ ,  $a$  y  $b$  fueron afectados por la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ), por la interacción entre el tipo de agente osmótico con la temperatura de SAC ( $p=0.0263$ ;  $p=0.0001$ ;  $p=0.0190$ , respectivamente) y por la interacción entre la concentración y la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0024$ ;  $p=0.0011$ ;  $p=0.0380$ , respectivamente). Los valores de  $L$ ,  $a$  y  $b$  fueron superiores cuando el secado por aire de las ciruelas osmodeshidratadas se realizó a mayor temperatura (**Tabla 30**).

Además, los parámetros  $a$  y  $b$  fueron afectados por la concentración ( $p=0.0121$ ;  $p=0.0004$ ), por la temperatura de DO ( $p=0.0006$ ;  $p=0.0030$ ) y por las interacciones entre la variable temperatura de SAC con la concentración ( $p=0.0002$ ;  $p<0.0001$ ) y con la temperatura de DO ( $p=0.0062$ ;  $p=0.0174$ ). Los valores de  $a$  y  $b$  fueron superiores cuando la concentración de la solución hipertónica fue del 40% p/p y la temperatura osmótica fue de 25 °C. Finalmente, “ $a$ ” fue influenciado por la relación fruta a jarabe ( $p=0.0001$ ) y “ $b$ ” por la interacción entre el agente osmótico y la temperatura de DO ( $p=0.0123$ ). Los valores de “ $a$ ” se incrementaron cuando la relación fruta/agente osmótico fue de 1 a 10.

De lo anterior se deduce, que los tratamientos óptimos que presentaron menor modificación en la apariencia fue cuando se utilizó sorbitol al 60% p/p; temperatura osmótica de 40 °C y temperatura del aire de secado de 80 °C, y relaciones fruta a jarabe de 1 a 10 y 1 a 4 durante el secado por métodos combinados de nectarinas y ciruelas, respectivamente.

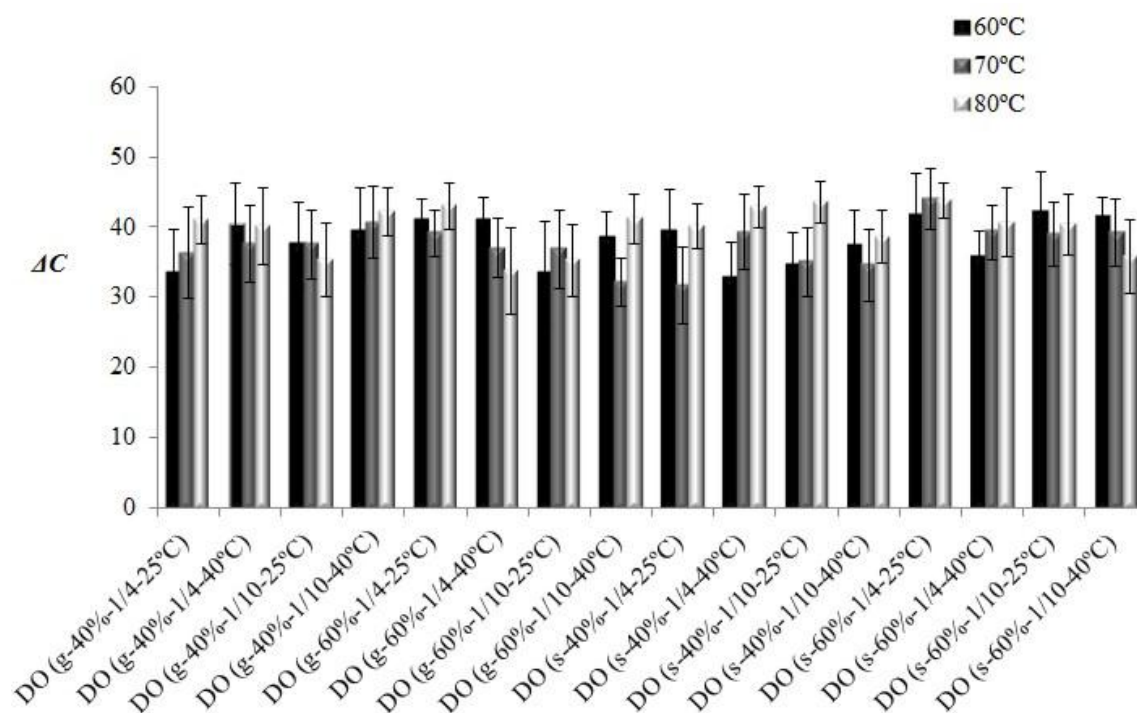
#### ▪ Evaluación del color mediante el análisis de la imagen

Los parámetros del color de las nectarinas en estado fresco fueron los siguientes:  $L_0= 52.900 \pm 6.707$ ;  $a_0= 3.700 \pm 2.497$  y  $b_0= 48.100 \pm 3.107$ , mientras que para las ciruelas en estado fresco, los valores de los parámetros del color estuvieron en el siguiente orden:  $L_0= 22.800 \pm 2.616$ ;  $a_0= 32.100 \pm 2.558$  y  $b_0= 32.000 \pm 3.801$ . En ambos casos, los valores reportados corresponden al promedio de 10 replicados.

Después del secado por métodos combinados de las nectarinas, los valores de “*L*” quedaron comprendidos en el rango de 29.8 - 46.7, “*a*” varió entre 34.0 - 44.0 y “*b*” se mantuvo entre 42.1 - 56.1 (**Anexo 14**). Mientras que, después del secado por métodos combinados de las ciruelas, los valores de *L* estuvieron comprendidos en el rango de 3.10 - 21.20, “*a*” varió entre 5.30 - 30.30 y “*b*” se mantuvo entre 3.00 - 26.90 (**Anexo 15**). Después del secado, las nectarinas y ciruelas presentaron menor luminosidad con respecto al fruto fresco.

Por otra parte, el parámetro “*b*” no presentó un comportamiento definido después del secado de nectarinas, siendo estos resultados semejantes a los obtenidos en la evaluación del color con el colorímetro Minolta.

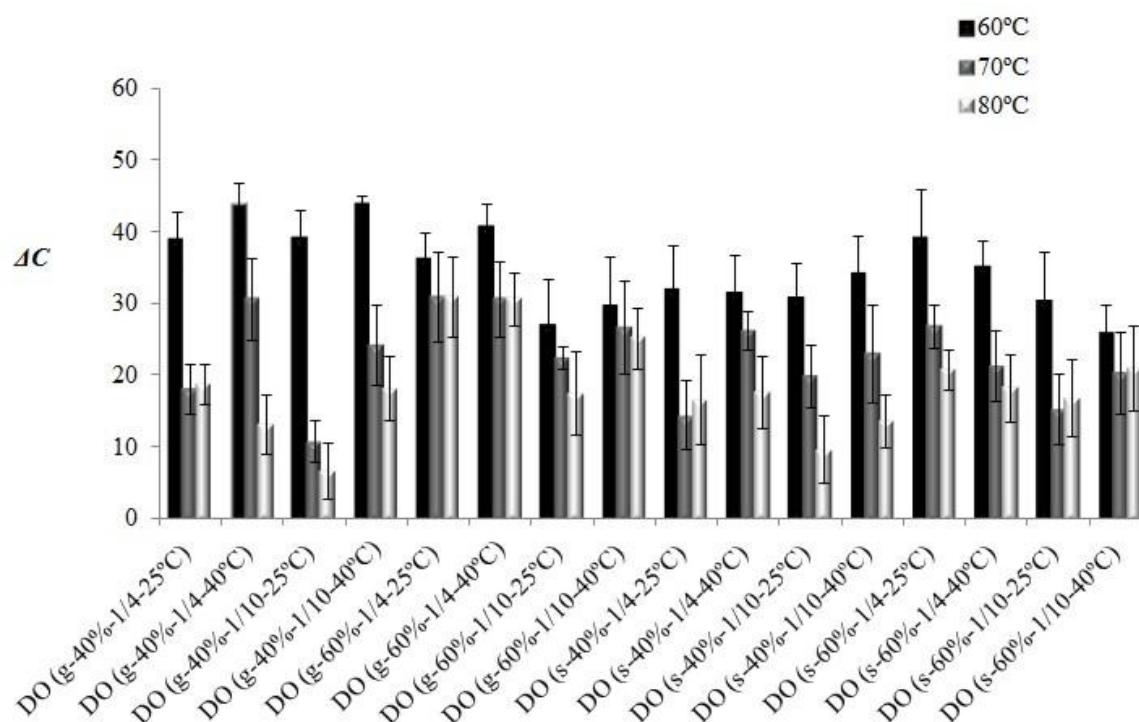
Las **Figuras 33** y **34** muestran la variación total del color con respecto a los valores iniciales de *L*, *a* y *b*



**Fig. 33.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

En la **Figura 33** se observa que la variación total del color en las nectarinas estuvo comprendida entre 31.7 y 43.9. Las muestras osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 40%, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4 y a 25 °C y luego secada por

aire a 70 °C fueron las que presentaron menor variación, mientras que las osmodeshidratadas en sorbitol al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe 1 a 4 y a 25 °C y luego secadas por aire a 70 °C fueron las que presentaron mayor variación del color. Según el análisis de la varianza, la única variable que tuvo un efecto significativo fue la interacción entre la concentración del agente osmótico y la temperatura de deshidratación osmótica ( $p=0.0485$ ) (**Anexo 16**), al igual que para la variación de color determinada con el colorímetro Minolta.



**Fig. 34.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

En la **Figura 34** se observa que la variación total del color en las ciruelas estuvo comprendida entre 6.5 - 43.9. Las muestras osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, relación fruta a jarabe de 1 a 10, temperatura osmótica de 25 °C y luego secada por aire a 80 °C fueron las que presentaron menor variación, mientras que las osmodeshidratadas en jarabe de glucosa 40% p/p, relación fruta a jarabe de 1 a 4, a 40 °C y luego secada por aire a 60 °C fueron las que presentaron mayor variación total del color. Según el análisis de la varianza, las variables que tuvieron un efecto significativo sobre los cambios de color fueron el tipo de agente osmótico ( $p=0.0022$ );

la concentración ( $p=0.0320$ ); la relación fruta/agente ( $p=0.0005$ ); la temperatura de DO ( $p=0.0105$ ); la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ) y la interacción entre la concentración y la temperatura de SAC ( $p=0.0009$ ) (**Anexo 17**), siendo las ciruelas osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 60% p/p, relación fruta/agente osmótico de 1 a 4, temperatura osmótica de 40 °C y luego secadas por aire a 60 °C las que presentaron mayor variación en el color con respecto al fruto en estado fresco.

En la **Figura 35** se exhibe a modo de ejemplo la variación de color experimentada desde las nectarina en estado fresco hasta luego del proceso de secado por métodos combinados (DO+SAC) para una condición experimental.



**Fig. 35.** Imagen de la nectarina en estado fresco (a), luego del tratamiento en solución de sorbitol al 40% p/p, relación fruta/agente osmótico 1 a 10 y a 40 °C (b) y finalmente secada por aire a 60 °C (c).

Las **Tabla 31** y **32** exhiben el análisis de la varianza de los parámetros del color de las nectarinas y ciruelas secadas por métodos combinados.

Para las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, la variable dependiente “a” fue afectada significativamente ( $p=0.0092$ ) por el tipo de agente osmótico, por las interacciones entre la variable concentración con el tipo de agente osmótico ( $p=0.0063$ ) y con la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0133$ ). Mientras que “L” y “b” fueron afectados por la interacción entre la concentración y la temperatura de DO ( $p=0.0269$ ;  $p=0.0246$ , respectivamente). Finalmente, “b” también fue afectado por la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0322$ ) (**Tabla 31**).

**Tabla 31.** ANOVA para los parámetros del color ( $L$ ;  $a$ ;  $b$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el análisis de la imagen.

Variables	$L$			$a$			$b$		
	gl	F	$p$	gl	F	$p$	gl	F	$p$
Agente osmótico	1	2.28	0.1430	1	7.87	0.0092	1	3.50	0.0722
Concentración	1	3.21	0.0843	1	0.27	0.6065	1	3.41	0.0758
Relación fruta/agente osmótico	1	3.88	0.0591	1	0.06	0.8046	1	5.10	0.0322
Temperatura de DO	1	0.01	0.9192	1	0.04	0.8375	1	0.03	0.8696
Temperatura de SAC	2	0.74	0.4854	2	3.32	0.0512	2	0.41	0.6687
Agente osmótico*concentración	1	0.70	0.4109	1	8.78	0.0063	1	0.47	0.5005
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.16	0.6927	1	0.20	0.6564	1	0.26	0.6176
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.09	0.7712	1	4.08	0.0534	1	0.15	0.6982
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.07	0.9318	2	1.69	0.2034	2	0.31	0.7327
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.53	0.4719	1	7.02	0.0133	1	1.11	0.3009
Concentración*temperatura de DO	1	5.48	0.0269	1	2.72	0.1107	1	5.66	0.0246
Concentración*temperatura de SAC	2	1.22	0.3111	2	1.84	0.1776	2	1.06	0.3610
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.24	0.6314	1	1.86	0.1839	1	0.22	0.6459
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.15	0.8581	2	0.34	0.7136	2	0.13	0.8802
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.84	0.4434	2	0.11	0.8966	2	0.84	0.4421

gl, grados de libertad

Para las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, los parámetros  $L$ ,  $a$  y  $b$  fueron afectados por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0277$ ;  $p=0.0002$ ;  $p=0.0061$ ), por la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0013$ ;  $p=0.0007$ ;  $p=0.0004$ ), la temperatura de DO ( $p=0.0188$ ;  $p=0.0204$ ;  $p=0.0077$ ), la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ) y la interacción entre la concentración y la temperatura de SAC ( $p=0.0008$ ;  $p=0.0033$ ;  $p=0.0008$ ) (**Tabla 32**).

Por otra parte, la variable dependiente “ $L$ ” también fue afectada por la interacción entre la relación fruta/agente osmótico y la temperatura de DO ( $p=0.0243$ ).

Mientras que “*L*” y “*b*” fueron influenciados significativamente por la concentración ( $p=0.0114$ ;  $p=0.0052$ , respectivamente). Finalmente, “*a*” también fue afectada por la interacción entre la concentración y la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0224$ ), siendo los valores de los parámetros del color *L*, *a* y *b* superiores cuando las ciruelas fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 40% p/p, relación fruta a agente osmótico de 1 a 10, a 25 °C y luego secadas por aire a 80 °C.

**Tabla 32.** ANOVA para los parámetros del color (*L*; *a*; *b*) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, evaluados mediante el análisis de la imagen.

Variables	<i>L</i>			<i>a</i>			<i>b</i>		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	5.42	0.0277	1	18.65	0.0002	1	8.85	0.0061
Concentración	1	7.38	0.0114	1	0.67	0.4206	1	9.26	0.0052
Relación fruta/agente osmótico	1	12.83	0.0013	1	14.51	0.0007	1	16.10	0.0004
Temperatura de DO	1	6.25	0.0188	1	6.07	0.0204	1	8.31	0.0077
Temperatura de SAC	2	57.10	<0.0001	2	68.70	<0.0001	2	73.29	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	1.55	0.2232	1	0.03	0.8589	1	1.15	0.2931
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	1.55	0.2232	1	1.08	0.3089	1	1.41	0.2454
Agente osmótico*temperatura de DO	1	2.49	0.1262	1	2.03	0.1653	1	2.57	0.1207
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.11	0.8954	2	0.30	0.7418	2	0.07	0.9364
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	3.17	0.0863	1	5.87	0.0224	1	2.49	0.1259
Concentración*temperatura de DO	1	2.77	0.1075	1	3.98	0.0563	1	3.89	0.0590
Concentración*temperatura de SAC	2	9.42	0.0008	2	7.13	0.0033	2	9.40	0.0008
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	5.69	0.0243	1	0.36	0.5546	1	3.19	0.0852
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.13	0.8776	2	0.31	0.7392	2	0.13	0.8791
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	1.35	0.2773	2	0.70	0.5056	2	1.67	0.2066

gl, grados de libertad

De lo anterior se deduce, que los tratamientos óptimos que presentaron menor modificación en la apariencia fue cuando se utilizó sorbitol al 40% p/p; relación fruta a jarabe de 1 a 4; temperatura osmótica de 25 °C y temperatura del aire de secado de 70 °C para las nectarinas, y jarabe de glucosa al 40% p/p; relación fruta a jarabe de 1 a 10; temperatura osmótica de 25 °C y temperatura del aire de secado de 80 °C para las ciruelas, respectivamente.

#### ▪ Comparación de métodos para la determinación del color

El valor de  $T$  teórico para un ensayo bilateral, con 48 grados de libertad ( $n-1$ ) y un error del 5% corresponde a  $\pm 2.0106$ .

El valor de  $T$  experimental obtenido mediante la comparación de a pares de los valores de  $L$ ,  $a$ ,  $b$  y  $\Delta C$ , calculados mediante el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen, para las nectarinas fueron de -0.62, -5.82, -22.63 y 16.06, mientras que para las ciruelas fueron de 24.69, -15.82, -5.40 y -10.93, respectivamente.

Por lo tanto, para ambos frutos hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los pares de valores de “ $a$ ”, “ $b$ ” y  $\Delta C$ , determinados mediante los dos métodos. Además en las ciruelas la metodología empleada afectó la determinación de la luminosidad ( $L$ ), mientras que esto no ocurrió en las nectarinas, tanto en el fruto fresco como para las muestras provenientes de los 48 tratamientos de secado por métodos combinados.

Cabe aclarar que según el método empleado para evaluar el color, difieren las condiciones experimentales óptimas de deshidratación.

Comparado con el colorímetro Minolta, el análisis de la imagen permite cuantificar además del color, las características morfométricas y densitométricas (volumen, superficie, textura superficial, espesor de la pieza) de las imágenes (Russ *et al.*, 1988). Este método es útil cuando un producto se somete, durante un proceso, a una modificación de su geometría u apariencia, tales como la contracción de las frutas durante el secado por aire (Riva *et al.*, 2001).

En cuanto a la medición del color, la falta de homogeneidad en la apariencia de las porciones de fruta constituye un obstáculo para la aplicación del método clásico, basado en los instrumentos de reflectancia. Por el contrario, el análisis de la imagen es una metodología eficaz, capaz de medir los parámetros cromáticos promedio también en superficies no homogéneas. Mediante programas simples como el Adobe Photoshop es posible medir el color de las imágenes digitalizadas, expresando los resultados en las

coordenadas cromáticas habituales “*L*”, “*a*” y “*b*” (Papadakis *et al.*, 2000; Riva *et al.*, 2005).

En la práctica se observó heterogeneidad en el color de las porciones de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire y esto fue reflejado por las desviaciones estándar entre los replicados para los valores de *L*, *a* y *b* evaluados a partir del colorímetro Minolta (**Anexo 10**). Pero cuando se utilizó el análisis de la imagen, los desvíos no fueron significativos (**Anexo 14**), por lo tanto, se concluye que cuando la apariencia no es homogénea es recomendable utilizar el análisis de la imagen para evaluar el color.

▪ **Evaluación del color durante el almacenamiento mediante el análisis de la imagen**

Después del almacenamiento durante 12 meses de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, los valores de los parámetros del color estuvieron comprendidos en el siguiente rango:  $18.3 < L < 37.3$ ,  $21.9 < a < 34.6$  y  $25.4 < b < 46.2$  (**Anexo 18**). El análisis de la varianza determinó que solo el parámetro “*b*” (amarillamiento) fue afectado por la relación fruta a jarabe ( $p=0.0347$ ) (**Anexo 19**).

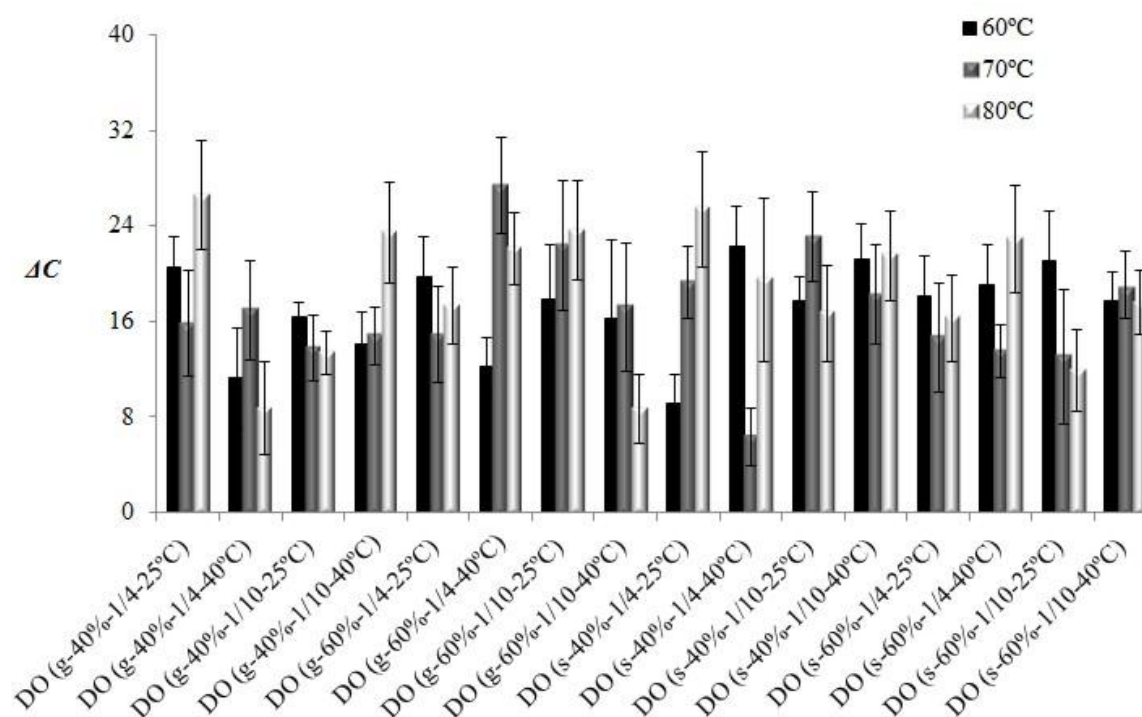
Por otra parte, después del almacenamiento durante 12 meses de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, los valores de los parámetros del color estuvieron comprendidos en el siguiente rango:  $3.20 < L < 16.80$ ,  $5.80 < a < 30.10$  y  $3.10 < b < 21.40$  (**Anexo 20**). El análisis de la varianza determinó que *L*, *a* y *b* fueron afectados por la temperatura de SAC ( $p < 0.0001$ ) y por la interacción entre la temperatura de SAC y el tipo de agente osmótico ( $p=0.0058$ ;  $p=0.0002$ ;  $p=0.0022$ ). Además el parámetro “*L*” fue influenciado de modo significativo por la interacción entre la temperatura de SAC y la concentración ( $p=0.0433$ ) (**Anexo 21**). Hallándose una relación de dependencia entre los incrementos de los valores de *L*, *a* y *b* y el aumento de la temperatura de secado.

La comparación de los valores de *L*, *a* y *b* determinados mediante el análisis de la imagen, antes y luego del almacenamiento, permitió confirmar que no hubo variaciones relevantes en los parámetros del color.

Las **Figuras 36** y **37** representan la variación total del color de las nectarinas y ciruelas con respecto a los valores registrados al inicio de la pruebas de almacenamiento.



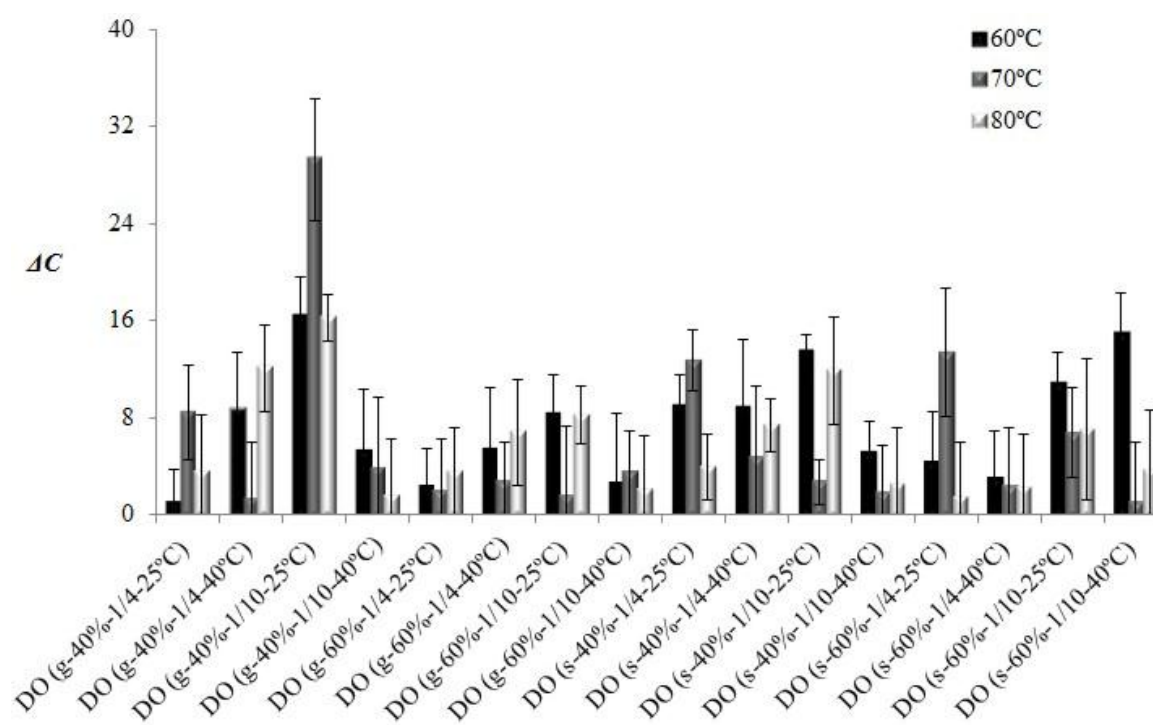
En la **Figura 36** se observa que la variación total del color estuvo comprendida entre 6.3 y 27.4. La menor variación correspondió a las nectarinas tratadas en sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe 1 a 4, una temperatura osmótica de 40 °C y luego secadas por aire a 70 °C, mientras que la mayor variación correspondió a nectarinas tratadas en jarabe de glucosa al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe 1 a 4, una temperatura osmótica de 40 °C y luego secadas por aire a 70 °C. El análisis de la varianza demostró que ninguna variable ejerció un efecto significativo sobre  $\Delta C$  (**Anexo 22**).



**Fig. 36.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

En la **Figura 37** se observa que la variación total del color estuvo comprendida entre 0.99 y 29.29. La menor variación correspondió a las ciruelas tratadas en solución de sorbitol al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe 1 a 10, una temperatura osmótica de 40 °C y luego secadas por aire a 70 °C, mientras que la mayor variación correspondió a ciruelas tratadas en jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe 1 a 10, una temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 70 °C. El análisis de la

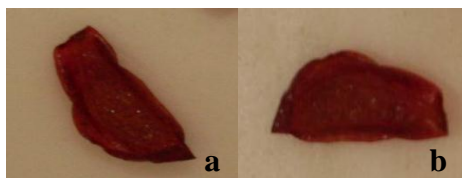
varianza demostró que la variación total del color fue afectada de modo significativo por la temperatura de DO ( $p=0.0232$ ) y la interacción entre la relación fruta/agente osmótico y la temperatura de DO ( $p=0.0223$ ) (**Anexo 23**).



**Fig. 37.** Variación total del color ( $\Delta C$ ) de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento evaluada a través del análisis de la imagen, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

También durante el almacenamiento, la menor variación del color se produce cuando se utiliza sorbitol como agente osmótico (Torregiani *et al.*, 1995; Ozen *et al.*, 2002; Riva *et al.*, 2005). En cuanto a la etapa del secado por aire caliente, tanto para las nectarinas como para las ciruelas, las modificaciones en la apariencia fueron minimizadas a 70 °C.

En la **Figura 38** se exhibe a modo de ejemplo la variación de color de la ciruela secada por métodos combinados (DO+SAC), antes y después del almacenamiento, para una condición experimental.



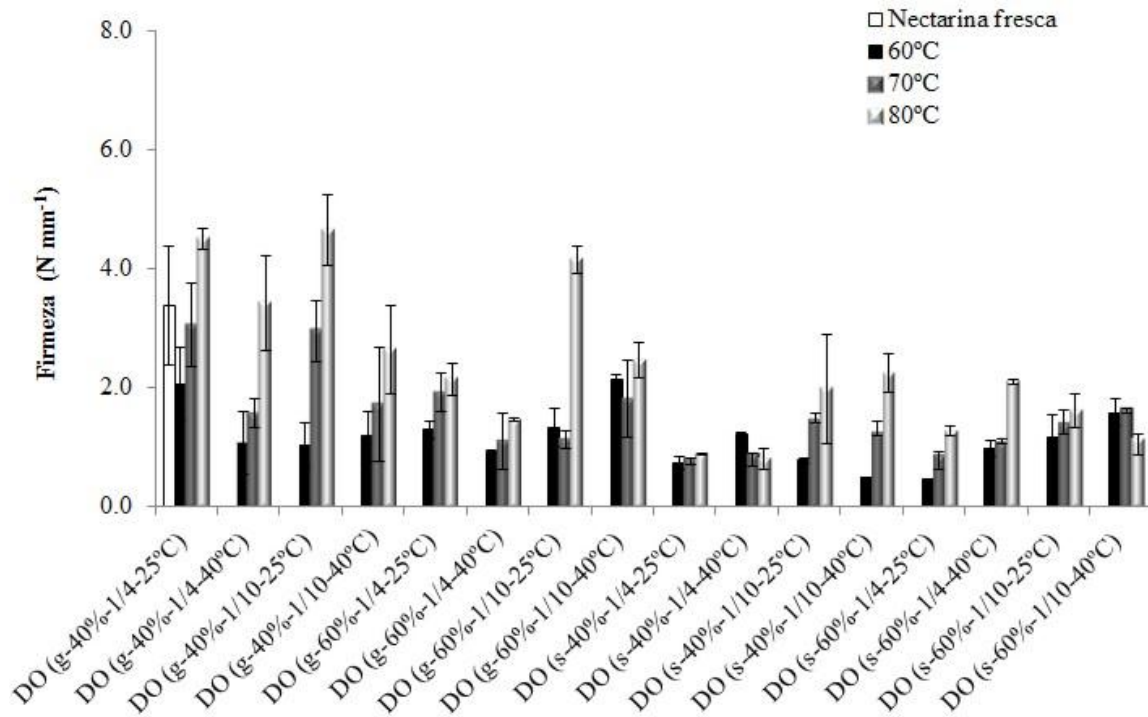
**Fig. 38.** Imagen de la ciruela osmodeshidratada en solución de sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta/agente osmótico 1 a 4, a 25 °C y secada por aire a 80 °C **(a)** y luego de 12 meses de almacenamiento a 5 °C **(b)**.

Finalmente, la estabilidad del color durante el almacenamiento lleva a concluir que el secado por métodos combinados permite conservar a las nectarinas y las ciruelas sin modificaciones importantes en la apariencia, tal como se visualiza en la **Figura 38** para un tratamiento dado.

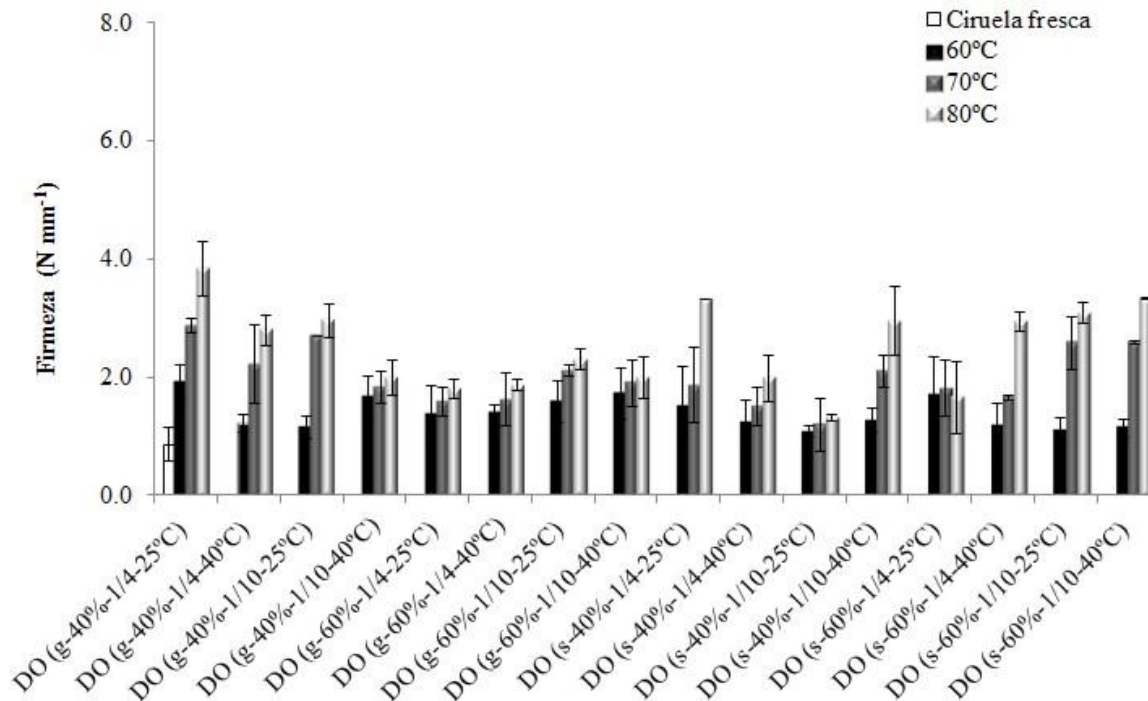
#### ▪ Evaluación de la textura

Las nectarinas frescas presentaron una Firmeza de  $3.378 \pm 0.737 \text{ N mm}^{-1}$ , mientras que las ciruelas frescas presentaron una Firmeza de  $0.858 \pm 0.282 \text{ N mm}^{-1}$ , en ambos casos los valores corresponden al promedio de 12 replicados.

Las **Figuras 39** y **40** muestran la Firmeza de las muestras luego del tratamiento de secado (DO+SAC).



**Fig. 39.** Firmeza de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.



**Fig. 40.** Firmeza de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, agrupadas por tratamientos osmóticos y diferenciadas mediante barras de color negro, gris y blanco según la temperatura sea de 60, 70 u 80 °C.

En la **Figura 39** se observa que los valores de Firmeza de las nectarinas, luego del tratamiento de secado por métodos combinados, quedaron comprendidos entre 0.460 - 4.649 N mm<sup>-1</sup>. El menor valor pertenece a las nectarinas osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, temperatura osmótica de 25 °C y secadas por aire a 60 °C, mientras que el valor más alto corresponde a las nectarinas tratadas en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 80 °C.

En la **Figura 40** se observa que los valores de Firmeza de las ciruelas, luego del tratamiento de secado por métodos combinados, quedaron comprendidos entre 1.079 - 3.829 N mm<sup>-1</sup>. El menor valor pertenece a las ciruelas osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 60 °C, mientras que el valor más alto corresponde a las ciruelas tratadas en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 80 °C.

La **Tabla 33** presenta el análisis de la varianza para los valores de Firmeza en función de las condiciones experimentales.

Para las nectarinas deshidratadas por métodos combinados, la Firmeza estuvo condicionada por el tipo de agente osmótico ( $p < 0.0001$ ), la temperatura de secado ( $p < 0.0001$ ) y las interacciones entre el agente osmótico con la concentración, con la temperatura de DO y con la temperatura de SAC ( $p = 0.0152$ ,  $p = 0.0086$  y  $p = 0.0094$ , respectivamente). Al comparar el tipo de agente osmótico, se observa que las muestras osmodeshidratadas en jarabe de glucosa presentan mayor Firmeza con respecto a las tratadas en sorbitol, el cual se destaca por sus propiedades humectantes (Torregiani *et al.*, 1995; Ozen *et al.*, 2002; Riva *et al.*, 2005).

Por otra parte, para las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, la Firmeza estuvo condicionada por la temperatura de secado ( $p < 0.0001$ ) y por las interacciones entre la variable concentración con el tipo de agente osmótico ( $p = 0.0095$ ) y con la relación fruta/agente osmótico ( $p = 0.0128$ ).

**Tabla 33.** ANOVA para la Firmeza de las nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

Variables	Firmeza					
	Nectarinas			Ciruelas		
	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	37.40	<0.0001	1	0.46	0.5029
Concentración	1	2.76	0.1079	1	0.52	0.4751
Relación fruta/agente osmótico	1	3.81	0.0614	1	0.06	0.8142
Temperatura de DO	1	3.27	0.0819	1	0.47	0.4999
Temperatura de SAC	2	20.02	<0.0001	2	21.46	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	6.72	0.0152	1	7.79	0.0095
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.26	0.6115	1	0.35	0.5595
Agente osmótico*temperatura de DO	1	8.02	0.0086	1	2.76	0.1083
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	5.58	0.0094	2	0.65	0.5291
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	1.46	0.2370	1	7.11	0.0128
Concentración*temperatura de DO	1	2.67	0.1138	1	1.20	0.2828
Concentración*temperatura de SAC	2	2.02	0.1517	2	0.39	0.6807
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.0002	0.9888	1	2.19	0.1500
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.61	0.5498	2	0.53	0.5943
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	1.75	0.1925	2	0.06	0.9431

gl, grados de libertad

En general la Firmeza de las nectarinas disminuyó con respecto al fruto fresco, a excepción de algunas muestras osmodeshidratadas en jarabe de glucosa, bajo distintas condiciones operativas y luego secadas por aire caliente a 80 °C. Estos resultados son coincidentes a los obtenidos por Guiné & Barroca (2010) en el secado de pimiento verde y calabaza, donde los autores también encontraron que las muestras frescas presentaban mayor Firmeza que las procesadas.

La Firmeza de las ciruelas aumentó para todas las condiciones ensayadas con respecto al fruto fresco. Varios autores han estudiado los cambios en las propiedades

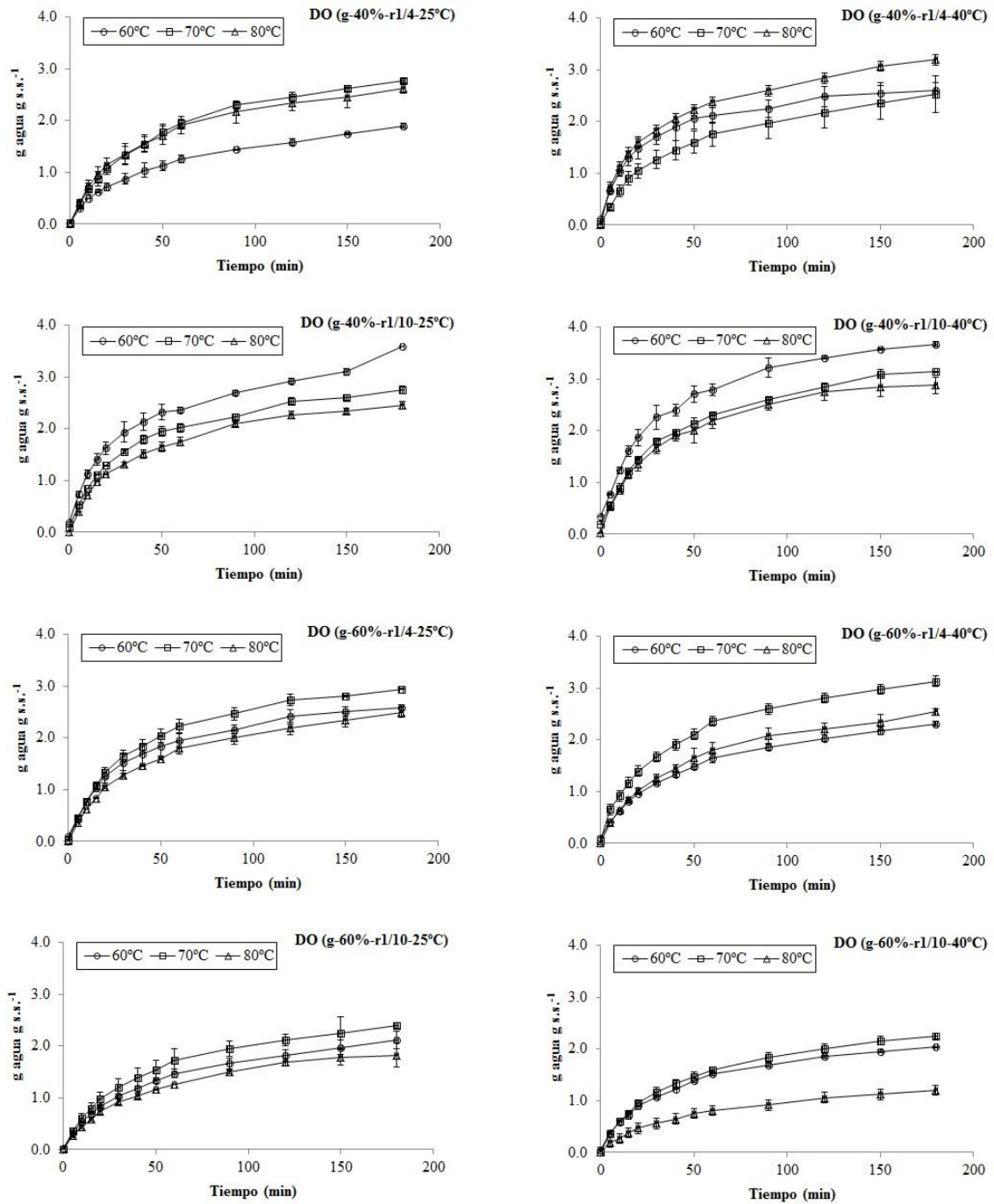
mecánicas de los alimentos durante el secado por convección y, en general, encontraron que un producto blando (fresco) se transforma en un producto rígido (desechado). Alternativamente, se cambió de un comportamiento predominantemente plástico a un comportamiento más elástico (Telis *et al.*, 2005).

En cuanto a la temperatura de secado, para la mayoría de las condiciones, la Firmeza aumenta en función del incremento de la temperatura del aire. Esto se debe a que la Fuerza y la distancia en el punto de rotura, es decir la Firmeza, varían según la humedad de las muestras, ya que a menor humedad, el producto se vuelve más duro (mayor Fuerza máxima) y más corto (menor distancia para su rotura), debido al efecto plastificante del agua (Keqing, 2004).

De lo anterior se deduce, que el tratamiento óptimo que permitió una menor modificación en la textura de las nectarinas y ciruelas deshidratadas por métodos combinados fue cuando se utilizó sorbitol como agente osmótico y temperatura del aire de secado de 60 °C.

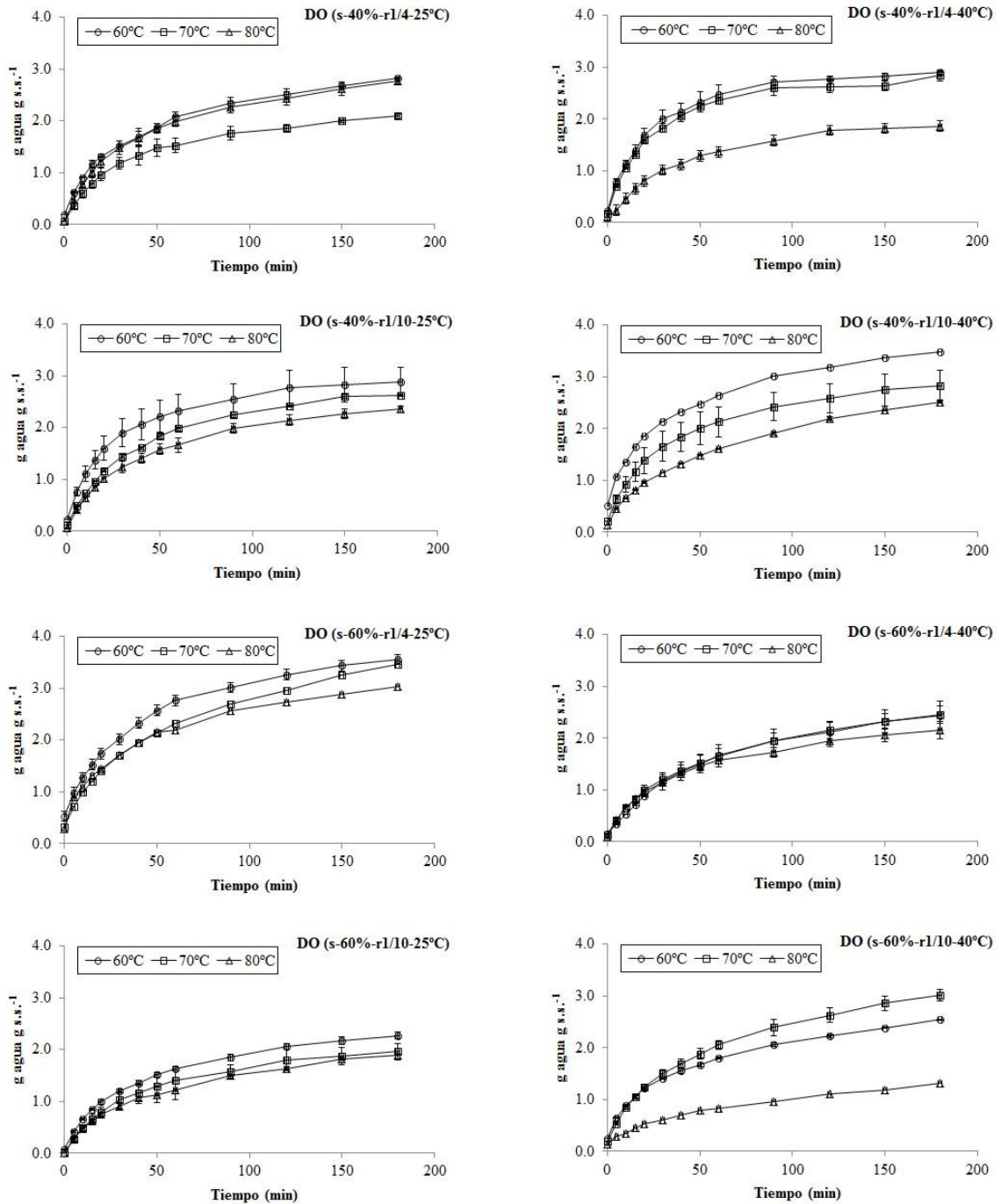
#### ▪ **Evaluación de la capacidad de rehidratación**

Las **Figuras 41** y **42** representan las curvas obtenidas en el proceso de rehidratación en agua de las nectarinas y ciruelas secadas por métodos combinados, donde ambos frutos fueron omodeshidratadas en jarabe de glucosa (**a**) o en sorbitol (**b**), bajo diferentes condiciones operativas.

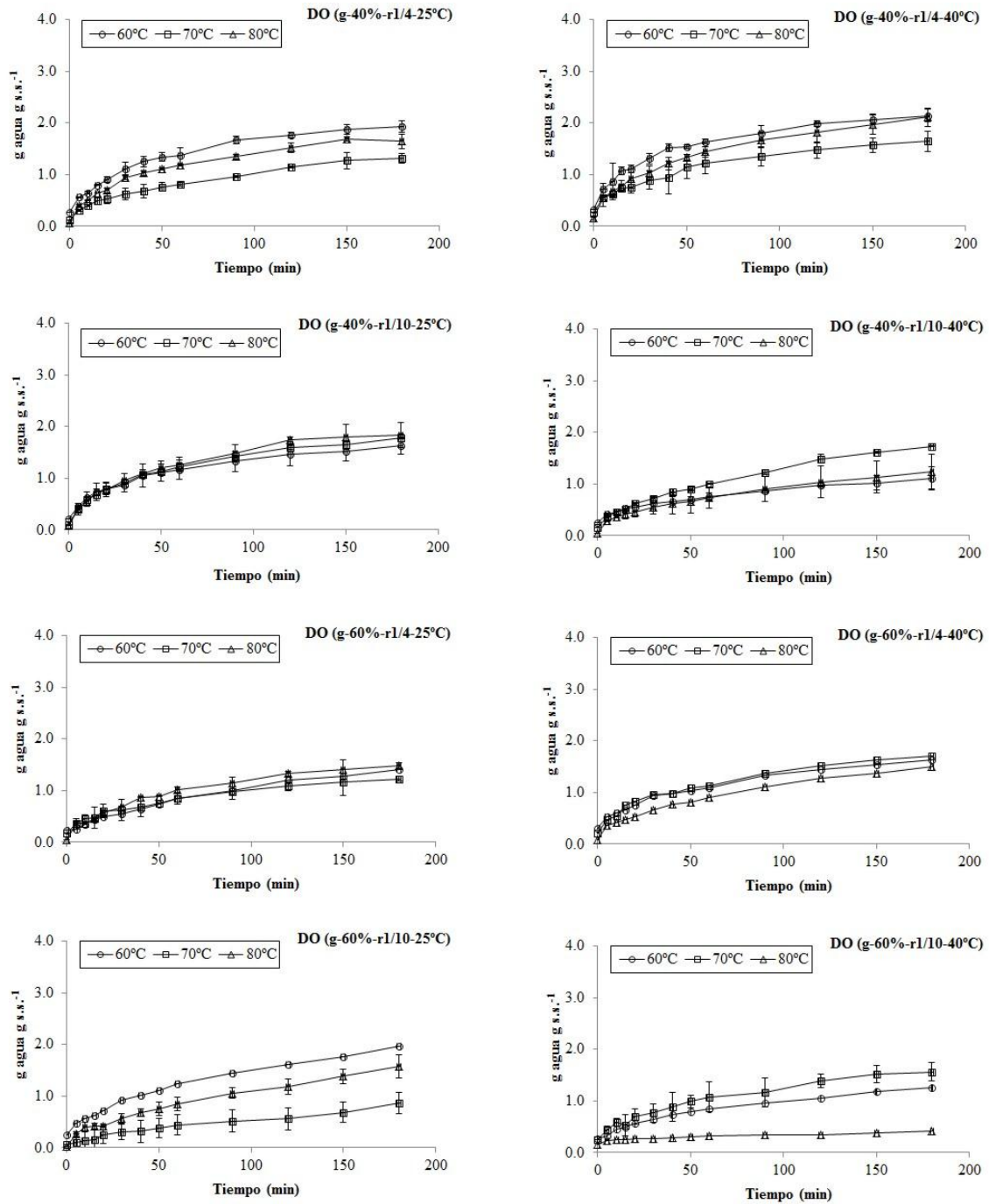


**Fig. 41a.** Cinéticas de rehidratación de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa.

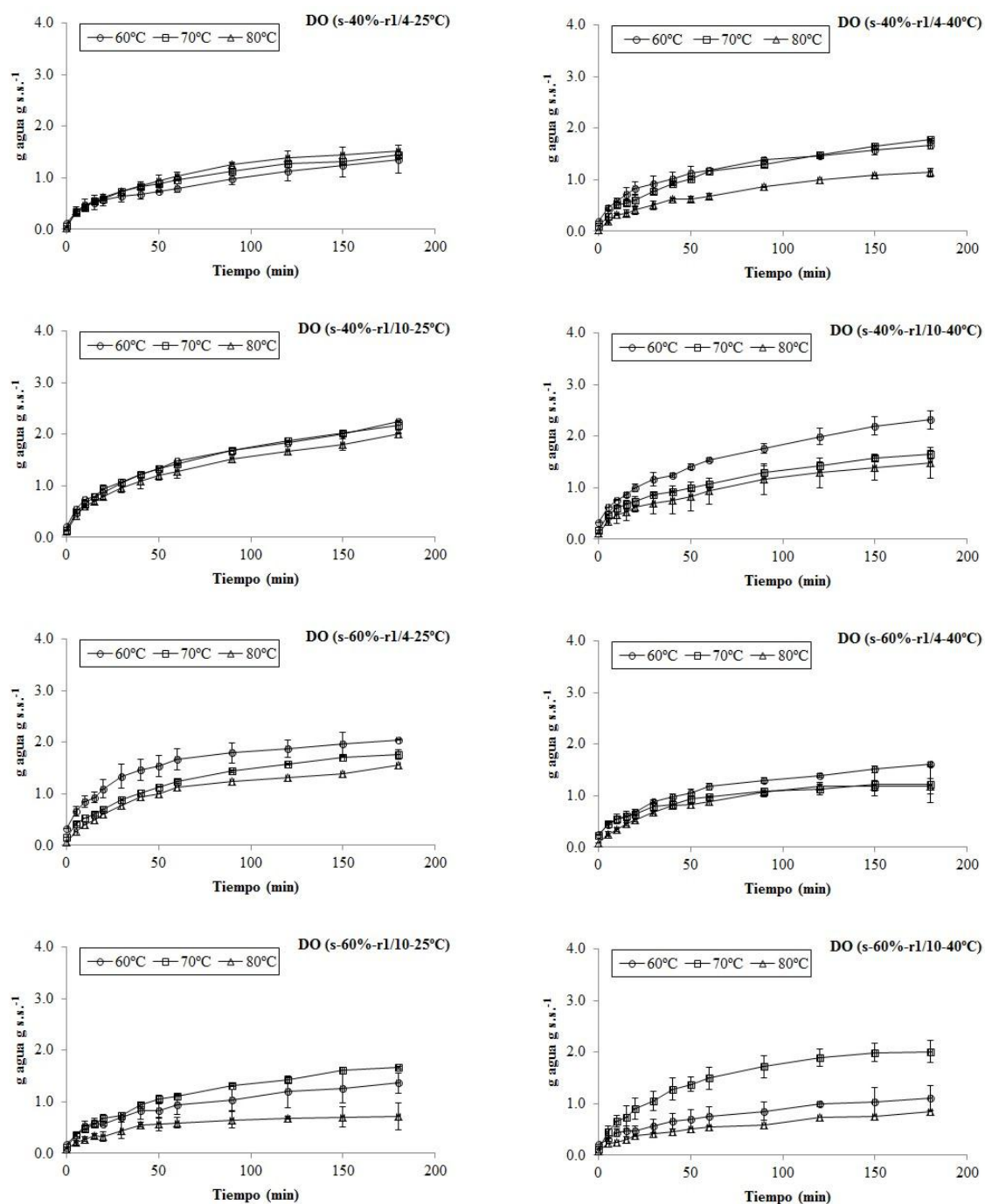




**Fig. 41b.** Cinéticas de rehidratación de las nectarinas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de sorbitol.



**Fig. 42a.** Cinéticas de rehidratación de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de jarabe de glucosa.



**Fig. 42b.** Cinéticas de rehidratación de las ciruelas secadas por aire a 60, 70 u 80 °C, agrupadas por tratamiento osmótico, en solución de sorbitol.

Para la totalidad de las condiciones, la absorción de agua se produjo mayoritariamente en las primeras etapas del proceso de rehidratación, disminuyendo gradualmente la velocidad a medida que la humedad se aproxima al equilibrio. Estos resultados son coincidentes a los publicados por Keqing (2004) para las curvas de

rehidratación de peras secadas por métodos combinados (DO+SAC) y por Marques *et al.* (2009) durante la rehidratación de frutas tropicales a 25 °C.

Las **Tablas 34 y 35** muestran los resultados del análisis de la varianza para los valores de humedad de rehidratación ( $X_r$ ) (g agua g sólido seco<sup>-1</sup>) según la influencia de las variables independientes.

**Tabla 34.** ANOVA para los valores de  $X_r$  en la rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.

Variables	$X_r$		
	gl	F	p
Tiempo	12	497.52	<0.0001
Agente osmótico	1	4.51	0.0341
Concentración	1	194.15	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico	1	30.07	<0.0001
Temperatura de DO	1	1.42	0.2344
Temperatura de SAC	2	96.83	<0.0001
Tiempo*agente osmótico	12	0.21	0.9978
Tiempo*concentración	12	2.17	0.0120
Tiempo*relación fruta/agente osmótico	12	0.60	0.8424
Tiempo*temperatura de DO	12	0.06	0.9999
Tiempo*temperatura de SAC	24	1.02	0.4372
Agente osmótico*concentración	1	19.69	<0.0001
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	6.86	0.0091
Agente osmótico*temperatura de DO	1	19.04	<0.0001
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	28.10	<0.0001
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	293.28	<0.0001
Concentración*temperatura de DO	1	112.79	<0.0001
Concentración*temperatura de SAC	2	27.55	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	23.23	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	45.36	<0.0001
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	15.93	<0.0001

gl, grados de libertad

**Tabla 35.** ANOVA para los valores de  $X_r$  en la rehidratación de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.

Variables	$X_r$		
	gl	F	p
Tiempo	12	207.48	<0.0001
Agente osmótico	1	4.79	0.0290
Concentración	1	101.27	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico	1	17.41	<0.0001
Temperatura de DO	1	3.30	0.0697
Temperatura de SAC	2	55.97	<0.0001
Tiempo*agente osmótico	12	0.24	0.9959
Tiempo*concentración	12	2.23	0.0097
Tiempo*relación fruta/agente osmótico	12	0.27	0.9929
Tiempo*temperatura de DO	12	0.57	0.8637
Tiempo*temperatura de SAC	24	0.24	0.9999
Agente osmótico*concentración	1	11.53	0.0007
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	43.77	<0.0001
Agente osmótico*temperatura de DO	1	6.83	0.0092
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	16.24	<0.0001
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	44.25	<0.0001
Concentración*temperatura de DO	1	0.24	0.6229
Concentración*temperatura de SAC	2	11.10	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	26.47	<0.0001
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	15.04	<0.0001
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	24.94	<0.0001

gl, grados de libertad

Durante el proceso de rehidratación de nectarinas y ciruelas, la variable dependiente  $X_r$  fue afectada significativamente por el tiempo ( $p<0.0001$ ); el agente osmótico ( $p=0.0341$ ;  $p=0.0290$ ); la concentración ( $p<0.0001$ ); la relación fruta/agente osmótico ( $p<0.0001$ ); la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ) y las interacciones de la variable agente osmótico con la concentración ( $p<0.0001$ ;  $p=0.0007$ ), con la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0091$ ;  $p<0.0001$ ), con la temperatura de DO ( $p<0.0001$ ;

$p=0.0092$ ) y con la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ;  $p<0.0001$ ). Además, la concentración interaccionó significativamente con el tiempo de proceso ( $p=0.0120$ ;  $p=0.0097$ ), con la relación fruta/agente osmótico ( $p<0.0001$ ) y con la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ); la relación fruta/agente osmótico tuvo una interacción significativa con la temperatura de DO ( $p<0.0001$ ) y con la temperatura de SAC ( $p<0.0001$ ); y por último, hubo una interacción significativa entre la temperatura de DO y la temperatura de SAC ( $p<0.000$ ) (**Tablas 34 y 35**).

Además, durante la rehidratación de las nectarinas,  $X_r$  fue afectada de modo significativo por la interacción entre la concentración de la solución osmótica y la temperatura de DO ( $p<0.0001$ ).

De las condiciones del tratamiento osmótico, se deduce que cuando las nectarinas y ciruelas fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 40% p/p y con una relación fruta/solución de 1 a 4 se logró un mayor grado de rehidratación. En cuanto a la concentración, Fathi *et al.* (2010) también reportaron que la capacidad de rehidratación de kiwis fue superior cuando se osmodeshidrataron en soluciones menos concentradas (30% p/p) en comparación a los resultados obtenidos en soluciones del 60% p/p. Muchos autores afirman que el tratamiento osmótico previo al secado por aire afecta de forma negativa al proceso de rehidratación (Lenart, 1991; Lenart & Iwaniuk, 1993; Lewicki, 1998; Lee *et al.*, 2006; Falade & Abbo, 2007; Ciurzynska & Lenart, 2010), mientras que Keqing (2004) afirmó que la capacidad de rehidratación de las peras prácticamente no se vio influenciada por el efecto del pre-tratamiento osmótico.

En cuanto al proceso de secado, se observa que la capacidad de rehidratación en ambos frutos, disminuye con el incremento de la temperatura de secado, observándose en general una capacidad de rehidratación ligeramente mayor en los frutos secados a 60 °C. La pérdida de la capacidad de rehidratación posterior al secado a altas temperaturas está relacionada con fenómenos de encostramiento superficial, al colapso de la estructura celular y a la disminución de la porosidad del producto (McMinn & Magee, 1997; Keqing, 2004; Marques *et al.*, 2007; Pan *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2008; Chan *et al.*, 2009 y Fathi *et al.*, 2010). En general parece ser que muchas de las condiciones que favorecían la deshidratación (relación fruta/solución=1/10; temperatura de SAC=80 °C) manifestados por menores valores de  $a_w$  en las nectarinas y ciruelas, fueron justamente las que obstaculizaron la absorción de agua posterior.

De lo anterior se deduce, que el tratamiento óptimo que permitió una mayor rehidratación de las nectarinas y ciruelas deshidratadas por métodos combinados fue cuando se utilizó sorbitol al 40%, relación fruta a jarabe de 1 a 4 y temperatura del aire de secado de 60 °C.

Para poder comparar la capacidad de rehidratación entre las nectarinas y ciruelas secadas por métodos combinados, las cuales presentan al comienzo del proceso una heterogeneidad importante en los valores de humedad ( $X_0$ ), se calculó la tasa de rehidratación ( $XR$ ) como un indicador de la ganancia de agua que pueden experimentar los frutos luego del proceso de secado (**Tablas 36 y 37**, respectivamente).

En la **Tabla 36** se observa que la tasa de rehidratación de las nectarinas varió entre 0.003 y 0.241. La menor capacidad de absorción de agua se registró en las nectarinas osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, una temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 70 °C, mientras que la mayor capacidad de rehidratación se produjo en las muestras osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, una temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 60 °C.

Los ensayos 7 (DO=g-40%-1/10-25°C+SAC=60°C); 10 (DO=g-40%-1/10-40°C+SAC=60°C); 34 (DO=s-40%-1/10-40°C+SAC=60°C); 37 (DO=s-60%-1/4-25°C+SAC=60°C) y 38 (DO=s-60%-1/4-25°C+SAC= (70°C)) fueron los tratamientos que obtuvieron los valores mas altos de  $X_r$ , alcanzando porcentajes de rehidratación, con respecto a las nectarinas frescas del 78.1; 79.6; 75.5; 77.1 y 75.2%, respectivamente. Además, los ensayos 34 y 38 fueron los que lograron los valores de  $X_{r,\infty}$  más altos.

En la **Tabla 37** se observa que la tasa de rehidratación de las ciruelas varió entre 0.011 y 0.591. La menor capacidad de absorción de agua se registró en las ciruelas osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, una temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 60 °C, mientras que la mayor capacidad de rehidratación se produjo en las muestras osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, una temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 70 °C.

Los ensayos 4 (DO=g-40%-1/4-40°C+SAC=60°C); 31 (DO=s-40%-1/10-25°C+SAC=60°C); 32 (DO=s-40%-1/10-25°C+SAC=70°C) y 34 (DO=s-40%-1/10-40°C+SAC=60°C) fueron los tratamientos que obtuvieron los valores mas altos de  $X_r$ , alcanzando porcentajes de rehidratación, con respecto a las ciruelas frescas del 50.9;

53.3; 51.5 y 55.1%, respectivamente. Además, el ensayo 34 fue el que logró el valor de  $X_{r,\infty}$  más alto.

**Tabla 36.** Tasa de rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire.

N°	Tasa de rehidratación				N°	Tasa de rehidratación			
	$X_0$	$X_r(t)$	$X_{r,\infty}$	$XR$		$X_0$	$X_r(t)$	$X_{r,\infty}$	$XR$
<b>1</b>	0.035	1.894	2.485	0.241	<b>25</b>	0.197	2.829	3.175	0.109
<b>2</b>	0.024	2.760	2.784	0.009	<b>26</b>	0.068	2.094	2.415	0.133
<b>3</b>	0.005	2.622	2.820	0.070	<b>27</b>	0.062	2.775	3.055	0.092
<b>4</b>	0.127	2.600	2.656	0.022	<b>28</b>	0.239	2.891	2.938	0.016
<b>5</b>	0.033	2.525	3.149	0.200	<b>29</b>	0.183	2.838	3.539	0.198
<b>6</b>	0.016	3.189	3.659	0.129	<b>30</b>	0.122	1.858	1.947	0.046
<b>7</b>	0.202	3.593	3.617	0.007	<b>31</b>	0.237	2.884	3.162	0.088
<b>8</b>	0.103	2.752	2.759	0.003	<b>32</b>	0.116	2.623	2.925	0.103
<b>9</b>	0.004	2.449	2.884	0.151	<b>33</b>	0.063	2.357	2.688	0.123
<b>10</b>	0.343	3.664	3.696	0.009	<b>34</b>	0.519	3.474	4.371	0.205
<b>11</b>	0.191	3.134	3.482	0.106	<b>35</b>	0.215	2.824	3.232	0.126
<b>12</b>	0.026	2.874	3.081	0.068	<b>36</b>	0.133	2.511	2.873	0.126
<b>13</b>	0.102	2.587	2.879	0.105	<b>37</b>	0.530	3.550	3.595	0.013
<b>14</b>	0.031	2.938	3.071	0.044	<b>38</b>	0.319	3.463	4.059	0.147
<b>15</b>	0.006	2.495	2.740	0.090	<b>39</b>	0.296	3.030	3.336	0.092
<b>16</b>	0.099	2.305	2.633	0.130	<b>40</b>	0.152	2.432	2.604	0.066
<b>17</b>	0.041	3.128	3.489	0.105	<b>41</b>	0.130	2.452	3.210	0.236
<b>18</b>	0.005	2.536	2.796	0.093	<b>42</b>	0.098	2.156	2.413	0.107
<b>19</b>	0.029	2.117	2.350	0.101	<b>43</b>	0.081	2.271	2.568	0.116
<b>20</b>	0.017	2.396	2.758	0.132	<b>44</b>	0.006	1.961	2.100	0.066
<b>21</b>	0.002	1.825	2.156	0.154	<b>45</b>	0.001	1.899	1.932	0.017
<b>22</b>	0.048	2.032	2.136	0.050	<b>46</b>	0.254	2.540	3.187	0.203
<b>23</b>	0.012	2.253	2.542	0.114	<b>47</b>	0.190	3.015	3.351	0.100
<b>24</b>	0.006	1.199	1.444	0.170	<b>48</b>	0.131	1.318	1.550	0.150



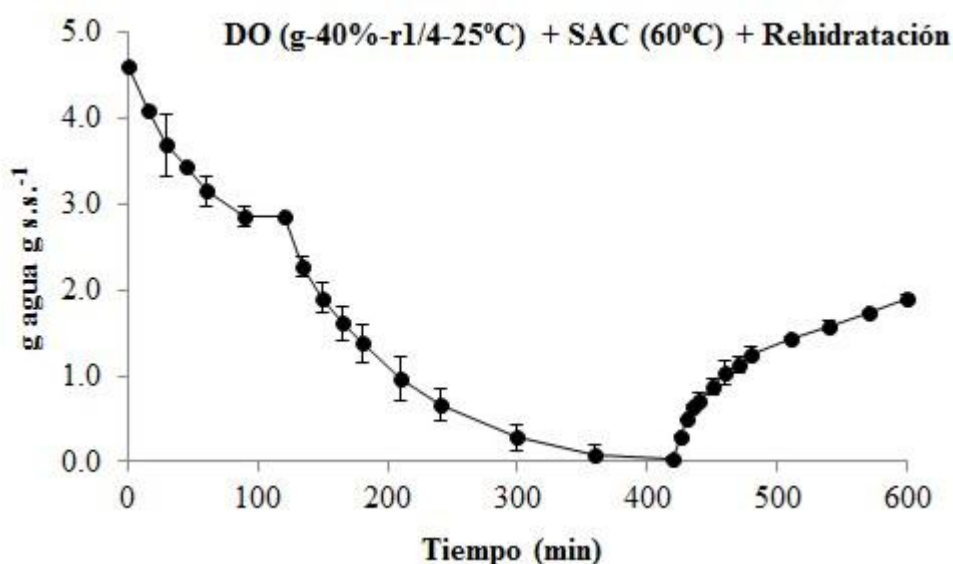
**Tabla 37.** Tasa de rehidratación de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

N°	Tasa de rehidratación				N°	Tasa de rehidratación			
	$X_0$	$X_r(t)$	$X_{r\infty}$	$XR$		$X_0$	$X_r(t)$	$X_{r\infty}$	$XR$
<b>1</b>	0.277	1.928	2.243	0.160	<b>25</b>	0.117	1.359	1.525	0.118
<b>2</b>	0.124	1.314	1.391	0.061	<b>26</b>	0.067	1.440	1.812	0.213
<b>3</b>	0.007	1.644	1.900	0.135	<b>27</b>	0.031	1.511	1.535	0.016
<b>4</b>	0.319	2.140	2.489	0.161	<b>28</b>	0.195	1.670	1.690	0.013
<b>5</b>	0.278	1.641	1.737	0.066	<b>29</b>	0.098	1.781	2.351	0.253
<b>6</b>	0.149	2.108	2.385	0.124	<b>30</b>	0.022	1.138	1.285	0.116
<b>7</b>	0.216	1.623	1.713	0.060	<b>31</b>	0.206	2.241	2.353	0.052
<b>8</b>	0.103	1.780	2.070	0.147	<b>32</b>	0.140	2.167	2.714	0.213
<b>9</b>	0.008	1.837	2.247	0.183	<b>33</b>	0.112	2.013	2.354	0.152
<b>10</b>	0.247	1.106	1.189	0.088	<b>34</b>	0.334	2.316	3.138	0.293
<b>11</b>	0.164	1.732	2.258	0.251	<b>35</b>	0.180	1.644	1.786	0.088
<b>12</b>	0.037	1.240	1.781	0.310	<b>36</b>	0.119	1.474	1.801	0.194
<b>13</b>	0.224	1.412	1.425	0.011	<b>37</b>	0.320	2.047	2.130	0.046
<b>14</b>	0.179	1.228	2.746	0.591	<b>38</b>	0.163	1.761	1.822	0.037
<b>15</b>	0.051	1.481	1.994	0.264	<b>39</b>	0.070	1.549	2.535	0.400
<b>16</b>	0.308	1.638	1.678	0.029	<b>40</b>	0.248	1.606	1.808	0.129
<b>17</b>	0.220	1.697	2.019	0.179	<b>41</b>	0.233	1.226	1.392	0.143
<b>18</b>	0.077	1.499	1.918	0.228	<b>42</b>	0.086	1.181	1.477	0.213
<b>19</b>	0.245	1.960	2.381	0.197	<b>43</b>	0.181	1.362	1.397	0.029
<b>20</b>	0.069	0.872	1.045	0.177	<b>44</b>	0.114	1.662	1.775	0.068
<b>21</b>	0.021	1.573	1.620	0.029	<b>45</b>	0.077	0.720	0.746	0.039
<b>22</b>	0.261	1.266	1.434	0.143	<b>46</b>	0.214	1.106	1.150	0.047
<b>23</b>	0.251	1.562	1.705	0.098	<b>47</b>	0.122	2.013	2.479	0.198
<b>24</b>	0.155	0.417	0.642	0.462	<b>48</b>	0.085	0.846	0.930	0.099

Es evidente que las nectarinas y ciruelas no recuperaron los valores iniciales de contenido de agua, siendo este dato un indicador del daño que han sufrido los productos durante el secado. Además se puede afirmar que la rehidratación no es el proceso reversible de la deshidratación (Jamradloedluk *et al.*, 2004).

De lo anterior se deduce, que el tratamiento óptimo que permitió una mayor absorción de agua fue cuando se utilizaron temperaturas del aire de secado de 60 o 70 °C. Además, las ciruelas presentaron menor grado de rehidratación con respecto a las nectarinas por haber sido procesadas con piel.

La **Figura 43** ilustra la cinética de variación de humedad desde la nectarina en estado fresco, luego durante el proceso de deshidratación osmótica en jarabe de glucosa al 40% p/p durante 2 h, con una relación de fruta a jarabe de 1 a 4, y a una temperatura de 25 °C, seguido de la etapa de secado por aire a 60 °C durante 5 h y finalmente la etapa de rehidratación, donde las muestras se sumergieron durante 3 h en agua destilada, con una relación de fruta a agua de 1 a 30 y a 25 °C.



**Fig. 43.** Cinética del proceso de secado por métodos combinados (DO+SAC) de nectarinas, seguido del proceso de rehidratación.

#### ▪ Modelado matemático de la rehidratación

En las **Tablas 38** y **39** se presentan los valores de los indicadores estadísticos obtenidos del ajuste de la cinética de rehidratación de las nectarinas y ciruelas secadas por métodos combinados (DO+SAC), mediante los modelos de Peleg y Weibull. Los indicadores estadísticos  $X^2$  y  $RMSE$  están expresados en porcentaje (%).

**Tabla 38.** Modelado matemático de la cinética de rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas secadas por aire.

N°	Peleg			Weibull			N°	Peleg			Weibull		
	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE		r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE
1	1.000	0.43	1.66	1.000	0.06	0.63	25	1.000	0.61	1.99	1.000	0.044	0.92
2	1.000	0.11	0.86	1.000	0.00	0.01	26	1.000	0.10	0.80	1.000	0.003	0.01
3	1.000	0.36	1.53	1.000	0.00	0.01	27	1.000	0.32	1.45	1.000	0.001	0.01
4	1.000	0.20	1.14	1.000	0.00	0.01	28	1.000	0.19	1.10	1.000	0.001	0.01
5	1.000	0.49	1.78	1.000	0.00	0.01	29	1.000	0.26	1.29	0.999	0.030	0.04
6	1.000	1.81	3.44	1.000	0.00	0.01	30	1.000	0.18	1.09	1.000	0.002	0.01
7	0.998	3.07	4.47	0.998	0.02	0.03	31	1.000	0.10	0.82	1.000	0.002	0.02
8	1.000	0.36	1.54	1.000	0.00	0.02	32	1.000	0.08	0.73	1.000	0.002	0.01
9	1.000	0.39	1.59	1.000	0.00	0.01	33	1.000	0.14	0.96	1.000	0.001	0.01
10	1.000	0.28	1.35	1.000	0.00	0.02	34	1.000	0.62	2.01	1.000	0.004	0.02
11	1.000	0.31	1.42	1.000	0.00	0.02	35	1.000	0.13	0.90	1.000	0.002	0.01
12	1.000	0.20	1.14	1.000	0.00	0.01	36	1.000	0.52	1.84	1.000	0.002	0.01
13	1.000	0.16	1.01	1.000	0.01	0.02	37	1.000	0.14	0.94	1.000	0.003	0.01
14	1.000	0.09	0.77	1.000	0.00	0.01	38	1.000	0.65	2.06	1.000	0.001	0.01
15	1.000	0.23	1.23	1.000	0.00	0.01	39	1.000	0.95	2.48	1.000	0.002	0.01
16	1.000	0.18	1.09	1.000	0.00	0.01	40	1.000	0.06	0.60	1.000	0.002	0.01
17	1.000	0.63	2.02	1.000	0.00	0.01	41	1.000	0.25	1.27	1.000	0.001	0.01
18	1.000	0.22	1.19	1.000	0.00	0.01	42	1.000	0.22	1.19	1.000	0.001	0.01
19	1.000	0.26	1.29	1.000	0.00	0.01	43	1.000	0.23	1.21	1.000	0.001	0.00
20	1.000	0.14	0.97	1.000	0.00	0.01	44	1.000	0.08	0.72	1.000	0.001	0.01
21	1.000	0.13	0.91	1.000	0.00	0.01	45	1.000	0.44	1.69	0.999	0.005	0.02
22	1.000	0.11	0.83	1.000	0.00	0.01	46	1.000	0.71	2.15	1.000	0.000	0.01
23	1.000	0.22	1.21	1.000	0.00	0.01	47	1.000	0.44	1.68	1.000	0.001	0.01
24	1.000	0.10	0.82	1.000	0.00	0.00	48	1.000	0.19	1.11	1.000	0.001	0.01

En la **Tabla 38** se observa que para el Modelo de Peleg, los indicadores estadísticos se encontraron entre los siguientes valores:  $0.99835 < r < 0.99996$ ,  $0.00056 < X^2 < 0.03069$  y  $0.00603 < RMSE < 0.04469$ , mientras que para el Modelo de Weibull fueron los siguientes:  $0.99836 < r < 0.99998$ ,  $0.00026 < X^2 < 0.02960$  y  $0.00411 < RMSE < 0.04390$ .

**Tabla 39.** Modelado matemático de la cinética de rehidratación de las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

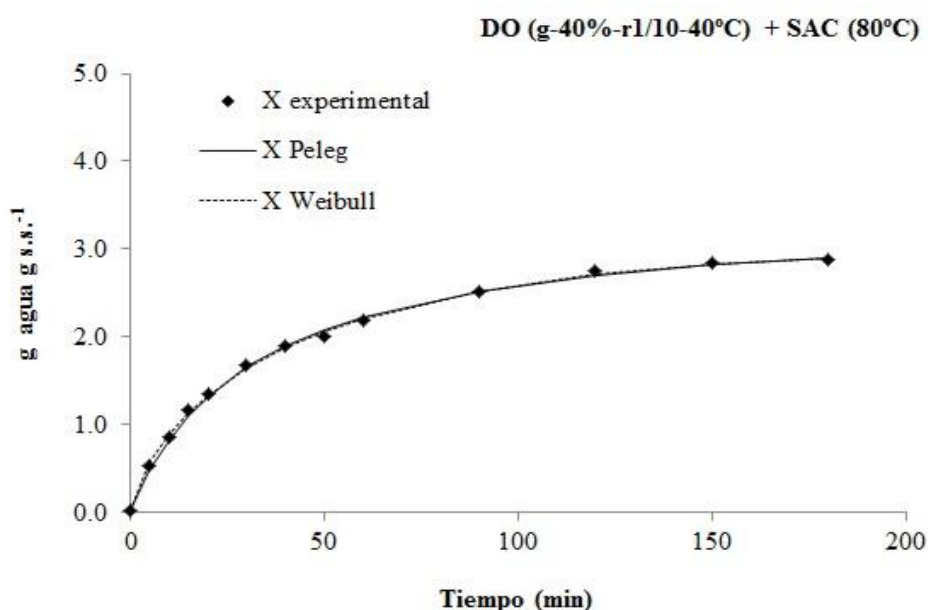
N°	Peleg			Weibull			N°	Peleg			Weibull		
	r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE		r	X <sup>2</sup>	RMSE	r	X <sup>2</sup>	RMSE
1	1.000	0.15	0.99	1.000	0.10	0.81	25	0.999	0.93	2.46	0.999	0.66	2.07
2	0.999	0.37	1.55	0.999	0.41	1.62	26	1.000	0.33	1.47	1.000	3.10	4.49
3	0.999	0.36	1.53	1.000	0.16	1.01	27	1.000	0.44	1.70	1.000	0.49	1.78
4	1.000	0.45	1.70	1.000	0.10	0.81	28	1.000	0.30	1.40	1.000	0.23	1.21
5	1.000	0.36	1.53	1.000	0.26	1.31	29	1.000	0.36	1.54	1.000	0.12	0.90
6	1.000	0.78	2.26	1.000	0.24	1.26	30	1.000	0.30	1.41	1.000	0.20	1.15
7	1.000	0.32	1.44	1.000	0.16	1.01	31	0.999	0.88	2.40	0.999	0.59	1.97
8	1.000	0.44	1.69	1.000	0.06	0.63	32	1.000	0.72	2.17	1.000	0.09	0.75
9	1.000	0.46	1.73	1.000	0.11	0.85	33	0.999	0.78	2.25	1.000	0.23	1.22
10	1.000	0.27	1.32	1.000	0.19	1.10	34	1.000	0.59	1.96	1.000	0.10	0.81
11	1.000	0.34	1.48	1.000	0.19	1.12	35	0.999	0.83	2.33	1.000	0.58	1.94
12	0.999	0.60	1.98	1.000	0.18	1.08	36	1.000	0.51	1.82	1.000	0.22	1.21
13	1.000	0.07	0.69	0.999	0.21	1.16	37	1.000	0.10	0.83	1.000	0.11	0.83
14	1.000	0.27	1.32	1.000	0.06	0.64	38	1.000	0.11	0.86	1.000	0.16	1.03
15	1.000	0.32	1.45	1.000	0.15	0.99	39	0.999	0.13	0.93	0.999	0.56	1.91
16	1.000	0.28	1.36	1.000	0.32	1.45	40	1.000	0.11	0.83	1.000	0.10	0.79
17	1.000	0.60	1.98	1.000	0.24	1.24	41	1.000	0.10	0.79	1.000	0.05	0.54
18	1.000	0.57	1.92	1.000	0.22	1.20	42	1.000	0.08	0.73	0.999	0.24	1.26
19	1.000	0.34	1.48	1.000	0.15	0.98	43	0.999	0.44	1.70	0.999	0.37	1.56
20	0.997	0.23	1.23	0.996	0.23	1.22	44	1.000	0.28	1.36	1.000	0.22	1.18
21	0.999	0.85	2.36	0.998	0.98	2.53	45	1.000	0.06	0.61	1.000	0.05	0.59
22	1.000	0.11	0.83	1.000	0.07	0.68	46	1.000	0.11	0.83	1.000	0.12	0.90
23	1.000	0.33	1.46	1.000	0.31	1.43	47	1.000	0.17	1.05	1.000	0.17	1.04
24	0.999	0.09	0.75	0.999	0.03	0.43	48	0.999	0.22	1.19	0.998	0.10	0.79

En la **Tabla 39** se observa que para el Modelo de Peleg, los indicadores estadísticos se encontraron entre los siguientes valores:  $0.99682 < r < 0.99994$ ,  $0.00058 < X^2 < 0.00929$  y  $0.00615 < RMSE < 0.02459$ , mientras que para el Modelo de Weibull fueron los siguientes:  $0.99580 < r < 0.99993$ ,  $0.00029 < X^2 < 0.03098$  y  $0.00433 < RMSE < 0.04490$ .

Según los indicadores estadísticos, las ecuaciones de Peleg y Weibull describieron adecuadamente las cinéticas de rehidratación de las nectarinas y ciruelas, presentando para todos los tratamientos valores de  $r$  cercano a la unidad y valores bajos de  $X^2$  y  $RMSE$ . Estos resultados son coincidentes a los reportados por Marques *et al.* (2009) para el modelado de la cinética de rehidratación de frutas tropicales.

El modelo semi-empírico propuesto por Peleg (1988) es una ecuación no exponencial constituida por dos parámetros,  $K_1$  que es una constante cinética con dimensión del tiempo y  $K_2$  que es un parámetro adimensional asociado con la relación de máxima rehidratación (Marques *et al.*, 2009). El modelo probabilístico de Weibull se ha empleado para describir el comportamiento de los sistemas o eventos que tienen algún grado de variabilidad, tales como la cinética de rehidratación de las partículas de alimentos, donde  $\alpha$  es el parámetro de forma adimensional y  $\beta$  es el parámetro de escala, con la dimensión del tiempo (Marques *et al.*, 2009).

En la **Figura 44** se exhibe a modo de ejemplo el ajuste de los datos experimentales de la rehidratación de las nectarinas secadas por métodos combinados, bajo determinadas condiciones, mediante las ecuaciones de Peleg y de Weibull. La **Figura 44** permite apreciar la bondad de ajuste de los Modelos de Peleg y de Weibull para una condición de secado (DO+SAC) ya que describen satisfactoriamente los datos experimentales.



**Fig. 44.** Ajuste de los Modelos de Peleg y Weibull a los datos obtenidos de la rehidratación de las nectarinas osmodeshidratadas en glucosa al 40% p/p; relación fruta/agente 1 a 10; 40 °C y secadas por aire a 80 °C.

Las siguientes tablas muestran las constantes de ajuste obtenidas por los Modelo de Peleg (**Tablas 40 - 41**) y de Weibull (**Tablas 42 - 43**) para los 48 tratamientos de secado por métodos combinados realizados en nectarinas y ciruelas, respectivamente.

**Tabla 40.** Constantes de ajuste del Modelo de Peleg para la cinética de rehidratación en nectarinas.

<b>Modelo de Peleg</b>					
<b>N°</b>	<b><math>K_1</math></b>	<b><math>K_2</math></b>	<b>N°</b>	<b><math>K_1</math></b>	<b><math>K_2</math></b>
<b>1</b>	1477.24	0.4168	<b>25</b>	818.25	0.3359
<b>2</b>	844.69	0.2894	<b>26</b>	912.61	0.3426
<b>3</b>	757.95	0.3192	<b>27</b>	762.55	0.4535
<b>4</b>	489.95	0.3608	<b>28</b>	429.64	0.3359
<b>5</b>	938.39	0.3236	<b>29</b>	450.31	0.3426
<b>6</b>	519.95	0.2736	<b>30</b>	1232.98	0.4535
<b>7</b>	703.69	0.2510	<b>31</b>	514.74	0.3296
<b>8</b>	688.57	0.3197	<b>32</b>	780.82	0.3233
<b>9</b>	758.40	0.3405	<b>33</b>	918.11	0.3518
<b>10</b>	521.02	0.2532	<b>34</b>	645.89	0.2812
<b>11</b>	699.18	0.2745	<b>35</b>	706.27	0.3195
<b>12</b>	576.89	0.2937	<b>36</b>	1304.82	0.3044
<b>13</b>	707.61	0.3389	<b>37</b>	684.91	0.2689
<b>14</b>	615.78	0.2890	<b>38</b>	943.82	0.2359
<b>15</b>	862.35	0.3297	<b>39</b>	728.58	0.3038
<b>16</b>	1063.73	0.3623	<b>40</b>	1240.34	0.3256
<b>17</b>	615.79	0.2712	<b>41</b>	1152.01	0.3290
<b>18</b>	854.58	0.3247	<b>42</b>	1015.98	0.3976
<b>19</b>	1166.55	0.3812	<b>43</b>	975.15	0.3699
<b>20</b>	920.49	0.3416	<b>44</b>	1084.21	0.4137
<b>21</b>	1255.75	0.4284	<b>45</b>	1371.93	0.4042
<b>22</b>	999.86	0.4143	<b>46</b>	1013.71	0.3539
<b>23</b>	955.56	0.3619	<b>47</b>	952.16	0.2701
<b>24</b>	2130.25	0.6528	<b>48</b>	2998.40	0.5920

**Tabla 41.** Constantes de ajuste del Modelo de Peleg para la cinética de rehidratación en ciruelas.

<b>Modelo de Peleg</b>					
<b>N°</b>	<b><math>K_1</math></b>	<b><math>K_2</math></b>	<b>N°</b>	<b><math>K_1</math></b>	<b><math>K_2</math></b>
<b>1</b>	1385.99	0.4766	<b>25</b>	3062.54	0.5426
<b>2</b>	2976.53	0.5635	<b>26</b>	1833.56	0.5776
<b>3</b>	1343.36	0.5002	<b>27</b>	1568.35	0.5303
<b>4</b>	1002.53	0.4624	<b>28</b>	1559.42	0.5484
<b>5</b>	1892.83	0.5646	<b>29</b>	2017.45	0.4199
<b>6</b>	1338.25	0.3980	<b>30</b>	2820.14	0.6364
<b>7</b>	1628.97	0.5739	<b>31</b>	1556.33	0.3682
<b>8</b>	1417.20	0.4765	<b>32</b>	1361.29	0.3781
<b>9</b>	1314.23	0.4414	<b>33</b>	1572.03	0.4013
<b>10</b>	3906.50	0.8326	<b>34</b>	1767.14	0.3454
<b>11</b>	2798.82	0.3788	<b>35</b>	2055.38	0.4975
<b>12</b>	2895.49	0.5820	<b>36</b>	2387.19	0.5227
<b>13</b>	4536.47	0.4266	<b>37</b>	923.49	0.5017
<b>14</b>	2890.60	0.6962	<b>38</b>	1673.28	0.4683
<b>15</b>	1857.78	0.5317	<b>39</b>	1554.96	0.5608
<b>16</b>	2366.81	0.5438	<b>40</b>	2004.36	0.5649
<b>17</b>	1859.10	0.5092	<b>41</b>	1767.61	0.8375
<b>18</b>	2464.42	0.4889	<b>42</b>	1692.17	0.7272
<b>19</b>	2308.30	0.3857	<b>43</b>	2485.44	0.6392
<b>20</b>	10135.33	0.3844	<b>44</b>	1819.98	0.4823
<b>21</b>	3012.69	0.3878	<b>45</b>	2230.51	1.3415
<b>22</b>	3807.25	0.6682	<b>46</b>	3788.81	0.7850
<b>23</b>	2607.32	0.5178	<b>47</b>	1080.95	0.4225
<b>24</b>	11384.36	3.0427	<b>48</b>	4246.36	0.9746

En el modelado de las cinéticas de rehidratación de nectarinas, la constante de ajuste  $K_1$  varió en un rango comprendido entre 429.64 y 2998,40 mientras que  $K_2$  varió entre 0.2359 y 0.6528 (**Tabla 40**).

El análisis de la varianza permitió apreciar que las constantes de ajuste  $K_1$  y  $K_2$  fueron influenciadas significativamente por la concentración ( $p=0.0004$ ;  $p=0.0305$ ), la

temperatura de SAC ( $p=0.0080$ ;  $p=0.0024$ ) y las interacciones entre la variable concentración con la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0039$ ;  $p=0.0001$ ) y con la temperatura de DO ( $p=0.0144$ ;  $p=0.0437$ ). Los valores de  $K_1$  y  $K_2$  fueron superiores cuando las nectarinas se osmodeshidrataron en soluciones osmóticas preparadas al 60% p/p y secadas por aire a 80 °C.

Además  $K_1$  fue influenciada significativamente por la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0281$ ) y por las interacciones entre la temperatura de SAC con la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0087$ ) y con la temperatura de DO ( $p=0.0403$ ). Con respecto a la relación fruta/agente osmótico,  $K_1$  tomó valores superiores cuando la relación fue de 1 a 10 (**Anexo 24**).

Durante el modelado de las cinéticas de rehidratación de ciruelas, la constante de ajuste  $K_1$  varió en un rango comprendido entre 923.49 y 11384.36, mientras que  $K_2$  varió entre 0.3454 y 3.0427 (**Tabla 41**).

El análisis de la varianza permitió apreciar que la constante de ajuste  $K_1$  fue influenciada significativamente por el tipo de agente osmótico ( $p=0.0464$ ), la concentración ( $p=0.0280$ ) y la relación fruta/agente osmótico ( $p=0.0396$ ). Los valores de  $K_1$  fueron superiores cuando las ciruelas fueron osmodeshidratadas en jarabe de glucosa al 60% p/p y con una relación fruta/solución de 1 a 10. Mientras que la constante de ajuste  $K_2$  no fue influenciada ( $p\leq 0.05$ ) por ninguna variable del proceso (**Anexo 25**).



**Tabla 42.** Constantes de ajuste del Modelo de Weibull para la cinética de rehidratación en nectarinas.

<b>Modelo de Weibull</b>					
<b>N°</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>N°</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>
<b>1</b>	0.6558	6722.71	<b>25</b>	0.6979	3823.41
<b>2</b>	0.9248	2946.52	<b>26</b>	0.6338	3760.62
<b>3</b>	0.7265	3185.93	<b>27</b>	0.7061	3511.29
<b>4</b>	0.7013	1878.61	<b>28</b>	0.7661	1790.20
<b>5</b>	0.6400	5383.82	<b>29</b>	0.4565	4006.13
<b>6</b>	0.5908	3425.03	<b>30</b>	0.8930	3006.38
<b>7</b>	0.7425	3273.25	<b>31</b>	0.6225	2550.16
<b>8</b>	0.8114	2480.98	<b>32</b>	0.7283	3357.90
<b>9</b>	0.6341	3840.75	<b>33</b>	0.7073	3790.42
<b>10</b>	0.8457	2398.57	<b>34</b>	0.5697	5395.90
<b>11</b>	0.7271	3482.36	<b>35</b>	0.6509	3626.95
<b>12</b>	0.7435	2635.05	<b>36</b>	0.8128	4807.59
<b>13</b>	0.6931	3372.43	<b>37</b>	0.8816	2762.92
<b>14</b>	0.7731	2704.00	<b>38</b>	0.7625	5144.98
<b>15</b>	0.7252	3547.82	<b>39</b>	0.6914	3467.17
<b>16</b>	0.7151	4192.88	<b>40</b>	0.8881	3860.37
<b>17</b>	0.6791	3404.75	<b>41</b>	0.6652	6505.40
<b>18</b>	0.7228	3625.53	<b>42</b>	0.7015	3668.97
<b>19</b>	0.7472	3955.97	<b>43</b>	0.7060	3781.36
<b>20</b>	0.6931	4064.76	<b>44</b>	0.7833	3209.23
<b>21</b>	0.7175	4249.48	<b>45</b>	0.9017	3222.10
<b>22</b>	0.7902	2940.75	<b>46</b>	0.6189	5791.15
<b>23</b>	0.7102	3738.96	<b>47</b>	0.7900	5790.52
<b>24</b>	0.7033	4942.51	<b>48</b>	0.7997	4171.54

**Tabla 43.** Constantes de ajuste del Modelo de Weibull para la cinética de rehidratación en ciruelas.

<b>Modelo de Weibull</b>					
<b>N°</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>N°</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>
<b>1</b>	0.7029	4396.20	<b>25</b>	0.8539	5195.20
<b>2</b>	0.9597	4198.76	<b>26</b>	0.6475	5850.68
<b>3</b>	0.7139	3782.82	<b>27</b>	0.9074	2962.90
<b>4</b>	0.6075	4004.64	<b>28</b>	0.8389	3010.88
<b>5</b>	0.8381	3629.26	<b>29</b>	0.7319	7308.24
<b>6</b>	0.7383	4407.44	<b>30</b>	0.8447	4552.99
<b>7</b>	0.7749	3383.43	<b>31</b>	0.8473	4154.44
<b>8</b>	0.6902	4481.90	<b>32</b>	0.6817	5981.50
<b>9</b>	0.6818	4757.04	<b>33</b>	0.7332	5283.62
<b>10</b>	0.8500	4548.90	<b>34</b>	0.7272	8199.02
<b>11</b>	0.8622	7457.82	<b>35</b>	0.8408	4160.30
<b>12</b>	0.6935	8993.38	<b>36</b>	0.7695	5814.28
<b>13</b>	1.2667	4786.74	<b>37</b>	0.7157	2538.83
<b>14</b>	0.5443	34502.91	<b>38</b>	0.9374	3394.20
<b>15</b>	0.6557	6841.47	<b>39</b>	0.5226	13533.03
<b>16</b>	0.9440	3764.26	<b>40</b>	0.7638	4557.17
<b>17</b>	0.7208	5159.89	<b>41</b>	0.6406	3534.02
<b>18</b>	0.7579	6783.41	<b>42</b>	0.6301	4422.05
<b>19</b>	0.8240	6556.59	<b>43</b>	0.8735	3656.25
<b>20</b>	1.0747	8098.39	<b>44</b>	0.8605	3830.64
<b>21</b>	1.0257	4750.52	<b>45</b>	0.7699	2251.70
<b>22</b>	0.8544	5578.10	<b>46</b>	0.9519	4073.68
<b>23</b>	0.9173	4494.00	<b>47</b>	0.6438	4612.12
<b>24</b>	0.5351	20452.94	<b>48</b>	0.7097	4717.00

En el modelado de las cinéticas de rehidratación de nectarinas, la constante de ajuste  $\alpha$  varió en un rango comprendido entre 0.4565 y 0.9248, mientras que  $\beta$  varió entre 1790.20 y 6722.71 (**Tabla 42**). El análisis de la varianza permitió apreciar que las constantes de ajuste  $\alpha$  y  $\beta$  no fueron influenciadas ( $p \leq 0.05$ ) por ninguna variable del proceso (**Anexo 26**).

Durante el modelado de las cinéticas de rehidratación de ciruelas, la constante de ajuste  $\alpha$  para las ciruelas varió en un rango comprendido entre 0.5226 y 1.2667, mientras que  $\beta$  varió entre 2251.70 y 34502.91 (**Tabla 43**). El análisis de la varianza permitió apreciar que las constantes de ajuste  $\alpha$  y  $\beta$  no fueron influenciadas ( $p \leq 0.05$ ) por ninguna variable del proceso (**Anexo 27**).

El parámetro  $\alpha$  mide la velocidad de absorción de agua al comienzo del proceso de rehidratación, cuando todavía los capilares y las cavidades cercanas a la superficie se llenan muy rápido. Cuanto menor sea el valor de  $\alpha$ , mayor será la velocidad de absorción de agua al principio del proceso (García-Pascual *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2009). El parámetro  $\beta$  puede ser comparado con el coeficiente efectivo de difusión del modelo difusivo, ya que representa la constantes cinéticas de la ecuación, que mide el grado de dificultad o facilidad del material para rehidratarse (Marques *et al.*, 2009).

#### ▪ Evaluación del contenido de antioxidantes

La **Tabla 42** muestra los resultados del análisis de la varianza para los valores de Fenoles Totales y Flavonoides según la influencia de las variables independientes.

El contenido de Fenoles Totales (mg ácido gálico 100 g sólido seco<sup>-1</sup>) fue influenciado significativamente por la temperatura de secado ( $p < 0.0001$ ), observándose diferencias significativas entre los resultados obtenidos al utilizar una temperatura de secado de 60 °C con respecto a los obtenidos al secar las ciruelas a 70 u 80 °C.

El contenido de Flavonoides (mg catequina 100 g sólido seco<sup>-1</sup>) fue afectado significativamente por el tipo de agente osmótico ( $p = 0.0013$ ) y por la temperatura de secado ( $p < 0.0001$ ). En cuanto al tipo de agente osmótico, se observa que el contenido de Flavonoides fue superior cuando las ciruelas fueron osmodeshidratadas en solución de sorbitol. Con respecto a la temperatura de secado, las ciruelas secadas por aire a 70 °C presentaron mayor contenido de Flavonoides, seguida de la temperatura de 80 °C y 60 °C, respectivamente.

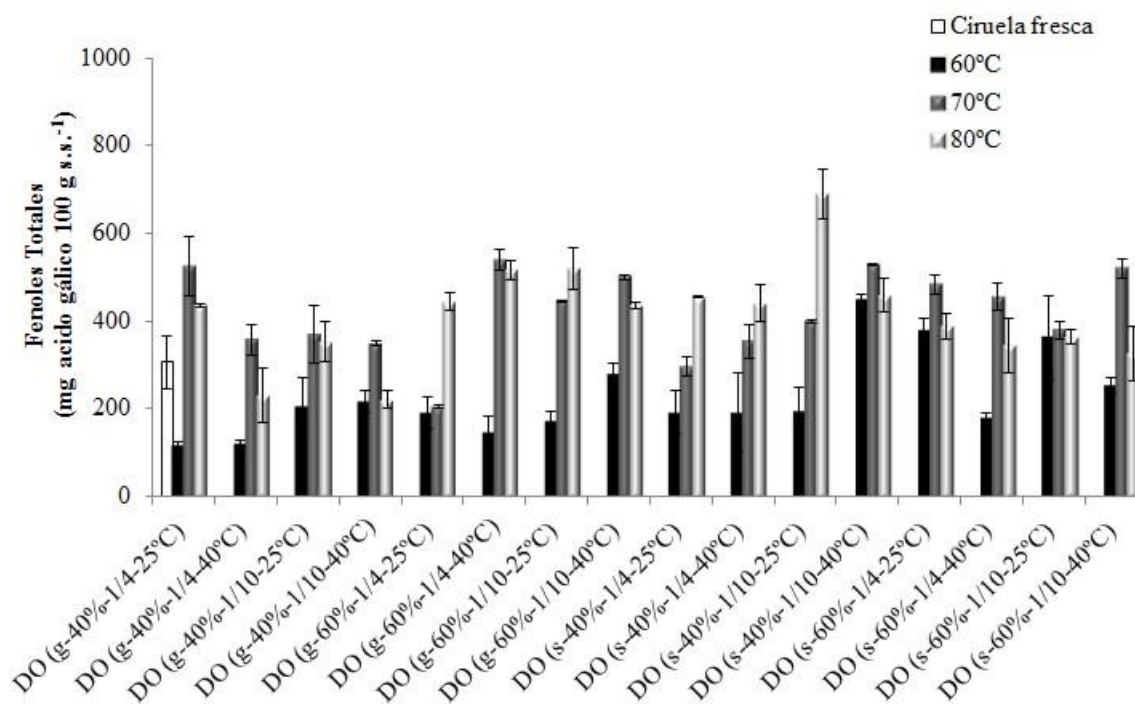
En este trabajo se realizaron determinaciones del contenido de antioxidantes en las ciruelas frescas y luego del tratamiento combinado, no así en el proceso intermedio luego de la deshidratación osmótica, algunos autores como Rozek *et al.* (2010) demostraron que el tratamiento osmótico previo al secado convectivo evita la degradación fenólica en uvas.

**Tabla 44.** ANOVA para los valores de Fenoles Totales y Flavonoides en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire.

Variables	<i>Fenoles Totales</i>			<i>Flavonoides</i>		
	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	2.64	0.1156	1	12.77	0.0013
Concentración	1	0.88	0.3568	1	0.06	0.8066
Relación fruta/agente osmótico	1	1.89	0.1805	1	0.02	0.9029
Temperatura de DO	1	0.05	0.8334	1	1.57	0.2216
Temperatura de SAC	2	17.33	<0.0001	2	20.89	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	2.34	0.1375	1	0.01	0.9114
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.51	0.4793	1	2.13	0.1557
Agente osmótico*temperatura de DO	1	6.6x <sup>-05</sup>	0.9936	1	1.95	0.1745
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.59	0.5600	2	2.65	0.0889
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.35	0.5575	1	0.83	0.3699
Concentración*temperatura de DO	1	0.44	0.5136	1	0.44	0.5117
Concentración*temperatura de SAC	2	0.14	0.8735	2	0.17	0.8456
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.18	0.6763	1	1.0x <sup>-04</sup>	0.9919
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.37	0.6928	2	1.56	0.2287
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	1.99	0.1561	2	2.32	0.1171

gl, grados de libertad

La **Figura 45** exhibe el efecto de tratamiento de secado por métodos combinados sobre el contenido de Fenoles Totales, en comparación con las ciruelas sin tratar.



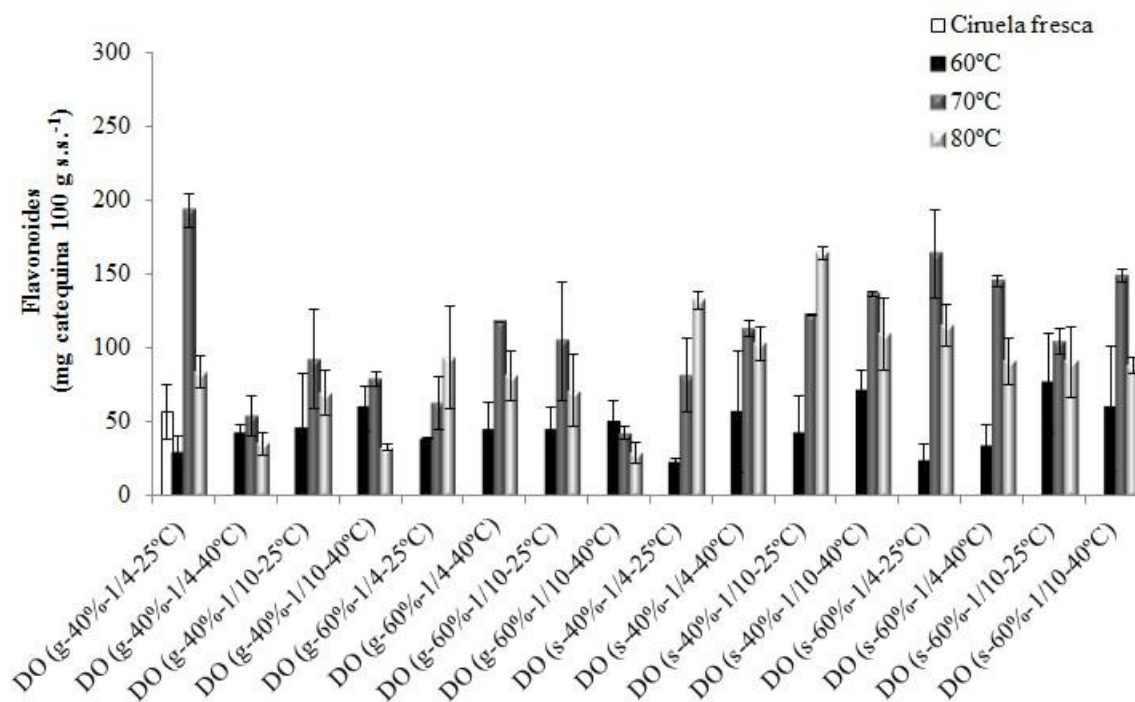
**Fig. 45.** Contenido de Fenoles Totales en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.

Las ciruelas que partían de un contenido de Fenoles Totales inicial de  $305.15 \pm 60.99$  mg ácido gálico  $100 \text{ g sólido seco}^{-1}$ , luego del secado por métodos combinados (DO+SAC) los valores quedaron comprendidos entre  $114.93 - 688.54$  mg ácido gálico  $100 \text{ g sólido seco}^{-1}$  dependiendo de las condiciones experimentales. Las muestras osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, una temperatura del baño osmótico de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y luego secadas por aire a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  fueron las que presentaron menor contenido de Fenoles Totales, mientras que las osmodeshidratadas en sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, una temperatura osmótica de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y luego secadas por aire a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  presentaron mayor cantidad de Fenoles Totales.

En relación a la temperatura de secado, se observa que cuando se utilizó una temperatura de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  el contenido de Fenoles Totales (mg ácido gálico  $100 \text{ g sólido seco}^{-1}$ ) fue inferior al de las ciruelas frescas para la mayoría de las condiciones. Por otra parte, cuando se secó a  $70$  u  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  el contenido de Fenoles Totales (mg ácido gálico  $100 \text{ g sólido seco}^{-1}$ ) fue superior a los obtenidos en las ciruelas frescas para la mayoría de las condiciones ensayadas. Finalmente, si comparamos entre las temperaturas de secado, se observa que para un mismo tratamiento osmótico, las ciruelas secadas a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , en

general presentaron mayor contenido de Fenoles Totales, seguida de la temperatura de 80 °C y 60 °C, respectivamente.

La **Figura 46** exhibe el efecto de tratamiento de secado por métodos combinados sobre el contenido de Flavonoides, en comparación con las ciruelas sin tratar.



**Fig. 46.** Contenido de Flavonoides en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.

Las ciruelas que partían de un contenido de Flavonoides inicial de  $56.43 \pm 18.40$  mg catequina 100 g sólido seco<sup>-1</sup>, luego del secado por método combinado (DO+SAC) los valores quedaron comprendidos dentro de un rango de 22.64 - 192.70 mg de catequina 100 g sólido seco<sup>-1</sup>, dependiendo de las condiciones experimentales. Las muestras osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, una temperatura del baño osmótico de 25 °C y luego secadas por aire a 60 °C fueron las que presentaron menor contenido de Flavonoides, mientras que las osmodeshidratadas en glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, una temperatura osmótica de 25 °C y luego secadas por aire a 70 °C presentaron mayor cantidad de Flavonoides.

En relación a la temperatura de secado, del mismo modo que para el contenido de Fenoles Totales, se observa que cuando se utilizó una temperatura de 60 °C el

contenido de Flavonoides (mg catequina 100 g sólido seco<sup>-1</sup>) fue inferior al de las ciruelas frescas para la mayoría de las condiciones. Por otra parte, cuando se secó a 70 u 80 °C el contenido de Flavonoides (mg catequina 100 g sólido seco<sup>-1</sup>) fue superior a los obtenidos en las ciruelas frescas para la mayoría de las condiciones ensayadas. Finalmente, si comparamos entre las temperaturas de secado, se observa que para un mismo tratamiento osmótico, las ciruelas secadas a 70 °C presentaron en general un mayor contenido de Flavonoides, seguida de la temperatura de 80 °C y 60 °C, respectivamente. Siendo estos resultados coincidentes a los obtenidos en la determinación de Fenoles Totales.

El aumento del contenido de antioxidantes en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire con respecto a los valores iniciales en las ciruelas frescas, se debe a que durante el proceso de secado se forman productos de la caramelización que tienen características antioxidantes. Este comportamiento podría ser el resultado de dos factores: (i) se sabe que los polifenoles en una etapa intermedia de oxidación tienen mayor poder antioxidante que al inicio, aunque este comportamiento es temporal, y (ii) que los procesos a alta temperatura pueden conducir a la formación de nuevos compuestos con mayor actividad antioxidante. Esto es esencialmente el caso de la reacción de Maillard, donde se forman productos de reacción con mayor poder antioxidante como el hidroximetilfurfural (HMF) (Elizalde *et al.*, 1992. Yen & Hsieh, 1995; Piga *et al.*, 2003).

Por otra parte, las ciruelas secadas a 60 °C presentan menor contenido de antioxidantes, dado que a esa temperatura de trabajo están activas las enzimas polifenoloxidasas que actúan sobre los compuestos fenólicos. Mientras que cuando el proceso se realiza a temperaturas mayores de 65 - 70 °C se logra la inactivación de las enzimas polifenoloxidasas evitando la degradación de los compuestos fenólicos presentes en las frutas (Piga *et al.*, 2003).

Desde que Singleton & Rossi en 1965 desarrollaron este método colorimétrico para medir la cantidad de Fenoles Totales utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu, se lo ha utilizado en diferentes materiales (plantas, alimentos). Para calcular el contenido de Fenoles Totales se deben realizar curvas de calibración utilizando diferentes sustancias químicas equivalentes. En general, los Fenoles Totales se expresan en términos de equivalentes molares de ácido gálico (Singleton & Rossi, 1965; Arnous *et*

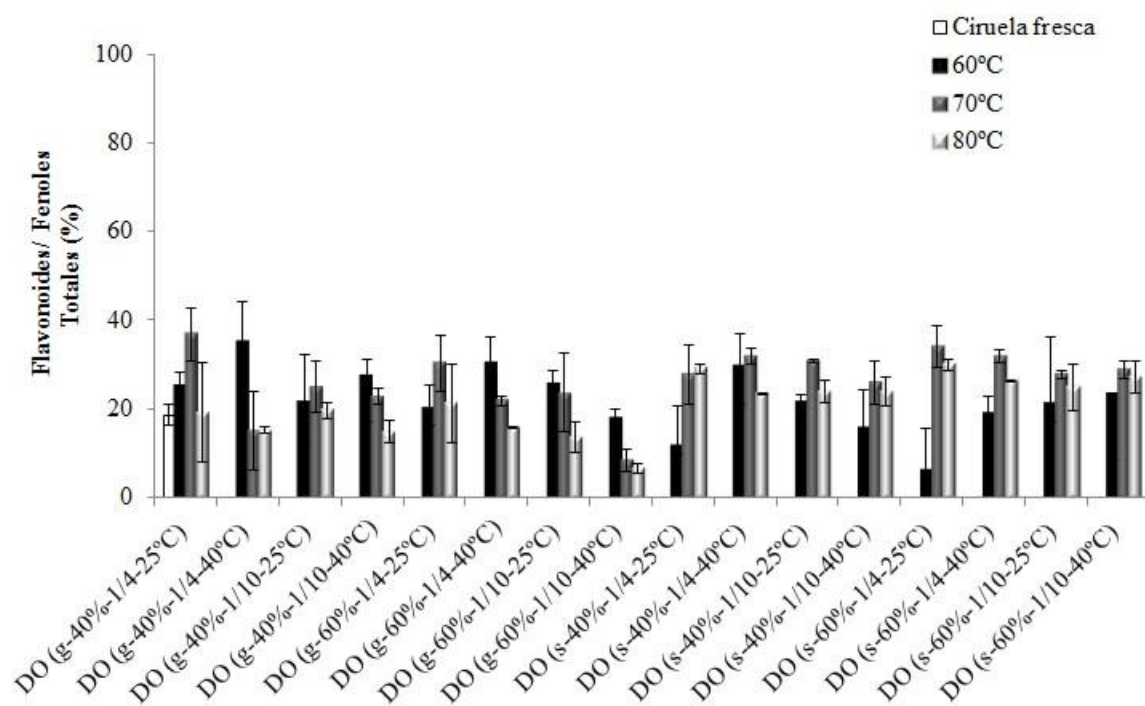
*al.*, 2001; Kahkonen *et al.*, 2001; Zheng & Wang, 2001; Proteggente *et al.*, 2002) o (+) catequina (Zielinski & Kozłowska, 2000; Vinson *et al.*, 2001).

Dentro de los compuestos antioxidantes en las ciruelas, se sabe que el ácido neoclorogénico y el ácido clorogénico son los polifenoles predominantes tanto en la frutas frescas como deshidratadas (Nakatani *et al.*, 2000; Fang *et al.*, 2002).

Los autores Chun & Kim (2004) determinaron la presencia de ácido clorogénico y ácido gálico en 13 variedades de ciruelas, siendo el valor promedio de 678.2 mg 100 g<sup>-1</sup> para los compuestos fenólicos expresados como equivalente de ácido clorogénico, mientras que fue de 368.7 mg 100 g<sup>-1</sup> para los compuestos fenólicos expresados como equivalentes de ácido gálico. Por lo tanto, el ácido clorogénico es más apropiado para ser utilizado como equivalente químico del contenido de Fenoles Totales.

De todas maneras, el ácido gálico sigue siendo el mas utilizado como equivalente químico para determinar el contenido de Fenoles Totales en amplios materiales biológicos debido a su satisfactoria solubilidad, adecuada estabilidad, bajo precio, entre otros factores (Chun & Kim, 2004).

La **Figura 47** muestra la relación entre el contenido de Fenoles Totales y el contenido de Flavonoides expresada en porcentaje.



**Fig. 47.** Relación entre el contenido de Fenoles Totales y el contenido de Flavonoides en las ciruelas osmodeshidratadas secadas por aire caliente.



Se observa una proporción de Flavonoides con respecto al total de Fenoles Totales comprendida en el siguiente rango: 6.33 - 36.75. Los Flavonoides son un tipo de compuestos fenólicos. Donde el menor valor corresponde a las ciruelas osmodeshidratadas en solución de sorbitol al 60% p/p, con una relación fruta/solución de 1/4, temperatura osmótica de 25 °C y secadas por aire a 60 °C, mientras que el mayor valor corresponde a las ciruelas osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1/4, temperatura osmótica de 25 °C y secadas por aire a 70 °C.

Marinova *et al.* (2005) determinaron la relación de Flavonoides con respecto al total de Fenoles Totales en distintas frutas frescas (peras, manzanas, ciruelas, duraznos, uvas, moras, frambuesas, cerezas, arándanos, higos), encontrándose las relaciones Flavonoides/Fenoles Totales comprendidas entre 15 y 56%, donde el menor valor corresponde a las frambuesas y el mayor valor a las peras sin piel. Para el caso particular de las ciruelas frescas, la relación entre el contenido de Flavonoides con respecto al total de Fenoles Totales fue del 45%.

De lo anterior se deduce, que el tratamiento óptimo que permitió obtener un mayor contenido de compuestos antioxidantes fue cuando las ciruelas fueron secadas por aire a 70 °C, independientemente de las condiciones empleadas en el tratamiento osmótico.

## **Conclusión**

El secado por métodos combinados permitió disminuir la actividad acuosa mediante la eliminación del agua y la incorporación de solutos provenientes del tratamiento osmótico. Siendo las nectarinas y ciruelas secadas por aire a 80 °C y pre-tratadas con sorbitol, la que alcanzaron la mayor reducción de  $a_w$ .

La evaluación del color mediante el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen mostraron una disminución en la luminosidad y amarillamiento, y un aumento del enrojecimiento debido al pardeamiento que se manifestó durante el proceso de secado. La comparación entre los métodos demostró que cuando hay heterogeneidad en la apariencia de las porciones de fruta, es recomendable utilizar el análisis de la imagen para evaluar el color. La estabilidad del producto fue comprobada mediante el almacenamiento, sin producirse modificaciones importantes en la apariencia.

La Firmeza de las nectarinas y ciruelas, para la mayoría de las condiciones, aumentó en función del incremento de la temperatura del aire de secado.

Las variables que favorecieron la deshidratación, como el empleo de altas temperaturas de secado, fueron justamente las que obstaculizaron la absorción de agua en el proceso de rehidratación posterior. Las ecuaciones de Peleg y de Weibull describieron adecuadamente las cinéticas de rehidratación de las nectarinas y ciruelas, siendo de gran interés desde el punto de vista ingenieril, predecir el proceso y conocer el efecto de las diferentes variables.

El contenido de antioxidantes en las ciruelas estuvo condicionado por la temperatura de secado, siendo el contenido de Fenoles Totales y Flavonoides superior cuando fueron secadas a 70 °C.

**Nomenclatura**

$a$	Enrojecimiento
$a_0$	Enrojecimiento inicial
$a_w$	Actividad de agua
$b$	Amarillamiento
$b_0$	Amarillamiento inicial
$DO$	Deshidratación osmótica
$K_1; K_2; \alpha; \beta$	Constantes de los modelos
$L$	Luminosidad
$L_0$	Luminosidad inicial
$pH$	Potencial de Hidrógeno
$r$	Coefficiente de correlación
$RMSE$	Raíz de los cuadrados medios del error
$SAC$	Secado por aire caliente
$s.s.$	Sólido seco
$t$	Tiempo (s)
$X_r$	Humedad de rehidratación (g agua g sólido seco <sup>-1</sup> )
$X_{r,\infty}$	Humedad de rehidratación en el equilibrio
$X_0$	Humedad inicial
$XR$	Razón de humedad o tasa de rehidratación
$X^2$	Chi-cuadrado reducido
$\Delta C$	Variación de color

## **Bibliografía**

- Abdullah M. Z., Guan, L. C., Lim, K. C. & Karim, A. A. (2001). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering*, vol. 61, pp. 125-135.
- Arnous, A., Makris, D. P. & Kefalas, P. (2001). Effect of principal polyphenolic components in relation to antioxidant characteristics of aged red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, pp. 5736-5742.
- Atarés, L., Chiralt, A. & González-Martínez, C. (2009). Effect of the impregnated solute on air drying and rehydration of apple slices (ct. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, vol. 91, pp. 305-310.
- Balasundram, N., Sundram, K. & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, vol. 99, pp. 191-203.
- Bolin, H. R. & Steele, R. J. (1987). Nonenzymatic browning in dried apples during storage. *Journal of Food Science*, vol. 52(6), pp. 1654-1657.
- Calvo, C. & Durán, L. (1997). Propiedades Físicas II: Ópticas y color. En: Temas en tecnología de alimentos. Editor Aguilera, J. M. Instituto Politécnico Nacional, España, pp. 261-281.
- Chan, E. W.C., Lim, Y. Y., Wong, S. K., Lim, K. K., Tan, S. P., Lianto, F. S. & Yong, M. Y. (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food Chemistry*, vol. 113, pp. 166-172.
- Cheftel, J. C. & Cheftel, H. (1992). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos, Zaragoza, España, Ed. ACRIBIA S.A.
- Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Hawlader, M. N. A., Chou, S. K. & Ho, J. C. (2001). Batch drying of banana pieces- effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, vol. 34, pp. 721-731.
- Chun, O. K. & Kim, D. (2004). Consideration on equivalent chemicals in total phenolic assay of chlorogenic acid-rich plums. *Food Research International*, 37, pp. 337-342.
- Ciurzynska, A. & Lenart, A. (2010). Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. *Journal of Food Engineering*, vol. 97, pp. 267-274.

- Clydesdale, F. M. (1993). Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 33(1), pp. 83-101.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo C. W. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dorantes-Álvarez, L. & Chiralt, A. (2000). Color of minimally processed fruits and vegetables as affected by some chemical and biochemical changes. En Alzamora, S. M.; Tapia, M. S.; López-Malo, A. (Eds): *Minimally processed fruits and vegetables*. Aspen Publication: Gaithersburg, Maryland, pp. 111-126.
- Dorota, K. (2006). The effect of enzymatic treatments on dried vegetable color. *Drying Technology*, vol. 24(9), pp. 1173-1178.
- Elizalde, B. E., Bressa, F. & Dalla Rosa, M. (1992). Antioxidative action of Maillard reaction volatiles: influence of Maillard solution browning level. *Journal of American Oil Chemists' Society*, vol. 69, 331-334.
- Escalada Pla, M. F., Ponce, N. M., Wider, M. E., Stortz, C. A., Rojas, A. M. & Gerschenson, L. N. (2005). Chemical and biochemical changes of pumpkin (*Cucumis moschata*, Duch) tissue in relation to osmotic stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 85, pp. 1852-1860.
- Falade, K. O. & Abbo, E. S. (2007). Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits. *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 724-730.
- Fang, N., Yu, S. & Prior, R. L. (2002). LC/MS/MS characterization of phenolic constituents in dried plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, pp. 3579-3585.
- Fathi, M., Mohebbi, M. & Razavi, S. M. A. (2010). Genetic algorithm optimization of drying conditions of kiwifruit. 15th International Drying Symposium (IDS 2010), Magdeburg, Germany, 3-6 October 2010.
- Franklin, M., Bu, S. Y., Lerner, M. R., Lancaster, E. A., Bellmer, D., Marlow, D., Lightfoot, S. A., Arjmandi, B. H., Brackett, D. J., Lucas, E. A. & Smith, B. J. (2006). Dried plum prevents bone loss in a male osteoporosis model via IGF-I and the RANK pathway. *Bone*, vol. 39, pp. 1331-1342.

- Gallaher, C. M. & Gallaher, D. D. (2008). Dried Plums (prunes) reduce atherosclerosis lesion area in apolipoprotein E-deficient mice. *British Journal of Nutrition*, vol. 101, pp. 233-239.
- García-Pascual, P., Sanjuán, N., Melis, R. & Mulet, A. (2006). Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. *Journal of Food Engineering*, vol. 72, pp. 46-353.
- Giraldo, G., Vázquez, R., Martín-Esparza, M. E. & Chiralt, A. (2006). Rehydration kinetics and soluble solids lixiviation of candied mango fruit as affected by sucrose concentration. *Journal of Food Engineering*, vol. 77, pp. 825-834.
- Guiné, R. P. F. & Barroca, M. J. (2010). Effect of drying on the textural attributes of Green pepper and pumpkin. 15th International Drying Symposium (IDS 2010), Magdeburg, Germany, 3-6 October 2010.
- Guiné, R. P. F., Lima, M. J., Barroca, M. J. & Ferreira, D. (2010). Analysis of the alterations in the color of pears dried under different systems. 15th International Drying Symposium (IDS 2010), Magdeburg, Germany, 3-6 October 2010.
- Hunter, R. S. (1975). Scales for the measurements of color difference. In *The Measurement of Appearance* (pp. 133-140). New York; John Wiley & Sons.
- Imeh, U. & Khokhar, S. (2002). Distribution of conjugated and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, pp. 6301-6306.
- Jamradloedluk J., Nathakaranakule A., Soponronnarit, S. & Prachayawarakorn, S. (2004). Modelling of dehydration and rehydration kinetics of Durian. ICFPTE, 2004.
- Kahkonen, M. P., Hopia, A. I., Heinonen, M. (2001). Berry phenolics and their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, pp. 4076-4082.
- Kahlon, T. S. & Smith G. E. (2007). In vitro binding of bile acids by blueberries (*Vaccinium spp.*), plums (*Prunus spp.*), prunes (*Prunus spp.*), strawberries (*Fragaria X ananassa*), cherries (*Malpighia punicifolia*), cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) and apples (*Malus sylvestris*). *Food Chemistry*, vol. 100, pp. 1182-1187.
- Kaleta, A. & Górnicki, K. (2010). Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 45, pp. 891-898.

- Keqing, D. Xue (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla). Tesis doctoral, Universidad politécnica de Valencia, España.
- Khoyi, M. R. & Hesari J. (2007). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution, *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 1355-1360.
- Kim, D., Jeong, S. W. & Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*, vol. 81, pp. 321-326.
- Krokida, M. K. & Marinos-Kouris, D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, vol. 57, pp. 1-7.
- Lee, K. T., Farid, M. & Nguang, S. K. (2006). The mathematical modeling of the rehydration characteristics of fruits. *Journal of Food Engineering*, vol. 72, pp. 16-23.
- Lenart, A. & Iwaniuk, B. (1993). Mass transfer during rehydration of dewatered apple, pumpkin and carrot. *Polish Journal of Food Nutrition and Science*, vol. 2/43 (4), pp. 69-76.
- Lenart, A. (1991). Sorption properties of apples and carrot preserved by osmoconvection method. *Food Technology and Nutrition*, vol. 19, pp. 27-35.
- Lewicki, P. P (1998). Some remarks on rehydration of dried food. *Journal of Food Engineering*, vol. 36, pp. 81-87.
- Lombard, G. E., Oliveira, J. C., Fito, P. & Andrés, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 85, pp. 277-284.
- Makris, D. P., Kallithraka, S., Kefalas, P. (2006). Flavonols in grapes, grape products and wines: Burden, profile and influential parameters. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19, pp. 396-404.
- Maldonado, S., Arnau, E. & Bertuzzi, M. A. (2010). Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. *Journal of Food Engineering*, vol. 96, pp. 333-341.
- Mandala, I. G., Anagnostaras, E. F. & Oikonomou, C. K. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on Apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, vol. 69, pp. 307-316.
- Marinova, D., Ribarova, F. & Atanassova, M. (2005). Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruit and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, vol. 40(3), pp. 255-260.

- Marques, L. G., Prado, M. M. & Freire, J. T. (2009). Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *Food Science and Technology*, vol. 42, pp. 1232-1237.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras J. M. & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, vol. XVII (6), pp. 271-278.
- Martínez-Vásquez, J. B. (2007). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos orgánicos de semillas de *Heliocarpus Terebinthinaceus*. Tesis doctoral, Universidad Tecnológica de La Mixteca, México.
- Mayer, A. M. & Harel, E. (1979). Polyphenol oxidase in plants. *Phytochemistry*, vol. 18, pp. 193-215.
- Mayer, A. M. (1961). Subcellular location of sulphite reductase in plant tissues. *Plant Physiology*, vol. 42(3), pp. 324-326.
- Mayor, L., Silva, M. A. & Sereno, A. M. (2005). Microestructural changes during drying of apples slices. *Journal of Drying Technology*, vol. 23, pp. 2261-2276.
- McMinn, W. A. M. and Magee, T. R. A. (1997). Quality and physical structure of dehydrated starch based system. *Drying Technology*, vol. 15 (6/8), pp. 1961-1971.
- Monnerat, S. M., Pizzi, R. M., Mauro, T. M. A. & Menegalli, F. C. (2010). Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: Concentration profiles and effective diffusion coefficients. *Journal of Food Engineering*, vol. 100, pp. 604-612.
- Nakatani, N., Kayano, S., Kikuzaki, H., Sumino, K., Katagiri, K., & Mitani, T. (2000). Identification, quantitative determination, and antioxidative activities of chlorogenic acid isomers in prune (*Prunus domestica L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, pp. 5512-5516.
- Nihal, T., Sari, F. & Velioglu, Y. S. (2006). Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin–Ciocalteu methods. *Food chemistry*, vol. 99(4), pp. 835-841.
- Orak, H. H. (2007). Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. *Scientia Horticulturae*, vol. 111, pp. 235-241.
- Osorio, C., Franco, M. S., Castaño, M. P., González-Miret, M. L., Heredia, F. J. & Morales, A. L. (2007). Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 8, pp. 353-359.



- Ozen B. F., Dock, L. L. Ozdemir M. & Floros J. D. (2002). Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 37, pp.497-502.
- Pan, Z., Shih, C., McHugh, T. H. & Hirschberg, E. (2008). Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze drying. *LWT-Food Science and Technology*, vol. 41, 1944-1951.
- Papadakis, S. E., Adbul-Malek, S., Kamdem, R. E. & Yam, K. L. (2000). A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. *Food Technology*, vol. 54(12), pp. 48-51.
- Peleg, M. (1998). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, vol. 53(4), pp. 1216-1219.
- Piga, A., Del Caro, A., Corda, G. (2003). From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, pp. 3675-3681.
- Piirainen, L., Peuhkuri, K., Bäckström, K., Korpela, R. & Salminen, S. (2007). Prune juice has a mild laxative effect in adults with certain gastrointestinal symptoms. *Nutrition Research*, vol. 27, pp. 511-513.
- Primo-Yúfera, E. (1997). Química de los alimentos. Editorial Síntesis. Madrid, España.
- Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Paganga, G., van Buren, L., Wagner, E., Wiseman, S., van de Put, F., Dacombe, C. & Rice-Evans, C. A. (2002). The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radical Research*, vol. 36, pp. 217-233.
- Quintero-Chávez, R., Quintero-Ramos, A., Jiménez-Castro, J., Barnard, J., Márquez-Meléndez, R., Zazueta-Morales, J. & Balandrán-Quintana, R. (2012). Modeling of total soluble solid and NaCl uptake during osmotic treatment of bell peppers under different infusion pressures. *Food Bioprocess Technology*, vol. 5, pp. 184-192.
- Riva, M., Campolongo, S., Avitabile Leva, A., Maestrelli, A. & Torreggiani, D. (2005). Structure-property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*, vol. 38, pp. 533-542.
- Riva, M., Cortellino, G., Maestrelli, A. & Torreggiani, D. (2001). Structure collapse and colour changes in osmo-air-dehydrated peach cubes. *Food Science and Biotechnology*, vol. 10, pp. 598-601.

- Rodrigues, S. & Fernandes, F. A. N. (2006). Osmotic dehydration of melon in a ternary system followed by air drying. *15th International Drying Symposium (IDS 2006)*, Budapest, Hungary, 20-23 August 2006.
- Rózek, A., García-Pérez, J. V., López, F. Güell, C. & Ferrando, M. (2010). Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 99, pp. 142-150.
- Ruíz Díaz, G., Martínez-Monzó, J., Fito, P. & Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 4, pp. 203-209.
- Russ, J. C., Stewart, W. & Russ, J. C. (1998). The measurement of macroscopic image. *Food Technology*, vol. 42, pp. 94-102.
- Scalbert, A. & Williamson, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *Journal of Nutrition*, vol. 130, pp. 2073-2085.
- Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B. & Battino, M. (2005). Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, vol. 21, pp. 207-213.
- Sellappan, S. & Akoh, C. C. (2002). Flavonoids and antioxidant capacity of georgia-grown vidalia onions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, pp. 5338-5342.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A., Jr. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 16, pp. 144-158.
- Tarhan, S. (2007). Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 255-260.
- Telis, V. R. N., Telis-Romero, J. & Gabas, A. L. (2005). Solids rheology for dehydrated food and biological materials. *Drying Technology*, vol. 23, pp.759-780.
- Timoumi, S., Mihoubi, D. & Zagrouba, F. (2007). Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infra-red drying of apple slices. *LWT – Food Science and Technology*, vol. 40, pp. 1648-1654.
- Torregiani, D., Forni, E., Erba, M. L. & Longoni, F. (1995). Functional properties of pepper osmodehydrated in hidrolised cheese whey permeate with or without sorbitol. *Food Research International*, vol. 28, pp. 161-166.

- Vinson, J. A., Su, X., Zubik, L. & Bose, P. (2001). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, pp. 5315-5321.
- Wilkinson, L. (1990). SYSTAT: The System for Statistics: Statistics, Evanston: SYSTAT 2007, Inc. version N° 12.02.00.
- Yen, G. C. & Hsieh, P. (1995). Antioxidative activity and scavenging effects on active oxygen of xylose-lysine Maillard reaction products. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, vol. 67, pp. 415-420.
- Zheng, W. & Wang, S. Y. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, pp. 5165-5170.
- Zielinski, H. & Kozłowska, H. (2000). Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, pp. 2008-2016.
- Zura-Bravo, L., Vega-Gálvez, A., Lemus-Momdaca, R., Shun Ah-hen, K. & Di Scala, K. (2012). Effect of temperature on rehydration kinetics, functional properties, texture and antioxidant activity of red pepper var. Hungarian (*Capsicum Annum L.*). *Journal of Food Processing and Preservation*, DOI: 10.1111/j.1745-4549.2011.00623.x.

## CONCLUSIONES GENERALES

- En la deshidratación osmótica de nectarinas y ciruelas se produce una disminución de la humedad y un incremento del contenido de sólidos solubles, con un consecuente aumento de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en función del tiempo del proceso, el tipo y la concentración del agente osmótico, y la relación fruta a solución osmótica. Las muestras osmodeshidratadas durante 120 minutos en solución de sorbitol, con una relación de fruta a solución de 1 a 10 y una concentración del 60%, fueron las que obtuvieron mayor grado de deshidratación.
- La variación de la temperatura del tratamiento osmótico de 25 a 40 °C no tuvo un efecto significativo sobre la humedad, el contenido de sólidos solubles, la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. Sin embargo, el valor de humedad final más bajo y el contenido de sólidos solubles más alto se alcanzó a temperatura ambiente.
- Durante la deshidratación osmótica de nectarinas los coeficientes difusionales calculados por el método analítico para placa plana fueron superiores en relación a los calculados considerando la geometría real. A pesar de que la solución analítica proporcionó un mejor ajuste de los datos experimentales, la solución numérica proporciona valores de los coeficientes más reales.
- La transferencia simultánea de agua desde las ciruelas hacia la solución y la de sólidos desde la solución hacia el fruto fue favorecida por el agente osmótico sorbitol, a una concentración del 60% p/p y con una relación de fruta a jarabe de 1 a 10. Tanto para las nectarinas como para las ciruelas, los coeficientes difusionales calculados por el método analítico se encuentran en concordancia con los publicados en la literatura.
- El estudio de la osmodeshidratación de nectarinas y ciruelas permite aportar información relevante para la industria del secado y optimizar el proceso a partir de las variables estudiadas. Cabe aclarar, que la deshidratación osmótica no es

una metodología que deba aplicarse sola, sino que debe ir acompañada de otra técnica de conservación como el secado por aire caliente que permita alcanzar la humedad de seguridad de producto.

- En la etapa de secado por aire de nectarinas y ciruelas osmodeshidratadas, la deshidratación aumenta proporcionalmente con el incremento de la temperatura de secado, estando los resultados condicionados por el tratamiento osmótico.
- Durante el secado por aire se observó una relación directa entre el aumento de la temperatura de secado y los valores de los coeficientes efectivos de difusión.
- La velocidad de secado disminuyó proporcionalmente a la reducción de la humedad y con el avance del tiempo, para todas las condiciones ensayadas. Por otra parte, la velocidad de secado se incrementó en función al aumento de la temperatura de secado debido a una mayor difusión del agua del interior de la porción de los frutos hacia la superficie.
- Durante el secado por aire todos los tratamientos presentaron únicamente el período de velocidad decreciente, por lo que tratamiento osmótico favoreció la pérdida de humedad en las muestras. La ausencia del período de velocidad de secado constante indica que en el proceso de secado gobernó la difusión.
- Los modelos matemáticos utilizados presentaron una alta calidad de ajuste, siendo las ecuaciones Logarítmica y de Midilli *et al.* las que mejor describieron las cinéticas de secado, siendo recomendables para la predicción de las condiciones de proceso a escala industrial.
- Para la totalidad de las condiciones, la optimización del proceso en términos de tiempo de operación dependió de la temperatura de secado. Para una misma condición osmótica, la reducción del tiempo fue proporcional al incremento de la temperatura de secado. La optimización permite disminuir la duración del proceso y por lo tanto reducir el costo, mientras que al mismo tiempo se logra disminuir la exposición de la fruta a las condiciones de secado, de tiempo y temperatura logrando un producto seguro que cumple con la reglamentación

establecida por el CAA. Las nectarinas osmodeshidratadas en jarabe e glucosa al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 4, temperatura osmótica de 25 °C, seguido del secado por aire a 80 °C y las ciruelas osmodeshidratadas en sorbitol al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10, temperatura osmótica de 25 °C, seguido del secado por aire a 80 °C, fueron las condiciones experimentales que permitieron una mayor optimización del proceso.

- El secado por métodos combinados permitió disminuir la actividad acuosa mediante la eliminación del agua y la incorporación de solutos provenientes del tratamiento osmótico, siendo las nectarinas secadas por aire a 80 °C y pre-tratadas con sorbitol, la que alcanzaron la mayor reducción de  $a_w$ .
- La evaluación del color mediante el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen, mostraron una disminución en la luminosidad y amarillamiento, y un aumento del enrojecimiento debido al pardeamiento que se manifestó durante el proceso de secado. La comparación entre los métodos demostró que cuando hay heterogeneidad en la apariencia de las porciones de fruta, es recomendable utilizar el análisis de la imagen para evaluar el color.
- El uso de sorbitol como agente osmótico mantuvo el color original de los frutos, debido a sus propiedades humectantes y protectoras del color. La estabilidad del producto fue comprobada mediante el almacenamiento, sin producirse modificaciones importantes en la apariencia.
- La Firmeza, para la mayoría de las condiciones, aumentó en función del incremento de la temperatura del aire. Esto se debe a que la Fuerza y la distancia en el punto de rotura, es decir la Firmeza, varían según la humedad de las muestras, ya que a menor humedad, el producto se vuelve más duro (mayor Fuerza máxima) y más corto (menor distancia para su rotura), debido al efecto plastificante del agua.
- La rehidratación de las nectarinas y ciruelas se produjo mayoritariamente en las primeras etapas del proceso, disminuyendo gradualmente la velocidad de

absorción de agua a medida que la humedad se aproximó al equilibrio. Las nectarinas y ciruelas deshidratadas por métodos combinados no recuperaron los valores iniciales de contenido de agua, siendo este dato un indicador del daño que ha sufrido el producto durante el secado. Esto verifica que la rehidratación no es el proceso reversible de la deshidratación (al menos cuando esta ocurre a altas temperaturas).

- Las variables que favorecieron la deshidratación, como el empleo de altas temperaturas de secado, fueron justamente las que obstaculizaron la absorción de agua en el proceso de rehidratación posterior debido a que el uso de temperaturas elevadas está relacionado con fenómenos de encostramiento superficial que dificultan la rehidratación posterior.
- El modelado de las cinéticas de rehidratación permite apreciar que las ecuaciones de Peleg y de Weibull describieron satisfactoriamente los datos experimentales, siendo de gran interés desde el punto de vista ingenieril, predecir el proceso y conocer el efecto de las diferentes variables.
- El contenido de antioxidantes estuvo condicionado por la temperatura de secado, siendo los valores de Fenoles Totales y Flavonoides superiores cuando las ciruelas fueron secadas a 70 °C, seguido de una temperatura de 80 °C y de 60 °C, respectivamente. Con el incremento de la temperatura de secado se generan productos propios de la caramelización que tienen características antioxidantes. El aumento del contenido de antioxidantes de las ciruelas secadas a 70 °C en relación a las secadas a 60 °C se debe a que a 65 - 70 °C se inactivan las enzimas polifenoloxidasas que son las responsables de la degradación de los compuestos fenólicos presentes en las frutas.
- **Finalmente, se podría concluir que las nectarinas y ciruelas deshidratadas por ósmosis en soluciones de sorbitol al 60% p/p, con una relación fruta a jarabe de 1 a 10 y a 25 °C, seguido de un secado por aire a 70 °C, sería la combinación óptima que permitiría reducir el contenido acuoso, pero también mantener los atributos de calidad de los frutos, con respecto a otras variables ensayadas.**

## **PERSPECTIVAS FUTURAS**

- Cómo continuación del presente trabajo se propone realizar el secado por aire de los frutos osmodeshidratados teniendo en cuenta el tiempo optimizado en el Capítulo 2 para alcanzar la humedad del 25% en base húmeda requerida por el Código Alimentario Argentino.
  
- La evaluación de los parámetros de calidad debería ser realizada en los frutos de carozo deshidratados por métodos combinados optimizados, de deshidratación osmótica seguida de secado por aire, de modo que la evaluación del color, la textura, la capacidad de rehidratación y el contenido de antioxidantes sean realizados en productos de igual valor de humedad (25% en base húmeda).
  
- Por último, sería interesante identificar los compuestos antioxidantes en las ciruelas deshidratadas por métodos combinados, mediante técnicas cromatográficas y determinar la capacidad antioxidante de estos. Así mismo evaluar la relación entre la composición y la actividad antioxidante con la temperatura de secado.



## TRANSFERENCIA CIENTIFICA

### ▪ Libros/ Capítulos de libros

#### **Rodriguez, M. M., Mascheroni, R. H., Pagano, A. M.**

“Comparación entre jarabe de glucosa y sorbitol como agentes osmóticos en pelones”. En: Avances en Ingeniería Rural 2007-2009 (ISBN 978-950- 673-752- 8), Editores responsables: N. Di Leo, S. Montico, N. Nardón, 1ª. Edición CD (500 ejemplares), UNR Editora, Área Tecnología de Postcosecha y Agroindustria, pp. 1103-1109. Rosario, Argentina (2009).

#### **Rodríguez M. M., Mascheroni R. H., Pagano A. M.**

“Deshidratación de pelones (*Prunus persica var. nectarina*) por métodos combinados”. En: Libro del III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Capítulo 2 – Ingeniería (ISBN 978-987-24620-9-3). Editores responsables: Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, (Libro 2, pag. 209-216). Córdoba, Argentina (2009).

#### **M. M. Rodríguez, L. M. Gori, R. H. Mascheroni, A. M. Pagano.**

“Modeling of dehydration kinetics of european plum (*Prunus domestica L.*) by combined methods”. IDS 2010, Vol. A, Section II, Fundamentals, modeling, simulation (ISBN 978-3-86912-036-2), Editors: Evangelos Tsotsas, Thomas Metzger, Mirko Peglow. Series Editor: Arun S. Mujumdar, pp. 594-600 (2010). Magdeburg, Germany (2010).

#### **M. M. Rodríguez, R. H. Mascheroni, A. M. Pagano.**

“Dehydration of nectarines (*Prunus persica var. nectarine*) in concentrated osmotic agents in combination with hot air drying”. IDS 2010, Vol. C, Section XI, Drying of food and agricultural (ISBN 978-3-86912-036-2), Editors: Evangelos Tsotsas, Thomas Metzger, Mirko Peglow. Series Editor: Arun S. Mujumdar, pp. 1415-1422. Magdeburg, Germany (2010).

▪ **Artículos en revistas con arbitraje/ Indexadas**

**Osmotic dehydration of nectarines: Influence of the operating conditions and determination of the effective diffusion coefficients**

M. M. Rodríguez, J. R. Arballo, L. A. Campañone, M. B. Cocconi, A. M. Pagano & R. H. Mascheroni

Food and Bioprocess Technology, DOI 10.1007/s11947-012-0957-8

Impact Factor: 3.576

▪ **Trabajos en actas de congresos (texto extenso)**

- *Internacionales:*

**Rodríguez M. M., Gori L., Mascheroni R., Pagano A. M.**

“Dehydration of european plums (*Prunus domestica L.*) by combined methods”. Acta del Congreso: Brazilian Meeting on Chemistry of Food and Beverages “VII BMCFB”, Alimentos Funcionais T0202, Editores responsables: EEL–USP, 19 págs. Lorena, Brazil (2008).

**L. M. Gori, M. M. Rodriguez, A. M. Manzur, R. H. Mascheroni, A. M. Pagano.**

“Innovación Tecnológica en Deshidratación de Frutas”. Ingeniería 2010 Argentina, Congreso Mundial y Exposición: Tecnología, Innovación y producción para el desarrollo sostenible. Buenos Aires, Argentina, 17-20 Octubre (2010).

**Rodríguez M. M., Arballo R., Campañone L., Cocconi M., Mascheroni R. H., Pagano A. M.**

“Herramientas matemáticas aplicadas en el estudio de la deshidratación osmótica de pelones”. Anales del congreso: (CD-ISBN: 978-950-658-252-4), XVI EMCI Nacional, VIII EMCI Internacional (Educación Matemática en Carreras de Ingeniería). Olavarría, Pcia. Bs. As., Argentina, 18-20 de Mayo (2011).

**Rodríguez María M., Mascheroni Rodolfo H. y Pagano Ana M.**

“Modelado matemático del secado por aire caliente de pelones (*Prunus persica var. Nectarina*) osmodeshidratados”. XIII CONGRESO CYTAL, Congreso Argentino de

Ciencia y Tecnología de Alimentos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 19-21 Octubre (2011).

**Rodríguez M. M., Arballo J. R., Campañone L. A., Pagano A. M., Mascheroni R. H.**

“Determinación de los coeficientes efectivos de difusión mediante solución analítica y solución numérica en la deshidratación osmótica de pelones”. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas - CLICAP 2012. San Rafael, Mendoza, 28, 29 y 30 de marzo (2012).

**Rodríguez M. M., Mascheroni R. H., Pagano A. M.**

“Cinética de deshidratación osmótica de ciruelas D'enté (*Prunus doméstica L.*)”. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas - CLICAP 2012. San Rafael, Mendoza, 28, 29 y 30 de marzo (2012).

**Rodriguez M. M., Arballo J. R., Campañane L. A. and Mascheroni R. H.**

“Multiple-optimization of the impregnation and dehydration of stone fruits”. 7th CIGR International Technical Symposium "INNOVATING THE FOOD VALUE CHAIN" y 2nd International Conference on Postharvest Technology & Quality Management. Stellenbosch University, South Africa, 25 - 28 November, (2012).

**Anabel Rodríguez, María M. Rodríguez, Ana M. Pagano and Rodolfo H. Mascheroni.**

“Experimental Values and Correlations for Characteristic Variables and Thermophysical Properties of Osmotically Dehydrated Stone Fruits”. 7th CIGR International Technical Symposium "INNOVATING THE FOOD VALUE CHAIN" y 2nd International Conference on Postharvest Technology & Quality Management. Stellenbosch University, South Africa, 25 - 28 November, (2012).

- *Nacionales:*

**Gori L., Rodriguez M. M., Ricón L., Manzur A., Pagano A. M.**

“Deshidratación osmótica de ciruelos europeos (*Prunus domestica L.*)”. Acta del Congreso: XXVII Congreso Argentino de Química “Dr. Pedro Aymonino”. Asociación

Química Argentina, Universidad Nacional de Tucumán, (17-19/09/08) – CD: 3 páginas.  
Tucumán, Argentina (2008).

▪ **Resúmenes en actas de congresos**

- *Internacionales:*

**F. L. Boccalatte, M. M. Rodríguez, M. Cocconi, R. H. Mascheroni, A. M. Pagano.**  
“Deshidratación osmótica de pelones y naranjas amargas”. II Congreso Internacional de  
Nutrición y Tecnología de los Alimentos. Mendoza, Argentina, 20-21 Agosto (2010).

▪ **Actividades de divulgación relacionadas con el contenido de este trabajo de tesis**

**Sexta semana nacional de la ciencia y la tecnología**

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

Olavarría, Provincia de Buenos Aires

19 al 26 de agosto de 2008

(Res. CS N° 1013)

(Res. MINCYT N° 412/04 de 4/07/08)

**2° Jornada de alimentación de Olavarría**

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

Olavarría, Provincia de Buenos Aires

16 de octubre de 2008 (Día mundial de la Alimentación)

Carga horaria: 10 h

**Jornadas interdisciplinarias 2010**

Asociación de Estudiantes de Ingeniería Química de Olavarría (AEIQQO)

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

Olavarría, Provincia de Buenos Aires

22 y 25 de octubre de 2010

**Jornadas interdisciplinarias 2011**

Asociación de Estudiantes de Ingeniería Química de Olavarría (AEIQQ)

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

Olavarría, Provincia de Buenos Aires

14 y 17 de octubre de 2011

## ANEXOS

**Anexo 1.** ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión obtenidos mediante la solución analítica, según las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas.

Variables	$D_w$ ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )			$D_s$ ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )		
	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	1.27	0.3118	1	$3.1 \times 10^{-03}$	0.9578
Concentración	1	1.39	0.2919	1	6.50	0.0513
Relación fruta/agente osmótico	1	0.42	0.5477	1	1.00	0.3641
Temperatura de DO	1	0.13	0.7347	1	2.05	0.2116
Agente osmótico*concentración	1	0.09	0.7799	1	0.03	0.8691
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	2.26	0.1933	1	1.17	0.3291
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.04	0.8523	1	0.82	0.4074
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.02	0.9025	1	1.22	0.3204
Concentración*temperatura de DO	1	0.05	0.8340	1	1.48	0.2782
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	3.83	0.1075	1	0.19	0.6831

$D_w$ , coeficiente efectivo de difusión de agua

$D_s$ , coeficiente efectivo de difusión de sólido

gl, grado de libertad

**Anexo 2.** ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión obtenidos mediante la solución numérica, según las variables implicadas en la deshidratación osmótica de nectarinas.

Variables	$D_w$ ( $m^2 s^{-1}$ )			$D_s$ ( $m^2 s^{-1}$ )		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	0.05	0.8336	1	0.13	0.7364
Concentración	1	$2.1 \times 10^{-03}$	0.9651	1	0.49	0.5162
Relación fruta/agente osmótico	1	$4.8 \times 10^{-06}$	0.9983	1	0.07	0.8027
Temperatura de DO	1	0.12	0.7386	1	0.02	0.8916
Agente osmótico*concentración	1	2.08	0.2084	1	0.53	0.5005
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.49	0.5132	1	0.95	0.3741
Agente osmótico*temperatura de DO	1	1.50	0.2752	1	0.13	0.7364
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	1.96	0.2204	1	0.67	0.4504
Concentración*temperatura de DO	1	2.50	0.1750	1	0.05	0.8298
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	3.54	0.1186	1	1.41	0.2881

$D_w$ , coeficiente efectivo de difusión de agua

$D_s$ , coeficiente efectivo de difusión de sólido

gl, grado de libertad

**Anexo 3.** ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión obtenidos mediante la solución analítica, según las variables implicadas en la deshidratación osmótica de ciruelas.

Variables	$D_w$ ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )			$D_s$ ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	4.82	0.0796	1	5.82	0.0606
Concentración	1	12.02	0.0179	1	9.75	0.0262
Relación fruta/agente osmótico	1	3.16	0.1355	1	4.24	0.0946
Temperatura de DO	1	0.11	0.7564	1	0.02	0.8912
Agente osmótico*concentración	1	0.08	0.7849	1	0.08	0.7874
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.28	0.6211	1	2.66	0.1640
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.09	0.7706	1	0.02	0.8912
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.09	0.7706	1	0.26	0.6348
Concentración*temperatura de DO	1	0.09	0.7766	1	0.08	0.7826
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.01	0.9172	1	0.05	0.8364

gl, grado de libertad



**Anexo 4.** ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión, según las variables implicadas en el secado de nectarinas osmodeshidratadas.

Variables	$D_w$ ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )		
	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	84.30	<0.0001
Concentración	1	6.11	0.0200
Relación fruta/agente osmótico	1	0.28	0.6018
Temperatura de DO	1	10.12	0.0037
Temperatura de SAC	1	35.00	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	4.14	0.0518
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	3.78	0.0623
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.23	0.6376
Agente osmótico*temperatura de SAC	1	5.74	0.0083
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	20.55	0.0001
Concentración*temperatura de DO	1	2.08	0.1607
Concentración*temperatura de SAC	1	0.12	0.8915
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	4.74	0.0385
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.91	0.4138
Temperatura de DO*temperatura de SAC	1	0.69	0.5106

$D_w$ , coeficiente efectivo de difusión de agua

gl, grado de libertad

**Anexo 5.** ANOVA para los coeficientes efectivos de difusión, según las variables implicadas en el secado de ciruelas osmodeshidratadas.

Variables	$D_w$ ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )		
	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	1.11	0.3004
Concentración	1	1.65	0.2100
Relación fruta/agente osmótico	1	1.09	0.3060
Temperatura de DO	1	0.68	0.4156
Temperatura de SAC	1	3.01	0.0660
Agente osmótico*concentración	1	1.51	0.2303
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	1.35	0.2554
Agente osmótico*temperatura de DO	1	1.59	0.2177
Agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.90	0.4168
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	1.40	0.2472
Concentración*temperatura de DO	1	1.23	0.2763
Concentración*temperatura de SAC	1	1.08	0.3525
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.06	0.3116
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.84	0.4410
Temperatura de DO*temperatura de SAC	1	1.20	0.3156

$D_w$ , coeficiente efectivo de difusión de agua

gl, grado de libertad

**Anexo 6.** ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico en el proceso de deshidratación de nectarinas.

Variables	A			K			C		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	147.95	<0.0001	1	33.30	<0.0001	1	38.31	<0.0001
Concentración	1	0.44	0.5105	1	4.38	0.0459	1	0.03	0.8670
Relación fruta/agente osmótico	1	3.94	0.0575	1	4.2x10 <sup>-03</sup>	0.9487	1	0.28	0.6019
Temperatura de DO	1	5.17	0.0312	1	12.04	0.0018	1	0.95	0.3374
Temperatura de SAC	2	0.11	0.8934	2	86.34	<0.0001	2	1.45	0.2523
Agente osmótico*concentración	1	3.23	0.0836	1	20.22	0.0001	1	1.06	0.3133
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.80	0.3782	1	0.07	0.7969	1	3.79	0.0620
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.15	0.6979	1	2.68	0.1131	1	0.11	0.7408
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.16	0.8509	2	10.92	0.0003	2	1.63	0.2147
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	16.49	0.0004	1	23.25	<0.0001	1	3.93	0.0578
Concentración*temperatura de DO	1	0.06	0.8104	1	5.05	0.0329	1	1.59	0.2181
Concentración*temperatura de SAC	2	0.79	0.4633	2	0.23	0.7926	2	0.03	0.9678
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	3.36	0.0780	1	7.95	0.0089	1	3.71	0.0645
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.04	0.9602	2	0.56	0.5789	2	0.49	0.6180
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.05	0.9533	2	2.57	0.0951	2	0.28	0.7586

gl, grado de libertad

**Anexo 7.** ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Midilli *et al.* en el proceso de deshidratación de nectarinas.

Variables	A			K			N			B		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	0.02	0.8975	1	22.09	0.0001	1	13.34	0.0011	1	17.27	0.0003
Concentración	1	6.42	0.0174	1	6.05	0.0206	1	4.79	0.0375	1	0.82	0.3743
Relación fruta/agente osmótico	1	1.06	0.3131	1	5.30	0.0292	1	4.12	0.0522	1	1.81	0.1898
Temperatura de DO	1	0.33	0.5678	1	0.07	0.7884	1	2.8x10 <sup>-03</sup>	0.9581	1	2.84	0.1032
Temperatura de SAC	2	2.53	0.0982	2	0.99	0.3851	2	1.32	0.2836	2	0.17	0.8428
Agente osmótico*concentración	1	0.08	0.7756	1	0.68	0.4181	1	0.91	0.3479	1	0.52	0.4760
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	4.74	0.0385	1	8.45	0.0072	1	4.05	0.0543	1	0.03	0.8736
Agente osmótico*temperatura de DO	1	1.68	0.2064	1	0.02	0.9005	1	1.82	0.1885	1	1.31	0.2625
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.95	0.3985	2	0.78	0.4688	2	0.31	0.7363	2	0.06	0.9392
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.76	0.3909	1	0.75	0.3951	1	0.61	0.4432	1	1.36	0.2544
Concentración*temperatura de DO	1	0.17	0.6849	1	0.72	0.4029	1	0.53	0.4730	1	1.31	0.2625
Concentración*temperatura de SAC	2	1.89	0.1701	2	3.84	0.0341	2	3.35	0.0503	2	1.95	0.1624
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	2.47	0.1275	1	2.92	0.0992	1	1.13	0.2964	1	4.28	0.0484
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.19	0.8240	2	1.36	0.2749	2	0.63	0.5392	2	2.06	0.1466
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.11	0.8945	2	0.23	0.7975	2	0.24	0.7885	2	0.21	0.8135

gl, grado de libertad

**Anexo 8.** ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Logarítmico en el proceso de deshidratación de ciruelas.

Variables	A			K			C		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	12.99	0.0012	1	3.08	0.0904	1	5.98	0.0212
Concentración	1	18.88	0.0002	1	0.15	0.7021	1	7.10	0.0128
Relación fruta/agente osmótico	1	0.18	0.6762	1	1.72	0.2006	1	3.84	0.0605
Temperatura de DO	1	10.41	0.0033	1	0.01	0.9348	1	0.70	0.4107
Temperatura de SAC	2	12.86	0.0001	2	23.10	<0.0001	2	4.83	0.0161
Agente osmótico*concentración	1	9.99	0.0039	1	0.01	0.9213	1	1.11	0.3018
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.10	0.7510	1	3.90	0.0586	1	2.74	0.1095
Agente osmótico*temperatura de DO	1	7.06	0.0131	1	3.52	0.0716	1	1.60	0.2169
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	1.09	0.3506	2	0.28	0.7566	2	3.76	0.0363
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	1.5x10 <sup>-03</sup>	0.9689	1	0.33	0.5688	1	1.23	0.2779
Concentración*temperatura de DO	1	25.64	<0.0001	1	0.62	0.4375	1	0.01	0.9359
Concentración*temperatura de SAC	2	0.77	0.4741	2	0.35	0.7090	2	2.19	0.1317
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	4.41	0.0452	1	0.52	0.4785	1	0.01	0.9370
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.14	0.8731	2	0.45	0.6446	2	0.70	0.5069
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.84	0.4412	2	0.15	0.8627	2	0.30	0.7452

gl, grado de libertad

**Anexo 9.** ANOVA para los valores de las constantes significativas del Modelo Midilli *et al.* en el proceso de deshidratación de ciruelas.

Variables	A			K			N			B		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	1.47	0.2366	1	0.02	0.8957	1	0.30	0.5866	1	5.30	0.0292
Concentración	1	5.96	0.0215	1	0.68	0.4169	1	1.23	0.2778	1	5.39	0.0281
Relación fruta/agente osmótico	1	1.97	0.1717	1	5.54	0.0261	1	6.74	0.0151	1	9.46	0.0048
Temperatura de DO	1	3.63	0.0675	1	0.09	0.7605	1	0.19	0.6642	1	0.05	0.8217
Temperatura de SAC	2	2.15	0.1365	2	0.73	0.4919	2	1.11	0.3428	2	4.46	0.0212
Agente osmótico*concentración	1	2.52	0.1244	1	1.69	0.2049	1	0.25	0.6227	1	0.24	0.6270
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	1.40	0.2470	1	0.16	0.6924	1	2.81	0.1050	1	4.50	0.0433
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.72	0.4035	1	4.70	0.0391	1	9.78	0.0042	1	7.26	0.0120
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.39	0.6796	2	0.41	0.6695	2	1.46	0.2490	2	2.95	0.0695
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	1.98	0.1706	1	1.13	0.2974	1	2.10	0.1591	1	2.60	0.1188
Concentración*temperatura de DO	1	2.89	0.1004	1	2.46	0.1284	1	0.31	0.5832	1	0.26	0.6144
Concentración*temperatura de SAC	2	0.69	0.5112	2	0.62	0.5462	2	0.23	0.7946	2	1.03	0.3694
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.89	0.1805	1	0.14	0.7113	1	0.03	0.8573	1	0.05	0.8217
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.06	0.9435	2	0.65	0.5298	2	0.40	0.6731	2	1.27	0.2968
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.05	0.9492	2	0.29	0.7480	2	0.72	0.4953	2	0.70	0.5043

gl, grado de libertad

**Anexo 10.** Parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluados mediante el colorímetro Minolta.

<b>N°</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>N°</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>1</b>	37.497 ± 24.989	34.271 ± 25.286	36.332 ± 24.220	<b>25</b>	37.753 ± 19.409	35.175 ± 20.430	37.194 ± 19.375
<b>2</b>	35.760 ± 19.415	32.543 ± 19.016	34.499 ± 18.165	<b>26</b>	41.464 ± 21.940	38.679 ± 23.055	40.985 ± 22.138
<b>3</b>	32.198 ± 14.229	30.764 ± 14.996	31.530 ± 14.502	<b>27</b>	38.754 ± 17.153	36.748 ± 17.642	39.530 ± 17.448
<b>4</b>	32.490 ± 15.647	30.188 ± 16.146	31.765 ± 15.371	<b>28</b>	39.967 ± 22.330	37.170 ± 23.751	39.106 ± 22.681
<b>5</b>	35.656 ± 18.334	32.866 ± 18.939	34.548 ± 18.246	<b>29</b>	35.876 ± 17.242	33.295 ± 17.038	34.484 ± 16.354
<b>6</b>	36.399 ± 17.102	33.983 ± 17.678	35.236 ± 16.800	<b>30</b>	29.297 ± 11.997	27.673 ± 11.824	28.924 ± 11.567
<b>7</b>	37.228 ± 19.197	34.145 ± 20.004	35.350 ± 18.867	<b>31</b>	43.339 ± 23.312	40.050 ± 23.616	42.277 ± 22.131
<b>8</b>	36.707 ± 18.628	33.990 ± 19.306	35.853 ± 18.494	<b>32</b>	40.008 ± 19.945	37.226 ± 20.700	40.006 ± 19.955
<b>9</b>	42.218 ± 22.208	38.930 ± 23.176	41.114 ± 22.113	<b>33</b>	39.050 ± 16.684	36.561 ± 17.064	38.848 ± 16.449
<b>10</b>	37.205 ± 20.135	34.305 ± 20.738	36.560 ± 19.599	<b>34</b>	33.581 ± 18.078	30.814 ± 17.946	31.716 ± 17.093
<b>11</b>	36.815 ± 18.495	33.780 ± 18.833	36.575 ± 18.062	<b>35</b>	44.353 ± 23.356	41.025 ± 23.757	43.212 ± 22.123
<b>12</b>	35.211 ± 17.119	32.008 ± 16.725	33.855 ± 16.603	<b>36</b>	43.239 ± 18.220	41.259 ± 18.899	43.532 ± 18.265
<b>13</b>	27.060 ± 13.509	24.886 ± 13.647	25.545 ± 13.364	<b>37</b>	39.072 ± 18.714	36.903 ± 18.921	38.928 ± 17.898
<b>14</b>	33.717 ± 15.804	30.831 ± 15.828	32.807 ± 15.205	<b>38</b>	34.812 ± 13.585	32.951 ± 13.660	34.116 ± 13.042
<b>15</b>	29.134 ± 12.680	26.913 ± 12.510	27.986 ± 11.864	<b>39</b>	38.412 ± 13.150	36.269 ± 13.396	37.544 ± 12.630
<b>16</b>	34.569 ± 15.272	30.711 ± 14.876	32.781 ± 14.545	<b>40</b>	39.978 ± 20.561	37.177 ± 21.128	39.168 ± 20.425
<b>17</b>	31.977 ± 14.787	28.970 ± 14.208	30.355 ± 14.049	<b>41</b>	41.974 ± 20.911	39.146 ± 21.258	41.647 ± 20.416
<b>18</b>	41.258 ± 20.523	38.267 ± 21.188	40.447 ± 20.364	<b>42</b>	41.073 ± 15.897	38.847 ± 16.758	40.303 ± 15.706
<b>19</b>	35.394 ± 20.098	32.598 ± 20.132	34.708 ± 19.627	<b>43</b>	35.282 ± 15.892	32.590 ± 16.569	34.745 ± 16.168
<b>20</b>	38.300 ± 19.438	35.926 ± 20.217	38.494 ± 19.354	<b>44</b>	44.615 ± 20.920	42.444 ± 21.901	45.277 ± 21.633
<b>21</b>	32.788 ± 13.549	30.990 ± 14.296	31.644 ± 13.866	<b>45</b>	43.849 ± 18.142	41.095 ± 19.401	42.998 ± 18.509
<b>22</b>	34.728 ± 15.454	31.967 ± 16.115	32.966 ± 15.289	<b>46</b>	36.234 ± 16.566	33.869 ± 17.388	35.694 ± 16.787
<b>23</b>	41.663 ± 22.248	38.549 ± 22.318	41.752 ± 22.260	<b>47</b>	34.489 ± 14.808	32.256 ± 15.657	33.859 ± 15.079
<b>24</b>	35.950 ± 15.139	33.904 ± 15.202	36.006 ± 14.613	<b>48</b>	40.764 ± 20.716	37.419 ± 21.050	40.186 ± 20.401

**Anexo 11.** Parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluados mediante el colorímetro Minolta.

<b>N°</b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>a</i></b>	<b><i>b</i></b>	<b>N°</b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>a</i></b>	<b><i>b</i></b>
<b>1</b>	23.469 ± 1.612	6.195 ± 1.155	8.000 ± 1.895	<b>25</b>	21.911 ± 1.799	5.056 ± 0.514	5.515 ± 0.793
<b>2</b>	29.289 ± 2.233	8.627 ± 0.592	16.025 ± 1.735	<b>26</b>	27.817 ± 2.713	8.972 ± 2.946	10.482 ± 4.775
<b>3</b>	29.831 ± 3.957	8.953 ± 1.446	16.940 ± 3.071	<b>27</b>	28.801 ± 2.640	8.505 ± 0.908	15.633 ± 0.685
<b>4</b>	23.935 ± 0.577	5.827 ± 1.133	6.640 ± 1.337	<b>28</b>	24.011 ± 1.281	5.504 ± 0.427	5.716 ± 0.437
<b>5</b>	23.513 ± 3.053	5.211 ± 1.242	5.980 ± 1.394	<b>29</b>	25.036 ± 1.883	7.849 ± 1.203	12.353 ± 2.016
<b>6</b>	25.635 ± 1.498	8.756 ± 0.359	13.385 ± 0.472	<b>30</b>	29.584 ± 2.589	8.049 ± 1.551	16.573 ± 3.099
<b>7</b>	23.383 ± 0.931	6.115 ± 1.551	7.484 ± 2.268	<b>31</b>	22.318 ± 3.433	5.434 ± 2.204	5.714 ± 1.728
<b>8</b>	27.266 ± 2.576	8.090 ± 0.820	13.704 ± 2.190	<b>32</b>	27.850 ± 3.015	8.380 ± 0.676	12.918 ± 2.026
<b>9</b>	25.813 ± 1.958	9.057 ± 0.581	15.237 ± 1.963	<b>33</b>	24.786 ± 4.696	8.464 ± 1.375	14.534 ± 2.079
<b>10</b>	25.367 ± 0.585	7.297 ± 0.576	9.242 ± 0.801	<b>34</b>	23.170 ± 1.790	5.869 ± 1.639	6.775 ± 2.325
<b>11</b>	22.599 ± 2.017	6.773 ± 0.809	8.896 ± 1.939	<b>35</b>	25.089 ± 2.641	7.201 ± 0.750	10.425 ± 2.001
<b>12</b>	24.816 ± 2.895	8.241 ± 0.649	12.539 ± 2.305	<b>36</b>	25.528 ± 3.968	8.058 ± 2.178	12.139 ± 4.476
<b>13</b>	23.466 ± 1.937	6.379 ± 2.411	6.996 ± 1.796	<b>37</b>	21.514 ± 2.379	4.718 ± 0.473	5.667 ± 0.716
<b>14</b>	24.067 ± 2.089	7.510 ± 0.899	10.962 ± 0.582	<b>38</b>	24.541 ± 2.909	7.389 ± 1.245	10.962 ± 3.114
<b>15</b>	25.175 ± 1.854	6.380 ± 0.465	9.194 ± 1.175	<b>39</b>	24.652 ± 3.710	7.016 ± 1.016	9.488 ± 2.504
<b>16</b>	23.241 ± 1.388	5.224 ± 0.683	6.030 ± 1.018	<b>40</b>	21.091 ± 1.536	4.591 ± 1.252	5.745 ± 1.633
<b>17</b>	26.250 ± 2.026	6.309 ± 0.715	9.084 ± 1.860	<b>41</b>	26.006 ± 1.725	6.828 ± 0.637	10.541 ± 2.544
<b>18</b>	23.879 ± 2.147	6.382 ± 1.015	9.010 ± 2.701	<b>42</b>	24.450 ± 3.503	6.773 ± 1.147	10.232 ± 2.689
<b>19</b>	24.331 ± 2.077	7.496 ± 2.310	8.171 ± 2.641	<b>43</b>	24.238 ± 0.768	6.801 ± 0.907	7.124 ± 0.903
<b>20</b>	25.730 ± 4.559	8.373 ± 1.611	11.670 ± 3.243	<b>44</b>	28.445 ± 1.421	9.048 ± 1.252	14.100 ± 1.824
<b>21</b>	23.724 ± 1.173	7.833 ± 1.448	11.032 ± 3.013	<b>45</b>	27.465 ± 1.871	7.965 ± 1.301	11.542 ± 1.077
<b>22</b>	25.224 ± 2.757	7.885 ± 1.245	9.118 ± 1.657	<b>46</b>	22.580 ± 1.178	6.041 ± 1.182	6.968 ± 1.566
<b>23</b>	24.755 ± 2.108	6.495 ± 1.698	8.532 ± 2.929	<b>47</b>	27.088 ± 2.179	9.025 ± 1.192	13.001 ± 4.059
<b>24</b>	25.431 ± 2.662	6.635 ± 2.024	9.029 ± 1.507	<b>48</b>	26.751 ± 1.428	7.220 ± 0.790	10.483 ± 2.342



**Anexo 12.** ANOVA para la variación total del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el colorímetro Minolta.

Variables	$\Delta C$		
	gl	F	p
Agente osmótico	1	0.98	0.3311
Concentración	1	1.59	0.2187
Relación fruta/agente osmótico	1	3.61	0.0680
Temperatura de DO	1	0.53	0.4719
Temperatura de SAC	2	0.95	0.3992
Agente osmótico*concentración	1	2.70	0.1119
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	2.92	0.0990
Agente osmótico*temperatura de DO	1	3.12	0.0887
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.80	0.4587
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.01	0.9154
Concentración*temperatura de DO	1	7.11	0.0128
Concentración*temperatura de SAC	2	0.57	0.5716
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.48	0.4960
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.31	0.7395
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.18	0.8385

gl, grado de libertad

**Anexo 13.** ANOVA para la variación total del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el colorímetro Minolta.

Variables	$\Delta C$		
	gl	F	p
Agente osmótico	1	1.28	0.2670
Concentración	1	7.30	0.0118
Relación fruta/agente osmótico	1	0.12	0.7358
Temperatura de DO	1	7.04	0.0132
Temperatura de SAC	2	0.12	0.8914
Agente osmótico*concentración	1	0.21	0.6474
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.84	0.3672
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.08	0.7773
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.07	0.9368
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	19.25	0.0002
Concentración*temperatura de DO	1	2.06	0.1630
Concentración*temperatura de SAC	2	4.73	0.0173
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	$1.9 \times 10^{-06}$	0.9989
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	1.12	0.3400
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	2.03	0.1503

gl, grado de libertad

**Anexo 14.** Parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluados mediante el análisis de la imagen.

<b>N°</b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>a</i></b>	<b><i>b</i></b>	<b>N°</b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>a</i></b>	<b><i>b</i></b>
<b>1</b>	45.6 ± 6.9	35.7 ± 5.6	54.7 ± 5.6	<b>25</b>	34.6 ± 4.9	38.4 ± 4.9	46.6 ± 3.8
<b>2</b>	36.5 ± 4.0	36.0 ± 5.5	47.8 ± 3.0	<b>26</b>	46.0 ± 3.7	34.0 ± 5.2	54.2 ± 2.0
<b>3</b>	32.4 ± 5.4	39.1 ± 2.4	44.5 ± 5.5	<b>27</b>	41.2 ± 2.9	41.7 ± 3.0	52.7 ± 2.1
<b>4</b>	32.2 ± 7.8	38.0 ± 3.7	43.4 ± 7.6	<b>28</b>	43.5 ± 4.6	34.6 ± 4.5	53.3 ± 3.0
<b>5</b>	36.8 ± 5.6	37.6 ± 4.6	48.2 ± 5.2	<b>29</b>	35.8 ± 3.8	39.0 ± 4.5	47.6 ± 2.5
<b>6</b>	31.7 ± 6.6	37.2 ± 3.5	42.7 ± 5.4	<b>30</b>	31.3 ± 2.3	40.4 ± 3.3	43.8 ± 2.3
<b>7</b>	40.2 ± 4.7	38.8 ± 5.5	51.3 ± 3.2	<b>31</b>	45.2 ± 5.3	36.7 ± 4.1	55.0 ± 3.7
<b>8</b>	41.0 ± 4.9	39.0 ± 3.9	52.0 ± 3.7	<b>32</b>	46.7 ± 4.7	37.2 ± 4.9	56.1 ± 3.0
<b>9</b>	39.2 ± 5.9	36.2 ± 3.7	49.7 ± 4.4	<b>33</b>	36.4 ± 3.3	44.0 ± 2.7	49.1 ± 2.6
<b>10</b>	38.0 ± 4.5	40.2 ± 5.7	49.7 ± 3.6	<b>34</b>	39.2 ± 4.6	38.4 ± 3.9	50.3 ± 3.5
<b>11</b>	37.2 ± 5.2	41.1 ± 4.6	48.9 ± 3.7	<b>35</b>	43.6 ± 4.2	36.5 ± 5.0	53.7 ± 3.3
<b>12</b>	39.5 ± 4.2	43.5 ± 3.6	51.3 ± 3.5	<b>36</b>	42.3 ± 3.0	40.4 ± 3.9	53.4 ± 2.4
<b>13</b>	33.9 ± 2.3	40.0 ± 2.4	46.0 ± 2.1	<b>37</b>	35.9 ± 6.1	41.6 ± 4.6	47.8 ± 4.5
<b>14</b>	33.0 ± 4.2	37.2 ± 2.7	44.7 ± 3.8	<b>38</b>	32.6 ± 10.1	42.3 ± 2.7	43.3 ± 5.2
<b>15</b>	29.8 ± 4.9	39.4 ± 2.7	42.1 ± 5.2	<b>39</b>	33.6 ± 3.3	42.9 ± 2.1	46.3 ± 3.3
<b>16</b>	30.8 ± 2.4	37.9 ± 3.4	43.0 ± 2.6	<b>40</b>	39.6 ± 3.3	36.7 ± 3.2	50.5 ± 2.4
<b>17</b>	38.2 ± 5.8	37.6 ± 3.1	48.7 ± 4.1	<b>41</b>	39.5 ± 3.7	40.5 ± 3.5	50.9 ± 2.6
<b>18</b>	44.2 ± 6.1	35.7 ± 5.4	54.1 ± 4.4	<b>42</b>	40.4 ± 4.2	42.1 ± 4.3	52.3 ± 3.1
<b>19</b>	38.7 ± 6.5	34.0 ± 5.7	49.4 ± 4.7	<b>43</b>	34.8 ± 5.8	41.7 ± 4.6	46.9 ± 4.6
<b>20</b>	37.1 ± 6.2	37.0 ± 3.7	48.3 ± 5.3	<b>44</b>	38.8 ± 4.2	40.0 ± 3.6	50.3 ± 3.3
<b>21</b>	37.1 ± 6.6	35.1 ± 3.2	47.9 ± 5.6	<b>45</b>	37.1 ± 4.5	40.8 ± 3.7	48.4 ± 4.5
<b>22</b>	36.6 ± 4.0	38.5 ± 2.6	48.2 ± 3.2	<b>46</b>	35.5 ± 2.7	41.2 ± 2.3	47.8 ± 1.9
<b>23</b>	44.7 ± 5.1	34.2 ± 3.2	53.9 ± 3.3	<b>47</b>	34.3 ± 4.7	38.1 ± 3.8	45.7 ± 2.5
<b>24</b>	31.7 ± 5.0	38.7 ± 3.2	43.5 ± 4.9	<b>48</b>	43.9 ± 3.1	37.8 ± 5.0	54.3 ± 2.1

**Anexo 15.** Parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluados mediante el análisis de la imagen.

<b>N°</b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>a</i></b>	<b><i>b</i></b>	<b>N°</b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>a</i></b>	<b><i>b</i></b>
<b>1</b>	4.6 ± 2.5	10.6 ± 6.3	5.4 ± 2.9	<b>25</b>	7.2 ± 4.0	17.0 ± 8.2	8.7 ± 5.6
<b>2</b>	14.0 ± 4.4	25.5 ± 5.2	17.8 ± 5.9	<b>26</b>	16.0 ± 5.9	28.3 ± 7.6	20.0 ± 7.3
<b>3</b>	13.7 ± 4.6	25.3 ± 4.0	17.2 ± 6.0	<b>27</b>	13.8 ± 3.3	27.9 ± 3.7	18.9 ± 4.7
<b>4</b>	3.5 ± 1.4	5.3 ± 2.9	3.0 ± 1.3	<b>28</b>	8.4 ± 3.9	16.2 ± 7.1	8.9 ± 5.5
<b>5</b>	8.0 ± 3.7	17.3 ± 6.3	9.7 ± 5.1	<b>29</b>	9.3 ± 3.6	22.0 ± 8.3	12.0 ± 4.6
<b>6</b>	18.1 ± 8.9	27.2 ± 7.5	20.8 ± 9.9	<b>30</b>	16.2 ± 6.4	23.4 ± 5.1	18.2 ± 4.3
<b>7</b>	5.9 ± 2.8	9.2 ± 2.6	5.3 ± 2.4	<b>31</b>	8.3 ± 4.3	17.1 ± 7.7	9.3 ± 5.9
<b>8</b>	18.0 ± 2.6	30.3 ± 3.8	22.6 ± 3.0	<b>32</b>	12.9 ± 2.2	25.9 ± 3.1	16.0 ± 3.4
<b>9</b>	21.2 ± 3.3	28.4 ± 5.1	26.9 ± 5.1	<b>33</b>	17.9 ± 3.0	29.8 ± 2.4	24.1 ± 4.7
<b>10</b>	3.1 ± 0.3	5.9 ± 1.7	3.0 ± 1.2	<b>34</b>	5.9 ± 2.3	15.0 ± 7.8	7.7 ± 3.2
<b>11</b>	11.2 ± 3.1	22.4 ± 4.0	13.2 ± 3.3	<b>35</b>	11.0 ± 3.5	23.6 ± 4.6	14.3 ± 4.6
<b>12</b>	14.0 ± 6.4	24.8 ± 4.6	18.0 ± 9.0	<b>36</b>	15.9 ± 5.2	27.5 ± 3.0	21.3 ± 6.6
<b>13</b>	6.6 ± 2.4	12.9 ± 5.4	6.1 ± 2.1	<b>37</b>	4.7 ± 2.5	10.7 ± 5.9	4.7 ± 3.9
<b>14</b>	7.6 ± 2.8	17.7 ± 5.6	9.5 ± 3.3	<b>38</b>	9.6 ± 3.9	21.2 ± 6.8	11.5 ± 5.2
<b>15</b>	7.5 ± 3.5	17.5 ± 5.1	9.6 ± 4.2	<b>39</b>	12.3 ± 4.2	24.5 ± 6.0	15.9 ± 6.4
<b>16</b>	4.8 ± 1.4	8.8 ± 2.9	4.1 ± 2.0	<b>40</b>	6.8 ± 3.5	13.5 ± 6.1	7.1 ± 4.3
<b>17</b>	8.4 ± 3.8	17.5 ± 5.0	9.5 ± 4.9	<b>41</b>	11.8 ± 2.3	25.3 ± 3.1	15.3 ± 3.9
<b>18</b>	8.0 ± 3.7	17.3 ± 6.6	9.8 ± 5.1	<b>42</b>	13.5 ± 4.7	26.6 ± 4.1	17.4 ± 6.1
<b>19</b>	10.0 ± 4.0	21.2 ± 4.1	11.0 ± 4.4	<b>43</b>	8.5 ± 3.7	18.1 ± 7.6	9.3 ± 3.9
<b>20</b>	11.4 ± 4.1	23.8 ± 6.4	14.7 ± 5.8	<b>44</b>	14.9 ± 2.6	28.7 ± 3.4	19.6 ± 3.8
<b>21</b>	15.2 ± 4.7	24.3 ± 5.9	18.4 ± 5.8	<b>45</b>	14.8 ± 2.9	26.5 ± 3.1	18.4 ± 4.3
<b>22</b>	8.0 ± 4.4	18.9 ± 8.4	9.9 ± 5.8	<b>46</b>	10.3 ± 4.3	21.4 ± 5.4	12.2 ± 4.8
<b>23</b>	9.5 ± 3.1	20.3 ± 4.9	12.2 ± 4.0	<b>47</b>	13.0 ± 3.7	25.4 ± 3.1	15.7 ± 4.2
<b>24</b>	10.8 ± 3.7	22.0 ± 3.8	12.4 ± 3.4	<b>48</b>	12.4 ± 3.0	25.4 ± 4.4	15.2 ± 4.5

**Anexo 16.** ANOVA para la variación total del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el análisis de la imagen.

Variables	$\Delta C$		
	gl	F	p
Agente osmótico	1	0.78	0.3844
Concentración	1	1.28	0.2684
Relación fruta/agente osmótico	1	1.13	0.2968
Temperatura de DO	1	0.03	0.8551
Temperatura de SAC	2	2.61	0.0921
Agente osmótico*concentración	1	3.96	0.0567
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.05	0.8331
Agente osmótico*temperatura de DO	1	2.19	0.1505
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.34	0.7165
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	1.55	0.2244
Concentración*temperatura de DO	1	4.27	0.0485
Concentración*temperatura de SAC	2	1.69	0.2033
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.32	0.2607
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.25	0.7773
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.20	0.8213

gl, grado de libertad

**Anexo 17.** ANOVA para la variación total del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados evaluada mediante el análisis de la imagen.

Variables	$\Delta C$		
	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	11.45	0.0022
Concentración	1	5.12	0.0320
Relación fruta/agente osmótico	1	15.90	0.0005
Temperatura de DO	1	7.57	0.0105
Temperatura de SAC	2	72.88	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	0.55	0.4631
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	1.42	0.2443
Agente osmótico*temperatura de DO	1	2.63	0.1165
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.24	0.7901
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	3.93	0.0578
Concentración*temperatura de DO	1	3.78	0.0622
Concentración*temperatura de SAC	2	9.25	0.0009
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	2.38	0.1346
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	$4.4 \times 10^{-03}$	0.9956
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	1.12	0.3414

gl, grado de libertad

**Anexo 18.** Parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.

N°	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	N°	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
1	36.1 ± 5.5	23.3 ± 4.8	41.4 ± 3.7	25	31.8 ± 3.6	30.8 ± 2.3	42.4 ± 3.1
2	26.8 ± 3.2	30.0 ± 2.7	36.8 ± 3.3	26	37.2 ± 3.4	22.1 ± 3.3	41.9 ± 2.3
3	18.0 ± 5.5	27.6 ± 3.0	25.4 ± 7.6	27	27.2 ± 3.0	29.5 ± 4.0	35.4 ± 4.2
4	29.5 ± 6.2	28.6 ± 3.8	37.9 ± 5.6	28	30.9 ± 4.6	25.0 ± 3.3	37.6 ± 3.0
5	28.0 ± 4.1	28.3 ± 2.7	37.1 ± 4.3	29	33.9 ± 3.4	33.6 ± 2.2	44.9 ± 3.0
6	29.2 ± 4.5	30.0 ± 3.6	38.5 ± 4.1	30	21.4 ± 3.8	32.9 ± 2.9	28.8 ± 5.5
7	34.7 ± 3.9	26.3 ± 4.0	42.2 ± 2.2	31	36.5 ± 3.0	24.7 ± 2.6	45.3 ± 2.1
8	35.9 ± 2.6	28.8 ± 3.8	44.2 ± 2.0	32	30.9 ± 4.1	29.5 ± 4.3	41.2 ± 3.1
9	34.5 ± 2.3	26.3 ± 2.4	42.1 ± 1.0	33	28.1 ± 4.6	34.6 ± 2.8	38.1 ± 5.4
10	34.2 ± 3.8	28.3 ± 2.9	43.3 ± 3.1	34	27.3 ± 2.2	27.8 ± 3.3	36.2 ± 3.1
11	33.2 ± 2.3	28.5 ± 2.0	42.3 ± 2.7	35	34.0 ± 4.1	26.0 ± 3.7	42.3 ± 4.1
12	26.7 ± 2.9	30.0 ± 2.8	37.1 ± 4.1	36	28.6 ± 3.5	31.9 ± 2.3	39.2 ± 3.3
13	24.5 ± 3.0	29.4 ± 2.6	32.3 ± 3.2	37	28.8 ± 4.8	28.3 ± 2.8	37.7 ± 5.2
14	26.0 ± 2.5	29.2 ± 2.3	34.3 ± 3.4	38	26.1 ± 1.7	32.5 ± 3.2	34.5 ± 3.9
15	22.2 ± 2.6	30.2 ± 3.1	29.6 ± 3.9	39	28.5 ± 4.9	30.8 ± 3.0	36.7 ± 3.9
16	28.9 ± 3.8	27.5 ± 1.7	36.8 ± 4.5	40	35.8 ± 5.2	21.9 ± 5.2	39.0 ± 3.3
17	21.0 ± 2.4	29.3 ± 2.5	29.1 ± 3.1	41	37.3 ± 5.5	28.0 ± 3.0	46.2 ± 3.7
18	33.7 ± 2.9	22.1 ± 2.5	40.2 ± 3.6	42	27.6 ± 3.5	31.0 ± 2.4	36.9 ± 4.5
19	29.4 ± 4.7	24.5 ± 4.3	37.4 ± 4.2	43	25.2 ± 4.2	29.2 ± 3.4	33.0 ± 4.8
20	23.9 ± 6.6	30.6 ± 3.0	31.4 ± 6.9	44	34.7 ± 6.8	29.5 ± 4.9	43.7 ± 5.5
21	22.4 ± 3.0	31.4 ± 2.3	29.8 ± 3.2	45	34.3 ± 4.8	30.1 ± 2.9	43.9 ± 3.7
22	28.6 ± 6.0	29.2 ± 4.4	37.6 ± 6.3	46	29.3 ± 3.2	27.7 ± 2.8	38.1 ± 2.7
23	34.8 ± 4.4	25.4 ± 3.5	42.9 ± 4.8	47	23.6 ± 2.6	29.7 ± 1.6	32.9 ± 2.8
24	29.1 ± 1.7	32.4 ± 3.0	38.1 ± 2.3	48	35.9 ± 3.9	25.8 ± 3.7	44.3 ± 2.9

**Anexo 19.** ANOVA para los parámetros del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.

Variables	<i>L</i>			<i>a</i>			<i>b</i>		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	2.01	0.1678	1	0.53	0.4746	1	3.19	0.0851
Concentración	1	1.95	0.1735	1	3.6x10 <sup>-03</sup>	0.9526	1	3.54	0.0706
Relación fruta/agente osmótico	1	2.18	0.1515	1	0.08	0.7733	1	4.95	0.0347
Temperatura de DO	1	0.37	0.5462	1	0.15	0.7044	1	0.82	0.3723
Temperatura de SAC	2	1.88	0.1723	2	3.20	0.0566	2	1.72	0.1989
Agente osmótico*concentración	1	1.83	0.1874	1	0.18	0.6776	1	2.09	0.1596
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	1.83	0.1874	1	0.08	0.7803	1	1.25	0.2731
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.73	0.4018	1	0.32	0.5746	1	1.99	0.1694
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.64	0.5335	2	0.63	0.5401	2	0.81	0.4575
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.60	0.4458	1	0.04	0.8440	1	0.76	0.3903
Concentración*temperatura de DO	1	3.86	0.0599	1	3.96	0.0567	1	2.79	0.1062
Concentración*temperatura de SAC	2	2.81	0.0781	2	0.46	0.6364	2	2.90	0.0721
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.90	0.3509	1	0.02	0.9017	1	0.59	0.4475
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.86	0.4350	2	0.29	0.7503	2	1.04	0.3675
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.31	0.7356	2	0.03	0.9741	2	0.65	0.5290

gl, grado de libertad



**Anexo 20.** Parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.

N°	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	N°	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
<b>1</b>	4.8 ± 2.0	10.1 ± 5.4	4.5 ± 2.7	<b>25</b>	5.1 ± 2.1	9.3 ± 5.8	4.5 ± 3.4
<b>2</b>	10.3 ± 3.2	19.9 ± 4.0	12.7 ± 4.9	<b>26</b>	9.0 ± 4.2	21.0 ± 6.6	12.3 ± 5.9
<b>3</b>	15.7 ± 4.1	26.4 ± 5.6	19.9 ± 6.2	<b>27</b>	16.8 ± 6.7	27.8 ± 9.2	21.4 ± 9.7
<b>4</b>	6.0 ± 2.1	13.1 ± 5.6	6.3 ± 3.9	<b>28</b>	5.1 ± 2.1	9.3 ± 5.8	4.5 ± 3.4
<b>5</b>	7.9 ± 4.0	18.6 ± 8.9	9.8 ± 6.0	<b>29</b>	12.4 ± 4.6	23.2 ± 5.3	15.3 ± 6.2
<b>6</b>	11.5 ± 3.7	22.2 ± 6.3	12.0 ± 6.3	<b>30</b>	10.6 ± 4.9	22.9 ± 7.1	13.5 ± 7.4
<b>7</b>	11.1 ± 3.9	22.8 ± 5.8	12.9 ± 5.4	<b>31</b>	3.9 ± 1.7	5.8 ± 2.6	3.3 ± 1.2
<b>8</b>	4.9 ± 2.0	10.2 ± 4.7	5.8 ± 2.1	<b>32</b>	14.8 ± 6.5	26.6 ± 5.2	17.8 ± 8.1
<b>9</b>	12.2 ± 4.6	23.0 ± 4.3	14.5 ± 4.9	<b>33</b>	12.9 ± 5.4	22.8 ± 7.0	15.9 ± 6.9
<b>10</b>	4.9 ± 2.2	10.4 ± 6.3	5.2 ± 2.0	<b>34</b>	5.1 ± 3.1	10.8 ± 7.1	4.8 ± 3.6
<b>11</b>	9.2 ± 3.1	19.9 ± 7.3	11.1 ± 4.6	<b>35</b>	11.6 ± 5.0	24.0 ± 7.3	12.6 ± 5.2
<b>12</b>	14.4 ± 5.4	25.8 ± 4.7	19.1 ± 6.5	<b>36</b>	15.0 ± 4.2	26.6 ± 5.4	19.1 ± 6.3
<b>13</b>	5.1 ± 1.9	11.3 ± 4.7	5.4 ± 2.2	<b>37</b>	3.2 ± 3.2	7.0 ± 6.5	3.1 ± 4.2
<b>14</b>	8.4 ± 2.6	18.9 ± 6.0	10.8 ± 5.1	<b>38</b>	15.5 ± 3.0	30.1 ± 3.3	19.6 ± 4.3
<b>15</b>	9.9 ± 4.6	19.2 ± 5.8	11.6 ± 5.1	<b>39</b>	12.9 ± 4.5	25.6 ± 3.7	16.6 ± 5.4
<b>16</b>	6.5 ± 2.3	12.9 ± 5.9	7.2 ± 2.8	<b>40</b>	5.7 ± 1.9	11.3 ± 5.6	5.3 ± 2.8
<b>17</b>	9.9 ± 1.7	19.7 ± 5.6	10.4 ± 2.4	<b>41</b>	13.8 ± 5.9	24.1 ± 6.4	15.9 ± 6.8
<b>18</b>	10.7 ± 2.5	22.4 ± 3.1	13.4 ± 3.6	<b>42</b>	13.0 ± 5.9	24.4 ± 5.1	17.7 ± 9.3
<b>19</b>	6.0 ± 2.5	15.5 ± 5.9	6.4 ± 4.2	<b>43</b>	4.5 ± 1.4	9.2 ± 3.9	4.7 ± 1.7
<b>20</b>	12.3 ± 4.2	24.2 ± 6.8	15.9 ± 6.7	<b>44</b>	12.0 ± 2.3	25.2 ± 3.1	14.6 ± 2.9
<b>21</b>	11.8 ± 3.8	20.0 ± 4.7	12.3 ± 5.4	<b>45</b>	10.5 ± 2.9	23.6 ± 5.1	13.7 ± 4.6
<b>22</b>	8.2 ± 2.8	21.5 ± 6.4	10.1 ± 4.1	<b>46</b>	4.3 ± 1.1	10.4 ± 3.1	4.0 ± 2.1
<b>23</b>	12.8 ± 5.7	20.9 ± 7.5	13.2 ± 6.0	<b>47</b>	12.5 ± 4.0	25.1 ± 6.1	16.5 ± 5.9
<b>24</b>	11.9 ± 3.3	23.8 ± 5.3	12.6 ± 4.9	<b>48</b>	14.5 ± 4.9	27.0 ± 6.0	17.7 ± 3.7

**Anexo 21.** ANOVA para los parámetros del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluados mediante el análisis de la imagen.

Variables	<i>L</i>			<i>a</i>			<i>b</i>		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	1.61	0.2160	1	0.76	0.3919	1	2.72	0.1109
Concentración	1	2.3x10 <sup>-03</sup>	0.9617	1	0.79	0.3828	1	2.8x10 <sup>-05</sup>	0.9958
Relación fruta/agente osmótico	1	0.63	0.4329	1	1.08	0.3072	1	0.28	0.5992
Temperatura de DO	1	0.07	0.7892	1	0.40	0.5332	1	0.02	0.8798
Temperatura de SAC	2	51.80	<0.0001	2	58.29	<0.0001	2	57.48	<0.0001
Agente osmótico*concentración	1	1.2x10 <sup>-03</sup>	0.9726	1	0.05	0.8327	1	0.22	0.6431
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	1.01	0.3244	1	0.90	0.3521	1	1.12	0.2993
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.01	0.9399	1	0.04	0.8459	1	0.01	0.9293
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	6.26	0.0058	2	11.93	0.0002	2	7.76	0.0022
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.02	0.8963	1	0.39	0.5387	1	1.4x10 <sup>-03</sup>	0.9709
Concentración*temperatura de DO	1	1.82	0.1882	1	0.29	0.5954	1	1.28	0.2676
Concentración*temperatura de SAC	2	3.54	0.0433	2	1.80	0.1847	2	3.21	0.0561
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.59	0.4489	1	0.71	0.4058	1	1.03	0.3186
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.08	0.9243	2	0.80	0.4596	2	0.33	0.7191
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.06	0.9378	2	0.13	0.8780	2	0.11	0.8954

gl, grado de libertad

**Anexo 22.** ANOVA para la variación total del color de las nectarinas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluada mediante el análisis de la imagen.

Variables	<i>ΔC</i>		
	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	0.07	0.8004
Concentración	1	0.05	0.8206
Relación fruta/agente osmótico	1	6.2x10 <sup>-05</sup>	0.9938
Temperatura de DO	1	0.20	0.6599
Temperatura de SAC	2	0.38	0.6869
Agente osmótico*concentración	1	1.11	0.3005
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.38	0.5413
Agente osmótico*temperatura de DO	1	1.19	0.2843
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.66	0.5254
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.44	0.5144
Concentración*temperatura de DO	1	0.33	0.5725
Concentración*temperatura de SAC	2	0.49	0.6161
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.13	0.7212
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.77	0.4720
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	4.8x10 <sup>-03</sup>	0.9952

gl, grado de libertad

**Anexo 23.** ANOVA para la variación total del color de las ciruelas deshidratadas por métodos combinados durante 12 meses de almacenamiento, evaluada mediante el análisis de la imagen.

Variables	<i>AC</i>		
	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	2.3x10 <sup>-03</sup>	0.9617
Concentración	1	4.15	0.0516
Relación fruta/agente osmótico	1	1.99	0.1699
Temperatura de DO	1	5.80	0.0232
Temperatura de SAC	2	0.47	0.6321
Agente osmótico*concentración	1	1.68	0.2059
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.85	0.3656
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.02	0.8900
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.77	0.4751
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.05	0.8280
Concentración*temperatura de DO	1	1.74	0.1982
Concentración*temperatura de SAC	2	0.14	0.8726
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	5.88	0.0223
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.64	0.5335
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	1.39	0.2672

gl, grado de libertad

**Anexo 24.** ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Peleg, obtenidas en la rehidratación de nectarinas deshidratadas por métodos combinados.

Variables	$K_1$			$K_2$		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	1.66	0.2081	1	0.35	0.5576
Concentración	1	16.25	0.0004	1	5.22	0.0305
Relación fruta/agente osmótico	1	5.38	0.0281	1	2.50	0.1258
Temperatura de DO	1	1.34	0.2579	1	0.59	0.4483
Temperatura de SAC	2	5.80	0.0080	2	7.58	0.0024
Agente osmótico*concentración	1	0.60	0.4447	1	3.27	0.0819
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.42	0.5215	1	0.35	0.5604
Agente osmótico*temperatura de DO	1	2.43	0.1304	1	0.02	0.8946
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	2.33	0.1170	2	1.18	0.3221
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	9.97	0.0039	1	22.59	0.0001
Concentración*temperatura de DO	1	6.84	0.0144	1	4.48	0.0437
Concentración*temperatura de SAC	2	2.06	0.1470	2	2.31	0.1185
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.62	0.2144	1	0.02	0.8757
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	5.68	0.0087	1	2.00	0.1546
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	3.63	0.0403	2	1.09	0.3503

gl, grado de libertad

**Anexo 25.** ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Peleg, obtenidas en la rehidratación de ciruelas deshidratadas por métodos combinados.

Variables	$K_1$			$K_2$		
	gl	F	<i>p</i>	gl	F	<i>p</i>
Agente osmótico	1	4.36	0.0464	1	0.09	0.7712
Concentración	1	5.39	0.0280	1	3.55	0.0705
Relación fruta/agente osmótico	1	4.68	0.0396	1	1.13	0.2965
Temperatura de DO	1	0.61	0.4431	1	1.98	0.1713
Temperatura de SAC	2	0.18	0.8391	2	2.02	0.1527
Agente osmótico*concentración	1	4.12	0.0524	1	0.01	0.9375
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	2.24	0.1460	1	0.77	0.3883
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.03	0.8629	1	1.05	0.3138
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.47	0.6295	2	0.06	0.9408
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	3.40	0.0763	1	1.93	0.1756
Concentración*temperatura de DO	1	0.02	0.8796	1	1.27	0.2691
Concentración*temperatura de SAC	2	0.30	0.7442	2	1.97	0.1588
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	1.60	0.2174	1	1.33	0.2586
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.62	0.5449	1	2.24	0.1258
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	2.89	0.0732	2	0.78	0.4682

gl, grado de libertad

**Anexo 26.** ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Weibull, obtenidas en la rehidratación de nectarinas deshidratadas por métodos combinados.

Variables	$\alpha$			$\beta$		
	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	1.1x10 <sup>-03</sup>	0.9736	1	1.25	0.2729
Concentración	1	1.85	0.1850	1	2.16	0.1534
Relación fruta/agente osmótico	1	0.17	0.6817	1	0.06	0.8124
Temperatura de DO	1	0.57	0.4553	1	1.06	0.3118
Temperatura de SAC	2	0.22	0.8001	2	0.42	0.6642
Agente osmótico*concentración	1	2.53	0.1235	1	0.42	0.5230
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	0.34	0.5675	1	0.77	0.3893
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.01	0.9197	1	2.70	0.1122
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	2.49	0.1021	2	0.78	0.4693
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	0.05	0.8277	1	0.52	0.4783
Concentración*temperatura de DO	1	0.02	0.8795	1	1.98	0.1713
Concentración*temperatura de SAC	2	0.15	0.8583	2	0.14	0.8743
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.43	0.5182	1	1.18	0.2878
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	1.10	0.3467	1	0.97	0.3927
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	2.17	0.1333	2	1.45	0.2524

gl, grado de libertad

**Anexo 27.** ANOVA para las constantes de ajuste del Modelo de Weibull, obtenidas en la rehidratación de ciruelas deshidratadas por métodos combinados.

Variables	$\alpha$			$\beta$		
	gl	F	p	gl	F	p
Agente osmótico	1	0.56	0.4621	1	2.21	0.1486
Concentración	1	0.32	0.5737	1	1.74	0.1977
Relación fruta/agente osmótico	1	0.45	0.5092	1	0.04	0.8472
Temperatura de DO	1	0.65	0.4275	1	0.10	0.7579
Temperatura de SAC	2	1.95	0.1615	2	1.02	0.3727
Agente osmótico*concentración	1	1.78	0.1935	1	3.03	0.0933
Agente osmótico*relación fruta/agente osmótico	1	$1.5 \times 10^{-03}$	0.9698	1	$1.6 \times 10^{-03}$	0.9680
Agente osmótico*temperatura de DO	1	0.10	0.7523	1	0.11	0.7438
Agente osmótico*temperatura de SAC	2	0.34	0.7177	2	0.61	0.5496
Concentración*relación fruta/agente osmótico	1	1.23	0.2777	1	0.97	0.3323
Concentración*temperatura de DO	1	1.18	0.2873	1	0.95	0.3380
Concentración*temperatura de SAC	2	1.47	0.2488	2	0.52	0.6011
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de DO	1	0.01	0.9174	1	3.20	0.0851
Relación fruta/agente osmótico*temperatura de SAC	1	0.21	0.8107	1	0.90	0.4183
Temperatura de DO*temperatura de SAC	2	0.01	0.9859	2	1.37	0.2718

gl, grado de libertad