# HERRAMIENTAS MATEMATICAS APLICADAS EN EL ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PELONES

**Marcela Rodríguez**[1,2], **Ramiro Arballo**[3], **Laura Campañone**[3,4], **Miriam Cocconi**[2], **Rodolfo Mascheroni**[4], **Ana Pagano**[2]
[1]CONICET, UNLP-UNICEN
[2]TECSE-UNICEN, Av. Del Valle 5737 (7400), Buenos Aires, Argentina
[3]CIDCA-UNLP, [4]CIDCA (CONICET La Plata y UNLP) y MODIAL
mrodrigu@fio.unicen.edu.ar, ramiroarballo@hotmail.com, apagano@fio.unicen.edu.ar

**Area Temática:** Aplicaciones de la matemática
**Palabras Claves:** Modelado de la transferencia de flujo, coeficiente efectivo de difusión, cinética de deshidratación osmótica.

## RESUMEN

El propósito del presente trabajo fue estudiar la cinética deshidratación osmótica de pelones mediante la aplicación de herramientas matemáticas (ANAVA, modelo matemático). El tiempo de proceso, el tipo y la concentración del agente osmótico afectaron a todas las variables del sistema, mientras que la relación fruta/solución influyó significativamente sobre el contenido de humedad y la temperatura incidió sobre el contenido de sólidos solubles. Los coeficientes efectivos de difusión obtenidos a partir de la solución analítica de la segunda ley de Fick variaron entre $1.27x10^{-10}$ y $1.37x10^{-8}$ $m^2$ $s^{-1}$ para el agua y entre $1.14x10^{-10}$ y $1.08x10^{-8}$ $m^2$ $s^{-1}$ para los sólidos, presentando $R^2$ cercanos a la unidad.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha generado información relevante sobre la deshidratación de frutos de carozo, tales como las ciruelas (Franklin et al., 2006; Tarhan et al., 2007), cerezas (Goncalves et al., 2007; De Michelis et al., 2008), duraznos (Gil et al., 2002), damascos (Khoyi et al., 2007; Ispir and Togrul, 2009) y pelones (Araujo et al., 2004) debido a las propiedades nutricionales de estos frutos. Los pelones o nectarinas son frutos de carozo, cuya producción y comercialización es similar a la de los duraznos; también lo son sus propiedades nutricionales, aunque los pelones poseen contenidos ligeramente superiores de provitamina A y vitamina E (Gil et al., 2002). Ambos frutos 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 (Lavelli et al., 2009).

La deshidratación osmótica (DO) se utiliza como tratamiento previo a muchos procesos y mejora las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales de los alimentos sin alterar su integridad (Torreggiani, 1993). Esta técnica consiste en colocar las frutas u hortalizas (enteras o en trozos) en soluciones de sal o de azúcares, y se caracteriza por un intercambio de flujos de agua y solutos que permite que la fruta gane sólidos y pierda agua, dependiendo de las condiciones del proceso (Chiralt and Fito, 2003; Ramallo and Mascheroni, 2005). La existencia de flujos simultáneos y opuestos es una de las principales dificultades en el modelado de la cinética de deshidratación osmótica (Spiazzi and Mascheroni, 1997). La velocidad de pérdida de agua del producto y los cambios en su composición química dependen de la naturaleza y del tamaño del producto a deshidratar, del tipo y la concentración del agente osmótico, de la relación fruta-jarabe, de la temperatura y del tiempo de proceso. La agitación periódica del sistema también produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación (Maldonado et al., 2008). En general, durante las dos primeras horas de contacto entre el fruto y el jarabe se logra una alta velocidad de eliminación de agua; luego de este período la velocidad empieza a decrecer debido a una menor diferencia de presión osmótica y a una mayor resistencia a la transferencia de masa en esta etapa del proceso (Barbosa-Cánovas et al., 2000). En muchos trabajos se han desarrollados 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 and 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 y Mascheroni (1997) han propuesto modelos basados en el conocimiento de la fisiología celular de los tejidos.

El objetivo de este trabajo es estudiar la cinética de deshidratación osmótica de pelones evaluando el efecto de la concentración de la solución osmótica (CONAO), la temperatura (TDO), la relación fruta/solución (FRAO), el tipo de soluto (AO) y tiempo de procesamiento (TIEMPO) sobre los parámetros cinéticos del proceso contenido de humedad (WC) y el contenido de sólidos solubles (SSC) y calcular los coeficientes efectivos de difusión a partir de la segunda ley de Fick.

## DESARROLLO

### *Caracterización y preparación de las muestras*

Para el desarrollo del diseño experimental se trabajó con pelones frescos de la variedad Caldesi (*Prunus persica var. nectarina*). Los pelones se guardaron refrigerados a 5ºC; previo al ensayo, las muestras seleccionadas por

tamaño y calidad se lavaron y secaron con papel absorbente, luego se pelaron y se descarozaron y finalmente se cortaron manualmente en porciones de $^1/_{16}$ (peso promedio 3.2 g). El peso promedio por fruto fue de 103.19 g.
El contenido de humedad inicial ($WC_o$) del fruto fue de 82.14% b.h. (base húmeda); se determinó usando el método estándar (AOAC, 1980) por secado en estufa a 70± 2ºC hasta peso constante (9 h). El contenido inicial de sólidos solubles ($SSC_o$) fue de 14.50 °Brix, determinado con refractómetro Abbe (precisión ± 0.01) (AOAC, 1980).

***Deshidratación osmótica***

La deshidratación osmótica se llevó a cabo durante 2 h 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, empleando un erlenmeyer de 2 L de capacidad en el cual se dispuso de solución necesaria para respetar relaciones jarabe a fruta de 4 a 1 y 10 a 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 40ºC, con agitación constante del sistema a 331 rpm. A intervalos regulares se evaluó el peso las muestras (balanza analítica, precisión ± 0.0001 g), el contenido de humedad (WC) (g de agua /100 g de muestra) y contenido de sólidos solubles (SSC) (g de sólidos solubles /100 g de muestra).

***Modelado de la transferencia de materia***

La transferencia de masa fue modelada usando la solución analítica de Crank (1975) que resuelve las ecuaciones de difusión planteadas en la segunda ley de Fick:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D_{ef}\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \tag{1}$$

La Ec. 1 se aplica asumiendo las siguientes hipótesis: 1) la transferencia de masa es unidireccional; 2) la concentración de la solución es constante en el tiempo; 3) las concentraciones en el equilibrio deben ser determinadas experimentalmente; 4) sólo se considera el mecanismo difusional de eliminación de agua; 5) no se considera las interacción entre flujos; 6) se desprecia el encogimiento y la resistencia externa a la transferencia de masa. En la Fig. 1 se presenta un esquema de la geometría de la porción de pelón (vista superior) supuesta para el modelado de los datos experimentales obtenidos durante la DO, donde se asume que cada poción tiene 12.5 mm de lado.

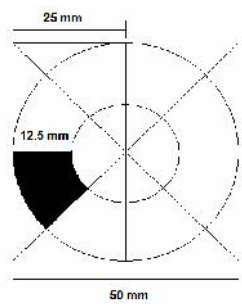


Fig. 1. Esquema de la porción utilizada para la determinación de los coeficientes de difusión.

La solución de Crank para láminas planas semi-infinitas se presenta a continuación en la Ec. 2:

$$\frac{(w_t - w_\infty)}{(w_i - w_\infty)} = \sum_{n=0}^{\infty}\frac{8}{(2n+1)^2.\pi^2}.\exp\left(-(2n+1)^2.\frac{\pi^2.D_{ef}}{4.l^2}t\right) \tag{2}$$

El modelo se puede simplificar usando únicamente el primer término de la serie de la Ec. 2, aunque es menos riguroso matemáticamente. Entonces, para tiempos largos de proceso, se obtiene la Ec. 3:

$$\frac{(w_t - w_\infty)}{(w_i - w_\infty)} = \frac{8}{\pi^2}.\exp\left(-\frac{\pi^2.D_{ef}}{4.l^2}t\right) \tag{3}$$

Aplicando logaritmo natural a ambos lados de la igualdad, se obtiene la Ec. 4:

$$\left(\ln\frac{(w_t - w_\infty)}{(w_i - w_\infty)}\right) = \left(\ln\frac{8}{\pi^2}\right) + \left(-\frac{\pi^2.D_{ef}}{4.l^2}\right).t \tag{4}$$

El error promedio porcentual (Epp) fue utilizado para estimar la calidad del ajuste del modelo (Ec.5).

$$Epp = \frac{100}{n}.\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{V_{exp} - V_{cal}}{V_{exp}}\right| \tag{5}$$

La secuencia de cálculo para obtener los coeficientes de difusión para el agua y para los sólidos se llevó a cabo a través de un algoritmo de cálculo propio codificado en Matlab 7.2 (Mathworks, Natick, MA) donde se aplicó la función REGRESS para obtener los coeficientes de regresión.

***Análisis estadístico de los datos***

Todos los resultados fueron analizados estadísticamente usando el análisis de la varianza (ANAVA) con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2008) considerando un nivel de significación del 5%.

Para realizar el ANAVA se utilizó un modelo estadístico lineal para un diseño anidado con cinco factores aleatorios, es decir, A; B dentro de A; C dentro de B; D dentro de C; E dentro de D (Ec. 6).

$$y_{ijklm} = \mu + a_i + b_{j(i)} + c_{k(ij)} + d_{l(ijk)} + e_{m(ijkl)} \quad (6)$$

$i$=1,2,…,a; $j$=1,2,…,b; $k$=1,2,…,c; $l$=1,2,d; m=1,2,…,e.

donde: μ es la media; $a_i$ es el efecto del factor A; $b_{j(i)}$ es el efecto del factor B anidado en A; $C_{k(ij)}$ es el efecto del factor C anidado en B; $D_{l(ijk)}$ es el efecto del factor D anidado en C; $E_{m(ijkl)}$ es el efecto del factor E anidado en D. Las letras A; B; C; D; E representan a las variables independientes TIEMPO; AO; CONAO; FRAO; TDO, respectivamente.

**RESULTADOS:**

***Cinética del contenido de humedad***

En la Tabla 1 se muestran los resultados estadísticos del análisis de varianza realizado para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el contenido de humedad (WC).

Tabla 1. Análisis de varianza de las variables implicadas en la deshidratación osmótica de pelones sobre WC.

| Variables | WC | | |
|---|---|---|---|
| | gl | F | p |
| TIEMPO | 6 | 99.48 | <0.0001 |
| AO | 1 | 26.81 | <0.0001 |
| CONAO | 1 | 74.14 | <0.0001 |
| FRAO | 1 | 6.74 | 0.0108 |
| TDO | 1 | 0.93 | 0.3374 |
| Error | 101 | | |

Las Figs. 2 y 3 presentan el seguimiento del contenido de humedad de las muestras deshidratadas durante 120 minutos en soluciones de jarabe glucosa y sorbitol, respectivamente. En cada gráfico se puede observar la evolución de WC para los 8 tratamientos distintos, variando las condiciones operativas de concentración de los agentes osmóticos glucosa (g-40%; g-60%) y sorbitol (s-40%; s-60%), relación fruta a jarabe (r1/4; r1/10) y temperatura del proceso (25ºC y 40ºC).

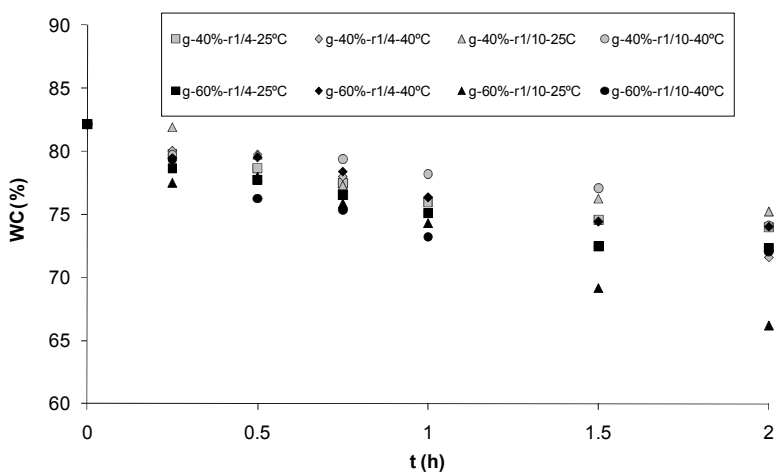


Fig. 2. Contenido de humedad de pelones osmodeshidratados en solución de jarabe de glucosa (g).

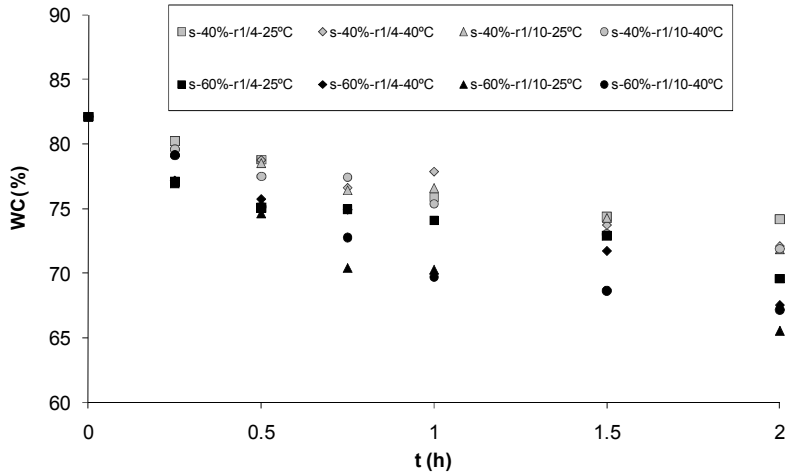


Fig. 3. Contenido de humedad de pelones osmodeshidratados en solución de sorbitol (s).

Se observa una disminución del contenido de humedad durante el transcurso del tratamiento osmótico (Figs. 2 y 3), ejerciendo el tiempo un efecto significativo ($p<0.0001$) sobre los valores de WC tanto para las muestras deshidratadas en jarabe de glucosa como en sorbitol. Los pelones presentaron diferencias significativas ($p<0.0001$) en el contenido de humedad según el tipo de agente osmótico empleado, observándose mayor grado de deshidratación en aquellas muestras tratadas en solución de sorbitol (Fig. 3).
El aumento en la concentración de la solución hipertónica del 40 al 60% p/p provocó un marcado descenso en los valores de humedad ($p<0.0001$), siendo este efecto más notable cuando se utilizó sorbitol como agente deshidratante. Adicionalmente, el aumento en la proporción de solución respecto de la muestra permitió obtener productos finales con menor contenido de humedad, siendo este efecto estadísticamente significativo ($p=0.0108$). Finalmente, la variable WC fue independiente de la temperatura del baño térmico ($p=0.3374$).

***Cinética del contenido de sólidos solubles***
En la Tabla 2 se presentan los resultados estadísticos del análisis de varianza realizado para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el contenido de sólidos solubles (SSC).

Tabla 3. Análisis de varianza de las variables implicadas en la deshidratación osmótica de pelones sobre SSC.

| Variables | SSC | | |
|---|---|---|---|
| | gl | F | p |
| TIEMPO | 6 | 62.95 | <0.0001 |
| AO | 1 | 13.38 | 0.0004 |
| CONAO | 1 | 24.02 | <0.0001 |
| FRAO | 1 | 0.57 | 0.4531 |
| TDO | 1 | 6.22 | 0.0142 |
| Error | 101 | | |

En las Figs. 4 y 5 se muestran la evolución del contenido de sólidos solubles de los pelones osmodeshidratados durante 120 minutos en soluciones de jarabe glucosa y sorbitol. Para todas las condiciones experimentales, se observa un progresivo aumento en el contenido de sólidos solubles durante el transcurso del tratamiento osmótico ($p<0.0001$). Las muestras presentaron diferencias significativas ($p=0.0004$) en el contenido de sólidos solubles según sea el tipo de agente osmótico empleado, observándose un incremento en el SSC en aquellas muestras tratadas en solución de sorbitol (Fig. 5). El empleo de soluciones hipertónicas más concentradas permitió obtener productos finales con mayor contenido de sólidos solubles, siendo este efecto estadísticamente significativo ($p<0.0001$).
Al mismo tiempo, la variación de la temperatura del proceso influyó ($p=0.0142$) sobre los valores de SSC, observándose en general una tendencia a aumentar el contenido de sólidos solubles con el incremento de la temperatura. Cabe destacar que cuando los pelones son deshidratados en solución de jarabe de glucosa al 40% p/p, el SSC aumenta en función de la temperatura, pero a concentraciones superiores del 60% p/p los resultados se invierten, alcanzándose valores mayores en el contenido de sólidos cuando las muestras son deshidratadas a temperatura ambiente. Este fenómeno según Barat et al. (2001) puede ser atribuido al colapso de la estructura celular cuando se trabaja a altas concentraciones de solución osmótica y/o temperatura que causa una parcial expulsión de la solución osmótica con la liberación de gas, resultando en la contracción de los poros y, consecuentemente, la reducción del volumen libre para la impregnación de sólidos solubles. Mientras que cuando las muestras son sumergidas en solución de sorbitol, la variación del contenido de sólidos solubles con

respecto a la temperatura no se relaciona con la concentración sino que hay una interacción con la relación fruta a agente osmótico, siendo superior el valor de SSC cuando la relación es 1/4 y la temperatura del sistema alcanza los 40ºC; de forma análoga, con relaciones de fruta a jarabe de 1/10 el contenido de sólidos es superior a temperatura ambiente. Nuevamente se repite el efecto observado para las muestras tratadas con glucosa, donde al combinar condiciones extremas de deshidratación, el sistema colapsa, los poros de la fruta se contraen y el ingreso de sólidos desde la solución al fruto es menor. Adicionalmente, el aumento en la proporción de solución respecto de la muestra no incidió sobre el contenido de sólidos (p=0.4531).

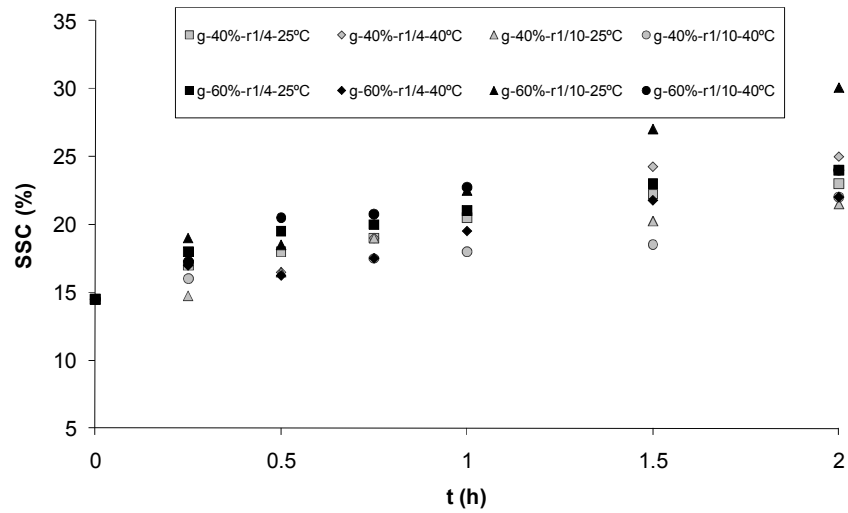


Fig. 4. Contenido de sólidos solubles de pelones osmodeshidratadosis en soluciones de jarabe de glucosa (g).

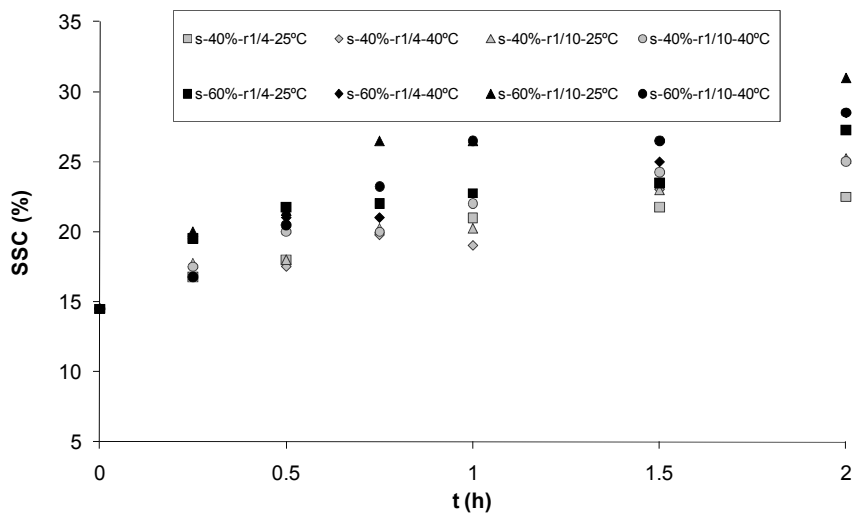


Fig. 5. Contenido de sólidos solubles de pelones osmodeshidratados en soluciones de sorbitol (s).

***Coeficientes efectivos de difusión de agua y de sólidos***

En las Tablas 3 y 4 se presentan los coeficientes efectivos de difusión de agua (*Def* $_W$) y de sólidos (*Def* $_S$), acompañados de sus respectivos coeficientes de correlación ($R^2$) y sus errores promedios porcentuales (Epp%). Para realizar el cálculo matemático se consideró como valor de W □ (humedad en equilibrio) a la humedad correspondiente a los 120 minutos de ósmosis.

En la Tabla 3 se observa que el coeficiente efectivo de difusión de agua varía en un rango comprendido entre $1.27x10^{-10}$ y $1.37x10^{-08}$ $m^2 s^{-1}$, con $R^2$ desde 0.80 hasta 0.99 y el coeficiente de difusión de sólido varía desde $1.14x10^{-10}$ a $1.08x10^{-08}$ $m^2s^{-1}$, con valores de $R^2$ comprendidos entre 0.82 y 0.96 (Tabla 4). En ambos casos, los valores altos de $R^2$ indican una buena calidad de ajuste entre los valores predichos y los experimentales.

Otros autores han reportado valores semejantes de coeficiente efectivo de difusión de agua para otros frutos de carozos osmodeshidratados en condiciones similares utilizando la segunda ley de Fick. Según Ispir and Togrul (2009) los coeficientes de difusión de agua variaron entre 0.767 $x10^{-10}$ y 1.755 $x10^{-10}$ en la DO de damascos, mientras que Sabarez and Price (1999) obtuvieron coeficientes de difusión de agua en el rango de $4.3x10^{-10}$ y $7.6x10^{-10}$ en la DO de ciruelas. Por otro lado, Khoyi and Hesari (2007) reportaron valores comprendidos entre $1.066x10^{-09}$ y 4.061 $x10^{-09}$ para la difusión de agua y de $7.69x10^{-10}$ y $3.127x10^{-09}$ $m^2$ $s^{-1}$ para la difusión de sólidos en damascos.

Tabla 3. Coeficientes efectivos de difusión de agua.

| Nº | Condición | $Def_w$ ($m^2 s^{-1}$) | $R^2$ | Epp |
|---|---|---|---|---|
| 1 | g-40%-r1/4-25ºC | $8.29x10^{-09}$ | 0.9610 | 1.45 |
| 2 | g-40%-r1/4-40ºC | $8.45x10^{-09}$ | 0.9202 | 3.24 |
| 3 | g-40%-r1/10-25ºC | $6.56x10^{-09}$ | 0.9391 | 1.32 |
| 4 | g-40%-r1/10-40ºC | $2.34x10^{-09}$ | 0.9066 | 0.32 |
| 5 | g-60%-r1/4-25ºC | $1.37x10^{-08}$ | 0.8235 | 2.65 |
| 6 | g-60%-r1/4-40ºC | $9.44x10^{-09}$ | 0.8741 | 2.01 |
| 7 | g-60%-r1/10-25ºC | $4.79x10^{-09}$ | 0.8515 | 3.03 |
| 8 | g-60%-r1/10-40ºC | $1.70x10^{-10}$ | 0.9299 | 1.69 |
| 9 | s-40%-r1/4-25ºC | $1.22x10^{-08}$ | 0.8601 | 2.50 |
| 10 | s-40%-r1/4-40ºC | $5.85x10^{-09}$ | 0.8002 | 2.10 |
| 11 | s-40%-r1/10-25ºC | $3.91x10^{-09}$ | 0.9413 | 0.87 |
| 12 | s-40%-r1/10-40ºC | $6.62x10^{-09}$ | 0.9215 | 1.81 |
| 13 | s-60%-r1/4-25ºC | $2.67x10^{-09}$ | 0.9580 | 1.37 |
| 14 | s-60%-r1/4-40ºC | $2.93x10^{-09}$ | 0.9920 | 0.26 |
| 15 | s-60%-r1/10-25ºC | $5.73x10^{-09}$ | 0.8998 | 1.37 |
| 16 | s-60%-r1/10-40ºC | $1.27x10^{-10}$ | 0.9720 | 2.27 |

Tabla 4. Coeficientes efectivos de difusión de sólidos.

| Nº | Condición | $Def_s$ ($m^2 s^{-1}$) | $R^2$ | Epp |
|---|---|---|---|---|
| 1 | g-40%-r1/4-25ºC | $7.40x10^{-09}$ | 0.9419 | 6.26 |
| 2 | g-40%-r1/4-40ºC | $9.00 x10^{-09}$ | 0.9143 | 14.68 |
| 3 | g-40%-r1/10-25ºC | $5.98 x10^{-09}$ | 0.9512 | 7.24 |
| 4 | g-40%-r1/10-40ºC | $1.90 x10^{-09}$ | 0.9621 | 1.21 |
| 5 | g-60%-r1/4-25ºC | $6.12 x10^{-09}$ | 0.9326 | 3.04 |
| 6 | g-60%-r1/4-40ºC | $1.08 x10^{-08}$ | 0.8191 | 10.88 |
| 7 | g-60%-r1/10-25ºC | $4.69 x10^{-09}$ | 0.8595 | 11.30 |
| 8 | g-60%-r1/10-40ºC | $1.50 x10^{-10}$ | 0.9105 | 4.98 |
| 9 | s-40%-r1/4-25ºC | $7.67 x10^{-09}$ | 0.8806 | 6.80 |
| 10 | s-40%-r1/4-40ºC | $5.55 x10^{-09}$ | 0.8548 | 9.78 |
| 11 | s-40%-r1/10-25ºC | $4.25 x10^{-09}$ | 0.9180 | 4.52 |
| 12 | s-40%-r1/10-40ºC | $7.86 x10^{-09}$ | 0.9169 | 6.84 |
| 13 | s-60%-r1/4-25ºC | $2.35 x10^{-09}$ | 0.9109 | 5.98 |
| 14 | s-60%-r1/4-40ºC | $3.33 x10^{-09}$ | 0.9471 | 1.79 |
| 15 | s-60%-r1/10-25ºC | $6.03 x10^{-09}$ | 0.8593 | 5.13 |
| 16 | s-60%-r1/10-40ºC | $1.14 x10^{-10}$ | 0.8631 | 8.34 |

Al comparar los coeficientes de difusión de agua y de sólidos según el agente osmótico utilizado (condiciones 1 a la 8 vs. condiciones 9 a la 16), se observa que en 5 de un total de 8 ensayos el intercambio de flujos fue mayor cuando las muestras de deshidrataron en solución de jarabe de glucosa, siendo los coeficientes de las muestras tratadas en sorbitol superiores sólo para las condiciones 40%-r1/4-25ºC; 40%-r1/10-40ºC y 60%-r1/10-25ºC.
En las Tablas 3 y 4 también se observa que los coeficientes de difusión de agua y de sólidos variaron según la relación fruta a jarabe utilizada durante el tratamiento osmótico (condiciones 1; 2; 5; 6 vs. condiciones 3; 4; 7; 8), correspondiendo en la mayor parte de los casos coeficientes más altos para la relación de fruta a jarabe de 1 a 4. En cambio, para las muestras osmodeshidratadas en soluciones de sorbitol al 40% p/p a 40ºC y al 60% p/p a temperatura ambiente, los coeficientes sí fueron superiores al aumentar las relación del jarabe de 4 a 10 por cada parte de fruta.

Para evaluar el efecto de la concentración del agente osmótico sobre los coeficientes se comparan los resultados obtenidos para las condiciones 1 a la 4 vs. las condiciones 5 a la 8. Los coeficientes de agua y de sólidos fueron en general superiores cuando se trabajó en soluciones del 40% p/p; pero para las condiciones experimentales g-r1/4-40ºC; s-r1/10-25ºC, ambos coeficientes fueron mayores al trabajar con soluciones más concentradas del 60% p/p (Tablas 3 y 4). Este mismo efecto se observó para el coeficiente de difusión de sólido de los pelones osmodeshidratados en glucosa, con una relación de fruta a jarabe de 1 a 4 y una temperatura de 25ºC (Tabla 4).
Al analizar la influencia de la temperatura, se puede destacar que las muestras experimentaron en 5 ensayos una mayor difusión de agua desde el interior de la fruta hacia la solución osmótica cuando el proceso se realizó a temperatura ambiente (condiciones 1; 3; 5; 7 vs. condiciones 2; 4; 6; 8). No obstante, para algunas condiciones la difusión de agua fue mayor cuando la temperatura de baño térmico fue de 40ºC (g-40%-r1/4; s-40%-r1/10; s-60%-r1/4). Para la difusión de sólidos solubles desde la solución osmótica a la fruta no se observó un comportamiento predominante según la temperatura del proceso.

**CONCLUSIONES:**

La utilización de herramientas matemáticas para el análisis de los datos experimentales permitió conocer cuáles eran las variables significativas involucradas en el proceso, y la influencia de éstas sobre la transferencia de materia, que permite que el fruto pierda agua y gané sólidos solubles según las condiciones del sistema.
En la deshidratación osmótica de pelones Caldesi se produce una disminución del contenido de humedad y un incremento del contenido de sólidos solubles en función del tiempo del tratamiento osmótico. Las muestras deshidratadas en sorbitol presentaron una mayor reducción del contenido de humedad y un aumento del contenido de sólidos solubles, respecto a las muestras osmodeshidratadas en solución de jarabe de glucosa.
El aumento de la concentración de la solución hipertónica acrecentó la disminución del contenido de humedad y el aumento del contenido de sólidos de los pelones; por otro lado, el incremento de 4/1 a 10/1 en la proporción de solución respecto de la muestra logró productos con menor contenido de humedad. Finalmente se observó una tendencia a aumentar el contenido de sólidos solubles con el incremento de la temperatura.
Cuando los pelones fueron deshidratados en solución al 60% p/p, con una relación de fruta a jarabe de 1 a 10 y a 40ºC el intercambio de flujo fue mínimo, independientemente del tipo de agente osmótico empleado. Se puede destacar que de todas las condiciones ensayadas, la transferencia de agua fue superior para las muestras tratadas en glucosa 60%, relación 1/4 y 25ºC, produciéndose la difusión de sólido más alta en la misma condición experimental pero a una temperatura de 40ºC. Los valores de los coeficientes efectivos de difusión obtenidos a partir de la solución analítica de la 2º ley de Fick mostraron una buena correlación con los datos experimentales.
El estudio de la osmodeshidratación de pelones permite aportar información relevante sobre un fruto novedoso para la industria del secado.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**


AOAC (1980), Official Methods of Analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemists) International, Washington D.C.

Araujo, E.A.F., S.C.A. Ribeiro, P.M. Azoubel and F.E. X. Murr (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.

Barat, J.M, Chiralt, A. and 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. and H. Vega-Mercado (2000), Deshidratación de Alimentos, Zaragoza, España, Ed. ACRIBIA S.A., pp. 296.

Chiralt, A. and P. Fito (2003), Transport mechanisms in osmotic dehydration, The role of the structure, Food Science and Technology International, Vol. 9(3), pp. 179–186.

Crank, J. (1975), The Mathematics of diffusion, 2nd Ed., pp.47-49, Oxford University Press, Oxford, England.

De Michelis, A., B.N. Pirone, M.B. Vullioud, M.R. Ochoa, A.G. Kesseler and C.A. Márquez (2008), Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, Vol. 28(2), pp. 317–321.

Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo (2008). *InfoStat, versión 2008,* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Franklin, M., S.Y. Bu, M.R. Lerner, E.A. Lancaster, D. Bellmer, D. Marlow, S.A. Lightfoot, B.H. Arjmandi, D.J. Brackett, E.A. Lucas and B.J. Smith (2006), Dried plum prevents bone loss in a male osteoporosis model via IGF-I and the RANK pathway, Bone, Vol. 39, pp. 1331–1342.

Gil, M.I., F.A. Tomas-Barberan, B. Hess-Pierce, and A.A. Kader (2002), Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California, J. Agric. Food Chem, Vol. 50(17), pp. 4976–4982.

Goncalves, B., A.P. Silva, J. Moutinho-Pereira, E. Bacelar, E. Rosa and A.S. Meyer (2007), Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (Prunus avium L.), Food Chemistry, Vol. 103, pp. 976–984.

Ispir, A. and I.T. Togrul (2009), Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 87, pp. 166–180.

Khoyi, M.R. and J. Hesari (2007), Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution, Journal of Food Engineering, Vol. 78, pp. 1355–1360.

Lavelli, V., C. Pompei and M.A. Casadei (2009), Quality of nectarine and peach nectars as affected by lye-peeling and storage, Food Chemistry, Vol. 115, pp. 1291–1298, Article in press, available online a www.elsevier.com.

Maldonado, S., J.E. Santapaola, J. Singh, M. Torrez and A. Garay (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.

Ramallo, L. and R.H. Mascheroni (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.

Sabarez, H.T and Price W.E. (1999), A diffusion model for prune dehydration, Journal of Food Engineering, Vol. 42, pp.167-172.

Salvatori, D., A. Andrés, A. Chiralt and P. Fito (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.

Spiazzi, E. and R. Mascheroni (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.