

DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.3555>

Obtención de ciruelas osmodeshidratadas bajas en calorías mediante un proceso dual de sustitución de azúcares

Mariana Belén Laborde^{a,b}, Salomé Muñoz^b, Ana María Pagano^b

Resumen: Se llevó a cabo el desarrollo de un alimento saludable reducido en calorías y de calidad diferencial: ciruelas *D'Agen* deshidratadas. Esto mediante un proceso osmótico dual (D3S) de sustitución de los azúcares naturales de la fruta por edulcorante no calórico *Stevia* complementado por secado. Se utilizó un diseño experimental factorial bajo la consideración del tiempo de pretratamiento en Etapa I (10, 20, 30 minutos), frecuencia de ultrasonido en Etapas I y II (0,40 kHz), tiempo de tratamiento en Etapa II (10, 20, 30 minutos), y concentración de solución de edulcorante *Stevia* (20, 25% p/p). El monitoreo del proceso se realizó al evaluar la evolución del contenido de sólidos solubles (ss), humedad (m) y peso de las muestras (w), así como las variables pérdida de sólidos solubles (sg), pérdida de agua (wl), y reducción de peso (wr), en cada etapa. Los resultados se analizaron mediante Anova (análisis de la varianza) y RSM (metodología de superficie de respuesta). El proceso dual óptimo que removió la mayor cantidad de azúcares calóricos e incorporó más edulcorante natural *Stevia* cero calorías (10,67%) a las ciruelas consistió en un pretratamiento de 22,8 minutos asistido por ultrasonido, seguido de inmersión en solución de *Stevia* del 20% p/p durante 22 minutos con aplicación de ultrasonido, mientras que para la optimización múltiple de sg y wl las condiciones operativas fueron solución al osmótica 23% p/p durante 24,6 minutos.

Palabras Clave: ciruelas; bajas calorías; optimización; *Stevia*; sustitución de azúcares

Recibido: 9 de julio de 2018

Evaluado: 22 de enero de 2019

Aceptado: 27 de marzo de 2019

Disponible: 2 de marzo de 2020

Cómo citar: Laborde, M. B., Muñoz, S., & Pagano, A. M. (2020). Obtención de ciruelas osmodeshidratadas bajas en calorías mediante un proceso dual de sustitución de azúcares. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 15(1), 47-60. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3555>

-
- a** Conicet. Godoy Cruz 2290, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), Argentina.
- b** Núcleo Tecse, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Unicen). Av. del Valle 5737, Olavarría, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Obtaining Low-calorie Osmodehydrated Plums through a Dual Sugar Substitution Process

Abstract: This research project developed dehydrated *D'Agen* plums, a low-calorie health food with differential quality, through a dual osmotic process (d3s) replacing the natural sugars from the fruit with the *Stevia* non-caloric sweetener supplemented by drying. For these purposes, a factorial experimental design based on pretreatment time in Stage i (10, 20, and 30 min), ultrasound frequency in Stages I and II (0.40 kHz), treatment time in Stage ii (10, 20, and 30 min), and concentration of *Stevia* sweetener solution (20 and 25% w/w) was used. The entire process was monitored by assessing the progress of soluble solids content (ss), moisture (M), and sample weight (w), as well as the soluble solids loss (sg), water loss (wl), and weight reduction (wR) variable, at each stage. Then, the results were analyzed through an Analysis of Variance and Response Surface Methodology. The optimum dual process, which removed the largest amount of caloric sugars and incorporated the most *Stevia*, a natural zero calorie sweetener, (10.67%) into plums consisted of a 22.8-min ultrasound-assisted pretreatment, followed by immersion in 20% w/w *Stevia* solution for 22 min with ultrasound application. However, for multiple Sg and wl optimization, the operating conditions were a 23% w/w osmotic solution for 24.6 min.

Keywords: Plums; Low Calories; Optimization; *Stevia*; Sugar Substitution

Obtenção de ameixas de baixa caloria com desidratação osmótica por meio de um processo duplo de substituição de açúcares

Resumo: Este projeto de pesquisa desenvolveu ameixas *D'Agen* desidratadas, um alimento saudável com baixo teor calórico e qualidade diferenciada, por meio de um processo osmótico duplo (D3S) de substituição dos açúcares naturais da fruta pelo adoçante não calórico *Stevia*, suplementado por secagem. Para isso, utilizou-se um projeto experimental fatorial baseado no tempo de pré-tratamento na Etapa I (10, 20, e 30 minutos), frequência de ultrassom nas Etapas I e II (0,40 kHz), tempo de tratamento na Etapa II (10, 20, e 30 minutos) e concentração da solução adoçante de *Stevia* (20 e 25% p/p). O processo foi monitorado pela avaliação do teor de sólidos solúveis (ss), da umidade (u) e do peso da amostra (p), além da perda de sólidos solúveis (sg), da perda de água (wl) e da redução do peso (wR), em todas as etapas. Os resultados foram analisados por meio de uma análise de variância e da metodologia de superfície de resposta. O processo duplo ideal, que retirou a maior quantidade de açúcares calóricos e incorporou a maior quantidade do adoçante natural *Stevia* com zero calorias (10,67%) nas ameixas, foi composto por um pré-tratamento de 22,8 minutos auxiliado por ultrassom, seguido de imersão em solução de *Stevia* 20% p/p durante 22 minutos com aplicação de ultrassom. Entretanto, para a otimização múltipla de sg e wl, as condições de operação ideais foram com uma solução na concentração de 23% p/p por 24,6 minutos.

Palavras-chave: ameixas; baixa caloria; otimização; *Stevia*; substituição de açúcares

Introducción

La tendencia actual del mercado para la producción de *snacks* es lograr productos inteligentes, con características de “indulgencia sin culpa” para el consumidor. Es decir, se enfoca el desarrollo de los nuevos *snacks* hacia la moderación de la porción y la alta calidad del producto. Entre los alimentos tipo *snack* son comunes las frutas desecadas, como es el caso de las ciruelas pasas; sin embargo, su contenido de carbohidratos es elevado: alrededor de 55 g por cada 100 g de fruta (o más), por lo cual con solo una porción de dos unidades (50 g) el valor energético trepa a 115 kcal (Vademecum Nutrinfo, 2013).

La ciruela (*Prunus doméstica* L.) es el fruto del ciruelo, un árbol perteneciente a la familia de las rosáceas y característico de regiones templadas (De los Santos, 2007). La especie es originaria del Cáucaso, y apareció hace 2000 años (Swain y Hillis, 1959). Actualmente, el ciruelo se encuentra distribuido en las regiones templadas de todo el mundo y en las zonas tropicales montañosas de América Latina y África. Asimismo, se señala como los principales productores del fruto a España, Estados Unidos, Italia, Japón, Grecia y China (Calvo Villegas, 2009).

Es una fruta de forma redondeada u oval con estructura acorazonada, atravesada por un surco que la recorre longitudinalmente dividiéndola prácticamente en dos. Su hueso es oblongo, con dos semillas en el interior (De los Santos, 2007), las cuales pierden su facultad germinativa después de un mes (Calvo Villegas, 2009). Por lo general, posee 7 cm de diámetro y un peso de 65 g, presenta un color de piel y de pulpa uniforme e intenso (De los Santos, 2007). Se caracteriza por la variación en muchas características de la planta. El fruto puede ser pequeño o grande, redondo u oval, verde, amarillo, oro, negro, púrpura o rojo sangre, con una variedad de sabor, aroma y textura (Roussos, Efstathios, Intidhar, Denaxa y Tsafouros, 2015). Cada variedad presenta un color y un sabor diferentes, y pueden darse las siguientes: sabor ácido y mucho jugo (amarillas), jugosas y dulces (rojas), muy adecuadas para postres (violáceas o negras), con destacado dulzor (verdes) (De los Santos, 2007).

En la producción mundial de frutas, la ciruela ocupa el octavo puesto (aproximadamente ocho millones de toneladas). El 70% de la producción lo constituyen variedades de ciruelo japonés, mientras *Prunus doméstica*, la llamada “ciruela Europea”, representa aproximadamente el 20% (Swain y Hillis, 1959). Entre las variedades europeas se encuentran *Claudia*, *D’Agen*, *Felleberg*, *Stanley*, y *President*. Entre las japonesas se destacan *Red Beaut*, *Santa Rosa*, *Angeleno* y *Laroda* (De los Santos, 2007).

En este trabajo se utiliza la variedad *D’Agen*, la cual se estima que es originaria de Francia. Se aprecia para el secado; su fruto pende bien y permanece en la planta de esta manera hasta dos meses, de modo que adelanta así el proceso de secado. Su marcada dulzura favorece el consumo en fresco y tiene buena aceptación en los mercados externos (De los Santos, 2007). Es una de las frutas de carozo más importante. Se consumen, principalmente, frescas y secas, aunque una pequeña cantidad se utiliza para la industria conservera y bebidas (Roussos *et al.*, 2015).

Las ciruelas están compuestas, sobre todo, por agua, e incluyen además un aporte básico en minerales, vitaminas y fibras. En virtud de su gran contenido de azúcares, en su estado natural la ciruela es un excelente alimento. Al desecarse pierde mucha agua y su valor nutricional, como se ha dicho, se incrementa más todavía (De los Santos, 2007; Vademecum Nutrinfo, 2013). Otros componentes importantes son la provitamina A (que una vez consumida se transforma en vitamina A), y la vitamina E, la cual posee para el organismo humano propiedades antioxidantes y ayuda a mejorar la visión, el buen estado de la piel, el pelo, las mucosas, los huesos y la resistencia del sistema inmunológico. En cuanto a la composición mineral, son ricas en potasio, necesario para la actividad muscular.

Dado que los consumidores se han vuelto más conscientes de las diferentes dietas y su impacto en la salud, las compañías de alimentos y los comerciantes han comenzado a dedicar más tiempo y esfuerzo para desarrollar productos más saludables y nutritivos (García-Noguera, Weller, Oliveira, Rodrigues y Fernandes, 2010). La ciruela es un

alimento recomendable en casos de estreñimiento, ya que tiene efecto laxante suave. Este efecto se debe a la combinación en su composición de fibra soluble e insoluble (De los Santos, 2007).

Stevia rebaudiana es una hierba de la familia *Asteraceae*, nativa perenne de Brasil y Paraguay. Se utiliza para producir un edulcorante natural que se utiliza en Asia y América del Sur y que ha ganado la atención de muchos alimentos y bebidas nutritivos (García-Noguera *et al.*, 2010). Hoy en día, su cultivo se da en muchas regiones del mundo, entre estas Brasil, Argentina, Canadá y algunas zonas de Asia y Europa (Lemus-Mondaca, Vega-Gálvez, Zura-Bravo y Ah-Hen, 2012). El principal componente dulce que se ha aislado de las hojas *Stevia rebaudiana* Bertoní es el esteviósido, un glucósido diterpeno que posee una aglicona (esteviol) y tres moléculas de glucosa. Además, en menor concentración, se han hallado steviobiosido rebaudiósido A, B, C, D, E y dulcósido. Dependiendo de las unidades de azúcar unidas a la aglicona aumenta la dulzura, de manera que pueden ser los glucósidos de esteviol hasta 300 veces más dulces que la sacarosa. Esto, sumado a que los edulcorantes derivados de la *Stevia* son cero calorías (García-Noguera *et al.*, 2010), lo hace un edulcorante sumamente interesante para la inclusión en los alimentos *light* tipo *snack*.

A fin de responder a los desafíos actuales de generar alimentos saludables para dietas con adecuado equilibrio energético, en este trabajo se busca desarrollar un producto innovador saludable, natural, *light*, que produzca saciedad y aporte energía: ciruelas osmodeshidratadas reducidas en calorías mediante un tratamiento dual de ósmosis asistido por ultrasonido, complementado con secado para obtener un producto tipo *snack* estable. Este proceso combinado tiene dos etapas (García-Noguera *et al.*, 2010). La primera consiste en la remoción de los azúcares mayoritarios propios de la fruta-glucosa y sacarosa- de alto valor calórico (Roussos *et al.*, 2015), mientras que la segunda corresponde a la incorporación del edulcorante natural *Stevia* sin calorías como reemplazo de los carbohidratos originales, completando finalmente este proceso con secado para lograr una fruta osmodeshidratada desecada estable.

Materiales y métodos

Materiales

Los ensayos se realizaron a partir de ciruelas europeas (*Prunus doméstica* L.) de la variedad *D'Agén*, provenientes de Mendoza, Argentina, clasificadas por tamaño y estado de maduración, las cuales se mantuvieron refrigeradas en cámara (0-5 °C, 90-95% humedad relativa) hasta el momento de su utilización. En la deshidratación osmótica se utilizó edulcorante natural comercial a base de *Stevia* (marca *Stevia Ecoop*) adquirido en el mercado local.

Los ensayos se realizaron en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de los Alimentos y del Núcleo de Investigación Tecse (Tecnologías de Semillas y Alimentos) de la Facultad de Ingeniería Unicen (Olavarría, Provincia de Buenos Aires, Argentina).

Preparación y caracterización de las muestras

Las ciruelas se lavaron por inmersión en agua potable a temperatura ambiente, se descaroaron de forma manual y se dividieron en octavos mediante cortes en la dirección meridional del fruto.

Luego, cada porción se dividió en dos partes, con lo cual cada muestra estuvo constituida por 1/16 de ciruela. Las muestras se caracterizaron en cuanto a:

- Peso promedio: balanza electrónica (precisión $\pm 0,001$ g).
- Longitudes características de la porción (largo de base, altura, espesor): calibre manual (precisión $\pm 0,001$ m).
- Contenido de humedad en base húmeda (b. h.): secado en estufa de convección forzada a 70 ± 1 °C, hasta peso constante, sobre una muestra de 5 g, por triplicado (adaptación del método 934,06 AOAC, 1990).
- Contenido de sólidos solubles: refractómetro ABBE, Japón (precisión $\pm 0,05$ °Brix).
- Acidez titulable: titulación con solución de NaOH 0,05 M y valoración colorimétrica con fenolftaleína, expresando el resultado como mEq de ácido tartárico por cada 100 g de masa fresca (mEq 100/GFM) (Nordey, Léchaudel, Génard y Joas, 2014).

Procedimiento y diseño experimental

Para definir las condiciones del diseño experimental del proceso osmótico dual se tomaron en cuenta ensayos preliminares propios (Muñoz González, Laborde y Pagano, 2016; Laborde *et al.*, 2017) e información bibliográfica sobre tratamientos (tiempos, concentraciones, relación fruta-solución) empleados por otros autores en frutas tales como ananá, frutilla, papaya, pelón, uva, caqui (Bozkir, Ergün, Serdar, Metin y Baysal, 2019; Fernandes, Gallão y Rodrigues, 2008; Fernández Valdés *et al.*, 2015; García-Noguera *et al.*, 2010; García Pereira, Muñoz Becerá, Hernández Gómez, González y Fernández Valdés, 2013; Laborde, Barreto y Pagano, 2015; 2016, 2018; Rodríguez *et al.*, 2013).

Las muestras de 1/8 de ciruela *D'Agen* se sometieron a un tratamiento dual (D3S) de ósmosis en dos etapas (García-Noguera *et al.* 2010): la primera consistió en un pretratamiento de remoción de los azúcares naturales de la ciruela (Etapa I), y la segunda en la incorporación osmótica de edulcorante natural a las ciruelas pretratadas (Etapa II).

En la Etapa I las porciones se sumergieron en agua destilada con el empleo de una relación en masa de fruta-solvente de 1:4, a temperatura ambiente, aplicando una frecuencia de ultrasonido de 40 kHz (US). Del mismo modo se llevó a cabo el pretratamiento testigo sin aplicación de ultrasonido (0 kHz) (noUS).

Para la Etapa II del proceso dual (incorporación del edulcorante *Stevia*), las porciones de ciruela provenientes del mejor tratamiento de la Etapa I se sometieron a deshidratación osmótica, para lo cual se empleó una relación fruta-solución de 1:2 (p/p), a temperatura ambiente, y se aplicó una frecuencia de ultrasonido de 40 kHz (US). Del mismo modo se procedió a realizar la etapa osmótica testigo sin aplicación de ultrasonido (0 kHz) (noUS).

El estudio se basó en diseños experimentales factoriales completos y consideró los siguientes niveles para los parámetros (o factores) del proceso, con tres repeticiones:

Para la Etapa I:

- Tiempo de inmersión en agua destilada (tI): 10, 20 y 30 minutos.

- Frecuencia de ultrasonido (FI): 40 kHz (US) y 0 kHz (noUS, testigo).

Para la Etapa II:

- Tiempo de inmersión en solución de edulcorante *Stevia* (TII): 10, 20 y 30 minutos;
- Concentración de la solución osmótica de edulcorante *Stevia* (C): 20 y 25% p/p (20 y 25 °Brix).
- Frecuencia de ultrasonido (FII): 40 kHz (US) y 0 kHz (noUS, testigo).

A cada uno de los tiempos (TI) preestablecidos para la Etapa I se extrajeron muestras del baño, se escurrieron sobre papel absorbente y se evaluaron en contenido de sólidos solubles (SS), contenido de humedad (M) y peso (W), tanto para el pretratamiento asistido por ultrasonido (US) como para el testigo (noUS). Del mismo modo, se procedió en la Etapa II para cada tiempo de deshidratación osmótica (TII) y concentración de edulcorante (C), tanto para el tratamiento asistido por ultrasonido (US) como para el testigo (no US).

Para ambas etapas, a partir de las determinaciones de SS, M y W se calcularon las siguientes variables de control normalizadas.

VARIABLES DE CONTROL

Al considerar que el tratamiento dual implica un doble flujo contrapuesto de materia —sólidos solubles (ó agua) desde la fruta hacia la solución circundante, o viceversa— (Grisales *et al.*, 2008; Spiazzi y Mascheroni, 2001), el monitoreo del proceso se realizó a través del seguimiento de las variables normalizadas pérdida ó ganancia de sólidos solubles (SL o SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) mediante las siguientes ecuaciones ampliamente utilizadas en trabajos de deshidratación osmótica (Bambicha *et al.*, 2012; Chavarro-Castrillón *et al.*, 2006; Cichowska *et al.*, 2019; Maran, Sivakumar, Thirugnanasambandham y Sridhar, 2013; Ochoa Martínez y Ayala Aponte, 2005; Paradkar y Sahu, 2018; Quinteros *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2015; Sluka, 2015; Spiazzi y Mascheroni, 2001):

$$SG = -SL = \left[\left(1 - \frac{WR}{100} \right) \times \frac{TS}{100} - \frac{TS_0}{100} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$WL = \left[\left(1 - \frac{TS_0}{100} \right) - \left(1 - \frac{TS}{100} \right) \times \left(1 - \frac{WR}{100} \right) \right] \times 100 \quad (2)$$

$$WR = \left(\frac{W_0 - W}{W_0} \right) \times 100 \quad (3)$$

donde TSO: porcentaje de sólidos totales iniciales; TS: porcentaje de sólidos totales a cada tiempo; WO: peso inicial de la muestra; W: peso de la muestra a cada tiempo; wr: reducción de peso.

Una vez tratadas las frutas mediante las mejores condiciones de las etapas I y II que permitan lograr la mayor reducción de azúcares naturales de la ciruela y la mayor incorporación del edulcorante *Stevia*, los productos finales se estabilizaron por secado con aire caliente a 70 °C hasta una humedad menor del 18% b. h. (Codex Alimentarius, 2005) para favorecer su conservación y disponibilidad fuera de estación.

Análisis estadístico

Los resultados observados en la Etapa I se analizaron estadísticamente mediante Anova (análisis de varianza). Se consideró $\alpha = 0,05$ a fin de determinar los factores significativos sobre las variables de control. Mediante RSM (metodología de superficie de respuesta) se obtuvieron los coeficientes del polinomio predictivo de la variable principal (ganancia de sólidos solubles) en función de los factores significativos. A partir de un análisis de la cresta se llevó a cabo la optimización de esta función a fin de determinar las condiciones que permitan alcanzar la mayor pérdida de sólidos solubles (mayor SL, ó menor SG).

Asimismo, en la Etapa II los resultados se analizaron mediante Anova y RSM ($\alpha = 0,05$) con la finalidad de determinar los factores significativos sobre las variables de control y establecer, en función de ellos, los polinomios predictivos de las variables fundamentales (ganancia de sólidos solubles, pérdida de agua). Sobre esta base se llevó a cabo la optimización múltiple, basada en criterios de deseabilidad y definiendo la importancia y el peso relativo para cada variable, a fin de determinar las condiciones que permitan obtener el óptimo local de la ganancia de sólidos solubles (SG). En este sentido se propuso como objetivo alcanzar

la mayor incorporación del edulcorante (mayor SG) para recuperar el dulzor de la ciruela, con una aceptable pérdida de agua de la fruta teniendo en cuenta que el proceso se completa luego con una etapa final de secado.

Para el análisis estadístico y el modelado del proceso se emplearon los paquetes estadísticos Infostat® y Minitab® (versión libre).

Resultados y discusión

Caracterización de la fruta fresca

Como resultado de la caracterización inicial de las frutas frescas se obtuvieron los siguientes parámetros de calidad que se presentan en la (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las porciones de ciruelas frescas

Peso promedio de porción (g)	Contenido de humedad (% b. h.)	Contenido de sólidos solubles (°Brix)	Acidez (% p/p)
3,06 ± 0,51	78,54 ± 2,41	19,29 ± 1,09	0,46 ± 0,04

Fuente propia, Facultad de Ingeniería Unicen.

Análisis del proceso

En la (Fig. 1) se presentan los resultados de la variación del contenido de sólidos solubles de las muestras sometidas a la Etapa I de eliminación de los azúcares propios de la fruta. Como puede observarse, las muestras procesadas con asistencia de ultrasonido (US) presentaron en la mayor parte de los casos menor contenido de sólidos solubles (SS, °Brix) que las del tratamiento testigo sin ultrasonido (noUS), alcanzándose un mínimo de 10,44 ± 1,53 °Brix a los 30 minutos de proceso.

En cuanto al contenido de humedad (M, % b. h.) de las muestras, osciló en un rango de 80-88% b. h., y presentó correlación lineal negativa ($R^2 > 0,99$) con el contenido de sólidos solubles (SS) (Fig. 2), comprobándose que la reducción del contenido de azúcares propios de la ciruela en la etapa del pretratamiento implicó un incremento del contenido de humedad en la fruta.

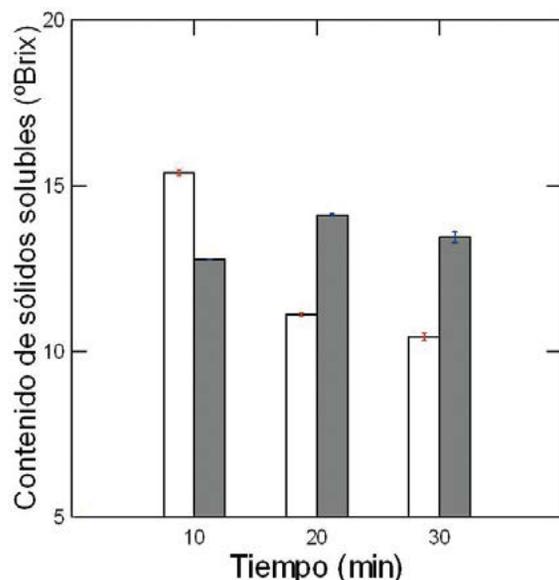


Figura 1. Contenido de sólidos solubles de las ciruelas durante la Etapa I del tratamiento dual con y sin aplicación de ultrasonido (us y nous, respectivamente).

Floury *et al.* (2006) demostraron una tendencia lineal entre la variación de contenido de sólidos solubles (Δss) y de humedad (Δm) en la deshidratación osmótica de mango. Este comportamiento también ha sido recientemente probado por Fernandez *et al.* (2017) en la deshidratación osmótica de ananá.

Correlaciones lineales análogas a las informadas en la (Fig. 2) de este trabajo experimental para la relación entre el contenido de sólidos solubles y el contenido de humedad ($SS = a + bM$, donde a es la ordenada al origen y b la pendiente de la recta) han sido informadas por varios autores (Ramallo y Mascheroni, 2005; Rodriguez y Mascheroni, 2012; Rodriguez Rodriguez, M. y Mascheroni, 2014; Rodriguez, Fernández, Lovera, Ramallo y Mascheroni, 2015; Tocci y Mascheroni, 2008) en la deshidratación osmótica de diversas frutas (papaya, ananá, mango, guava, uchuva, carambola, pera, manzana, nectarina, melón, frutilla, kiwi), y en soluciones osmóticas de diferente naturaleza. Coincidentemente con las observaciones experimentales

obtenidas para las ciruelas *D’Agen*, las pendientes de las rectas SS en función de M en todos los casos citados estuvieron muy próximas al valor (-1), independientemente del tipo de fruta y/o del soluto (Rodriguez y Mascheroni, 2012; Rodriguez *et al.*, 2014), de manera que se puede generalizar el comportamiento para cualquier proceso. Esto es de gran importancia desde el punto de vista práctico, ya que posibilita realizar el seguimiento del proceso a través de la determinación de solo una de las dos propiedades (SS ó M); por ejemplo, podría medirse el contenido de sólidos solubles —un test rápido y preciso— en lugar de tener que realizar la determinación del contenido de humedad que, por lo general, involucra mayor tiempo (Rodriguez *et al.*, 2014).

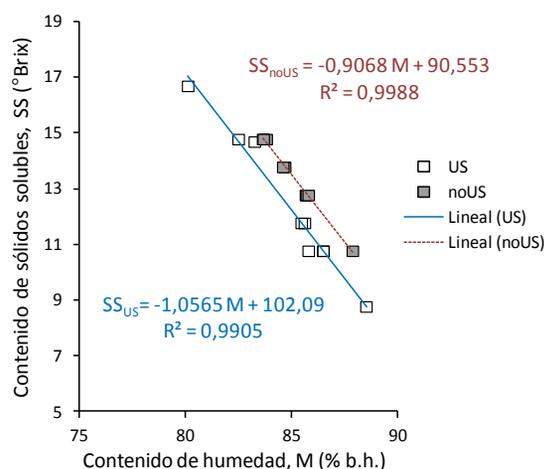


Figura 2. Datos experimentales y correlaciones lineales del contenido de sólidos solubles y contenido de humedad de las ciruelas durante la Etapa I del tratamiento dual con y sin aplicación de ultrasonido (us y nous, respectivamente).

Al comparar los valores de las variables normalizadas a distintos tiempos de pretratamiento, se observó que las mayores reducciones de los azúcares naturales de la ciruela, expresada como pérdida de sólidos solubles (SL), se obtuvieron cuando se aplicó ultrasonido (Fig. 3).

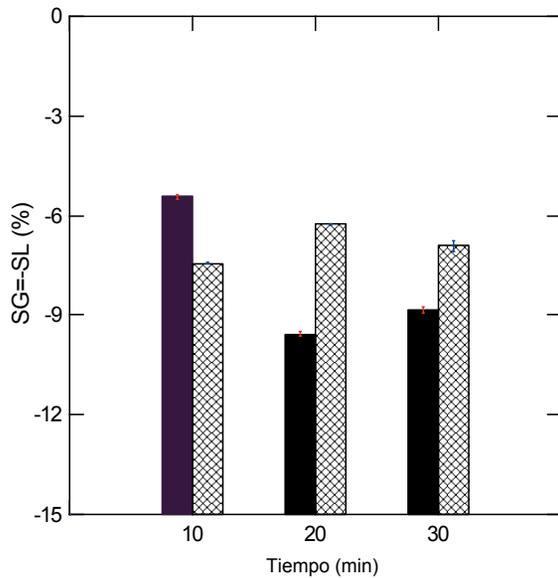


Figura 3. Pérdida de sólidos solubles ($SL = -SG$) durante la Etapa I del tratamiento dual con aplicación de ultrasonido (us) y sin aplicación de ultrasonido (nous, testigo).

En el mismo sentido, resultados concordantes fueron reportados por Garcia-Noguera *et al.* (2010) para la primera etapa del tratamiento osmótico dual aplicado a frutillas. Otros investigadores también observaron el efecto ventajoso del uso de ultrasonido a fin de favorecer la transferencia de masa —por ejemplo, en el pretratamiento osmótico previo al secado de rodajas de banana— (Moreira Azoubel, Baima, da Rocha Amorim y Oliveira, 2010), y en el pretratamiento ultrasónico previo a la deshidratación osmótica de melón (Fernandes *et al.*, 2008).

En cuanto a la influencia de los factores tiempo de inmersión y frecuencia de ultrasonido aplicada en la Etapa I sobre la principal variable normalizada del proceso SL, el análisis de varianza demostró que tanto el tiempo de ósmosis (tI) como la frecuencia de ultrasonido (fI) tuvieron efecto significativo sobre la pérdida de sólidos solubles de fruta al igual que su interacción.

Mediante la aplicación de RSM se obtuvo el polinomio predictivo de SL ($R^2 = 0,91$), el cual tuvo aportes tanto de los términos lineales de los factores tI y fI como de su interacción. La (Fig. 4) muestra la representación gráfica de este modelo de SL como curvas de nivel.

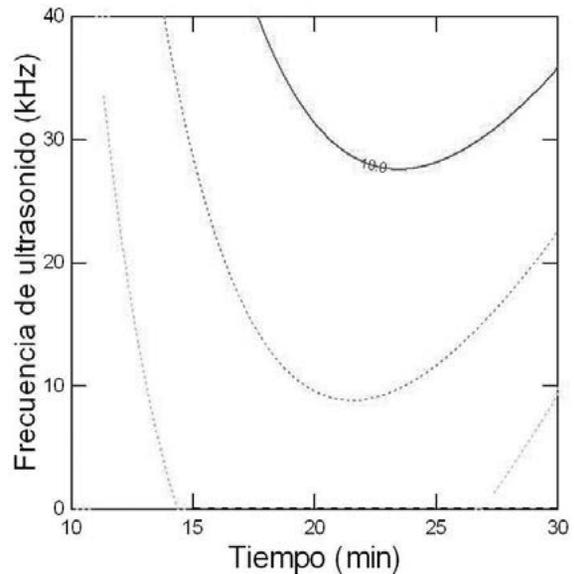
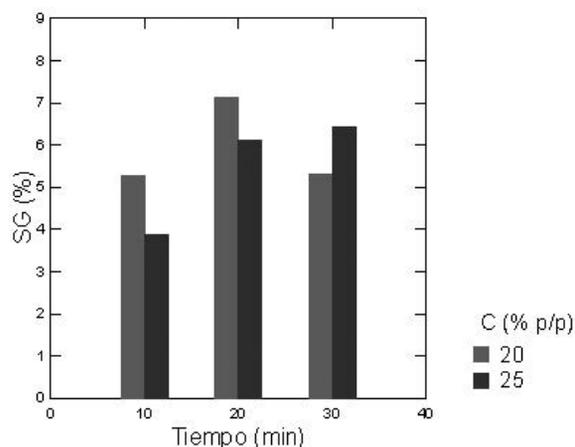


Figura 4. Curvas de nivel del polinomio predictivo de la pérdida de sólidos solubles (sl) durante la Etapa I del tratamiento dual (óptimo).

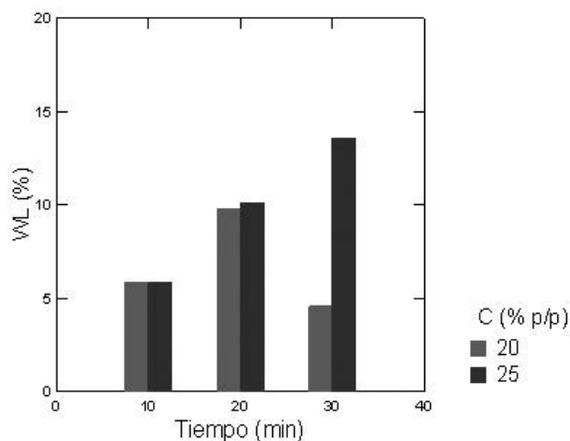
Las condiciones óptimas de proceso para la Etapa I, que permitieron remover la mayor cantidad de azúcares calóricos, determinadas a partir de la maximización del polinomio predictivo de sl, resultaron un tiempo de inmersión en agua destilada de $tI = 22,8$ minutos con asistencia de ultrasonido ($fI = 40$ kHz). Bajo estas condiciones se logró una pérdida de sólidos solubles máxima de $sl = 10,67\%$.

Durante la Etapa II de deshidratación osmótica llevada a cabo utilizando concentraciones de edulcorante *Stevia* de 20% y 25% p/p para tiempos de 10, 20, y 30 minutos, con y sin la aplicación de ultrasonido (0 y 40 kHz), se obtuvieron los resultados que se muestran en la (Fig. 5) para la ganancia de sólidos solubles (SG) de las muestras.

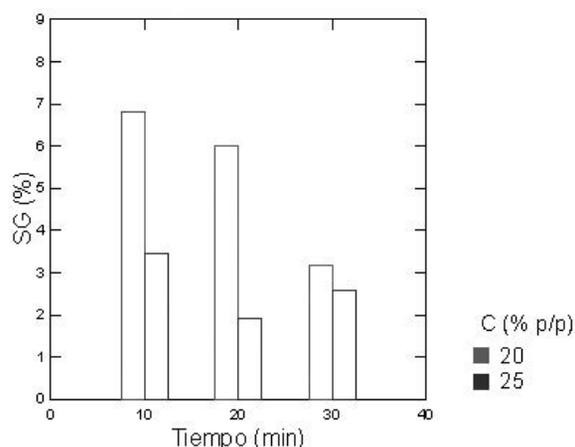
Se observaron diferentes valores de SG para todas las condiciones ensayadas, resultando las ganancias de sólidos solubles de las frutas mayoritariamente más importantes para tiempos de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido de 20 a 30 minutos (Fig. 5a). Estadísticamente, mediante Anova se encontró efecto significativo de los factores TII, FII y C sobre SG, y de sus interacciones dobles, pero no de la de tercer orden.



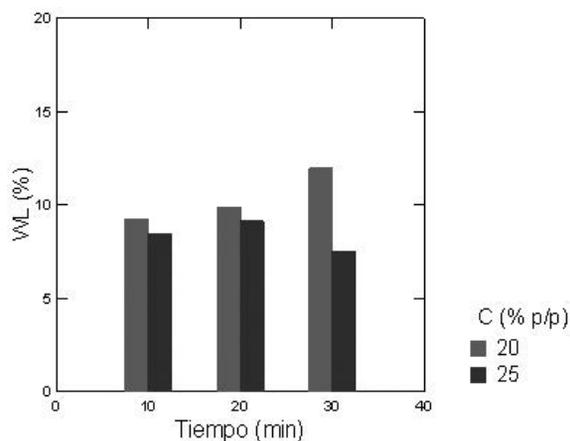
a) US (FII=40 kHz)



a) US (FII=40 kHz)



b) noUS (FII=0 kHz)



b) noUS (FI=0 kHz)

Figura 5. Ganancia de sólidos solubles (SG) durante la Etapa II del tratamiento dual de incorporación de edulcorante *Stevia* a) con aplicación de ultrasonido, b) sin aplicación de ultrasonido (testigo).

Figura 6. Pérdida de agua durante la Etapa II del tratamiento dual de incorporación de edulcorante *Stevia* a) con aplicación de ultrasonido, b) sin aplicación de ultrasonido (testigo).

Las pérdidas de agua de las muestras durante la Etapa II del tratamiento dual con aplicación de ultrasonido se presentan en la (Fig. 6), junto con el tratamiento testigo.

Estadísticamente no se observaron diferencias significativas entre los valores de WL para la deshidratación osmótica sin aplicación de ultrasonido, pero sí hubo efecto significativo de los factores TII y C sobre WL cuando se empleó ultrasonido en el tratamiento.

Sobre la base de estos resultados se obtuvieron los polinomios predictivos de WL y SG para los tratamientos con y sin aplicación de ultrasonido mediante RSM. Para ambos casos, las (figs. 7 y 8) muestran las superficies generadas para la estimación de SG en función del tiempo y de la concentración de solución.

A partir del análisis de la cresta de las superficies de respuesta correspondientes a la ganancia de

sólidos solubles de la ciruela en la Etapa II fue posible determinar un valor máximo de SG = 6,674 % que se alcanzó en la deshidratación osmótica en solución de edulcorante Stevia al 20%p/p para un tiempo de 22 minutos cuando se empleó

ultrasonido (Fig. 7) ($R = 0,96$); este resultado superó significativamente el valor máximo del tratamiento sin ultrasonido (Fig. 8), por lo cual se seleccionó el tratamiento con US como más favorable para recuperar el dulzor de la fruta.

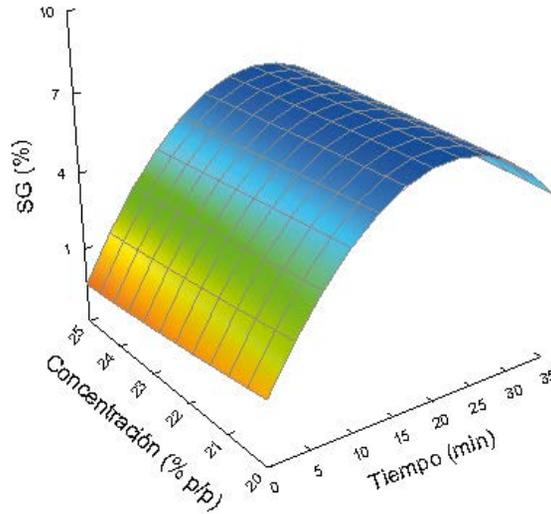


Figura 7. Superficie de respuesta para la ganancia de sólidos solubles (SG) durante la Etapa II del tratamiento dual de incorporación de edulcorante con aplicación de ultrasonido (us).

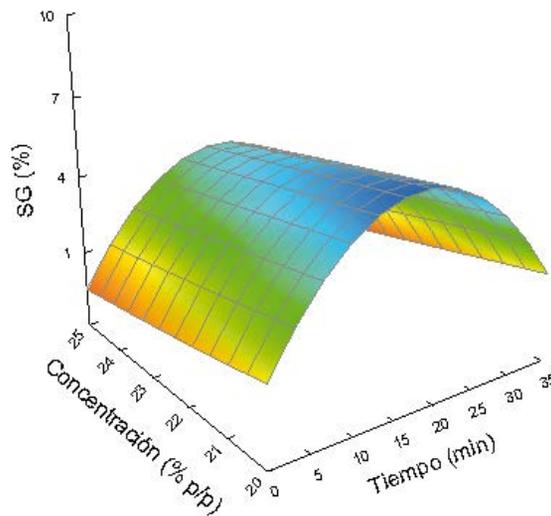


Figura 8. Superficie de respuesta para la ganancia porcentual de sólidos solubles (SG) durante la Etapa II del tratamiento dual de incorporación de edulcorante sin aplicación de ultrasonido (nous).

Adicionalmente, con el objetivo de definir las óptimas condiciones para la Etapa II, y a fin no solo de maximizar SG, sino además alcanzar el objetivo complementario de lograr una adecuada pérdida de agua en las muestras (lo cual podría redundar en un ahorro de tiempo en la etapa final de secado), se realizó un nuevo análisis de optimización múltiple de las variables SG y WL para la deshidratación osmótica con ultrasonido, basado en criterios de deseabilidad. Como funciones objetivos se planteó maximizar SG para WL en el rango entre 9 y 11%, asignándose peso e importancia igual a 1 para ambas variables. Como resultado de este análisis se obtuvieron las siguientes condiciones operativas óptimas: deshidratación osmótica asistida por us en solución de *Stevia* al 23% p/p durante 24,6 minutos, con el propósito de alcanzar SG = 6,45% (deseabilidad = 0,92), con WL = 10,0% (deseabilidad=1,0), y con una deseabilidad global de 95,95%.

Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación se logró obtener ciruelas osmodeshidratadas, reducidas en calorías mediante un tratamiento dual optimizado de sustitución de los azúcares naturales de la fruta por edulcorante no calórico *Stevia*, basado en ósmosis asistido por ultrasonido.

El proceso dual óptimo que permitió remover la mayor cantidad de azúcares calóricos de la ciruela (sgI = - sl = -10,67%) y lograr la máxima incorporación a la fruta de edulcorante natural *Stevia* cero calorías (sg = 6,45%) consistió en una primera etapa de 22,8 minutos de ósmosis en agua destilada asistida por ultrasonido, seguida de una etapa posterior de 24,6 minutos de inmersión en solución de *Stevia* del 23% p/p con aplicación de ultrasonido.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Unicen), al Programa Universidad, Diseño y Desarrollo Productivo de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU, Ministerio de Educación de la Nación, Argentina), y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet) por

el financiamiento del proyecto y de la beca doctoral de la Lic. M. Laborde.

Referencias

- [1] AOAC. (1990). *Official Method 934.06 Moisture in Dried Fruits*. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- [2] Bambicha, R., Agnelli, M. y Mascheroni, R. (2012). Optimización del proceso de deshidratación osmótica de calabacita en soluciones ternarias. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 121-136.
- [3] Bozkir, H., Ergün, A., Serdar, E., Metin, G. y Baysal, T. (2019). *Influence of Ultrasound and Osmotic Dehydration Pretreatments on Drying and Quality Properties of Persimmon Fruit*. *Ultrasonics Sonochemistry* (en prensa). Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>.
- [4] Calvo Villegas, I. (2009). *El cultivo del ciruelo (Prunus doméstica)*. (N.º CIDAB-SB359-I5c, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria, Proyecto Microcuenca Platón-Pacayas, Boletín Técnico N.º 9). San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00169.pdf>.
- [5] Chavarro-Castrillón, L., Ochoa-Martínez, C. y Ayala-Aponte, A. (2006). Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L., var. *Maradol*). *Food Science and Technology*, 26(3), 596-603.
- [6] Cichowska, J., Figiel, A., Stasiak-Różańska, L. y Witrowa-Rajchert, D. (2019). Modeling of osmotic dehydration of apples in sugar alcohols and dihydroxyacetone (DHA) solutions. *Foods*, 8(1), 20. doi: 10.3390/foods8010020.
- [7] De los Santos, M. (2007). *Ciruela desecada*. (G-263). Alimentos Argentinos. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/39/cadenas/Frutas_ciruela_deshidratada.htm.
- [8] Fernández Valdés, D., Muñoz Becerá, S., García Pereira, A., Cervantes Beyra, R. y Fernández Valdés, D. (2015). Cinética de secado de fruta bomba (*Carica papaya* L., cv. *Maradol Roja*) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 22-28.
- [9] Fernandes, F., Linhares, F. y Rodrigues, S. (2008). Ultrasound As Pre-Treatment for Drying of Pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6), 1049-1054.
- [10] Fernandes, F., Gallão, M. y Rodrigues, S. (2008). Effect of Osmotic Dehydration and Ultrasound Pre-Treat-

- ment on Cell Structure: Melon Dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 604-610.
- [11] Fernández, P., Lovera, N., Romero, A., Borsini, A. y Ramallo, L. (2017). Deshidratación osmótica de ananá con reutilización del jarabe de sacarosa. *RECYT*, 19(28), 21-27.
- [12] Floury, J., Pham, Q. y Le Bail, A. (2006). A Comsol Simulation of the Osmotic Dehydration of Mango. En *4th International Conference on Simulation and Modelling in the Food Industry*, Foodsim'2006, Nápoles, Italia.
- [13] García Pereira, A., Muñoz Becerá, S., Hernández Gómez, A., González, L. y Fernández Valdés, D. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente de la piña (*Ananas comosus*, variedad *Cayena lisa*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 62-69.
- [14] Garcia-Noguera, J., Weller, C., Oliveira, F., Rodrigues, S. y Fernandes, F. (2010). Dual-Stage Sugar Substitution in Strawberries with a *Stevia*-Based Sweetener. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(1), 225-230.
- [15] Laborde, M., Barreto, G. y Pagano, A. (2015). Pasas de uva de bajas calorías obtenidas por deshidratación combinada: optimización del proceso y evaluación de la eficiencia antioxidante. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6(1), 17-30.
- [16] Laborde, M., Barreto, G. y Pagano, A. (2016). Optimización del proceso dual de sustitución de azúcares por edulcorante natural *Stevia* para la obtención de uvas bajas calorías. *La Alimentación Latinoamericana*, 326(1), 64-68.
- [17] Laborde, M., Barreto, G. y Pagano, A. (2018). Ultrasound-Assisted Dehydration Process Applied to *Red Globe* Grapes for Producing Low Calorie Raisins. *American Journal of Food Science and Technology*, 6(5), 209-214.
- [18] Laborde, M., Muñoz González, S., Mateo, C., Barreto, G. y Pagano A. (2017). Reducción de azúcares naturales de frutas basada en ósmosis asistida por ultrasonido combinada con secado para la obtención de un *snack* saludable. *IX Congreso Argentino de Ingeniería Química*, 9(1), 1-6.
- [19] Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L. y Ah-Hen, K. (2012). *Stevia rebaudiana* Bertoni, Source of a High-Potency Natural Sweetener: A Comprehensive Review on the Biochemical, Nutritional and Functional Aspects. *Food Chemistry*, 132(3), 1121-1132.
- [20] Maran, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. y Sridhar, R. (2013). Artificial Neural Network and Response Surface Methodology Modeling in Mass Transfer Parameters Predictions During Osmotic Dehydration of *Carica papaya* L. *Alexandria Engineering Journal*, 52(3), 507-516.
- [21] Moreira Azoubel, P., Baima, M., da Rocha Amorim, M. y Oliveira, S. (2010). Effect of Ultrasound on Banana cv *Pacovan* Drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 194-198.
- [22] Muñoz González, S., Laborde, M. y Pagano, A. (2016). Tratamiento dual de sustitución de azúcares asistido por ultrasonido aplicado a la obtención de ciruelas osmodeshidratadas reducidas en calorías. Resumen XXXI Congreso Argentino de Química. *The Journal of The Argentine Chemical Society*, 103(1), 1-2.
- [23] Nordey, T., Léchaudel, M., Génard, M. y Joas, J. (2014). Spatial and Temporal Variations in Mango Colour, Acidity, and Sweetness in Relation to Temperature and Ethylene Gradients Within the Fruit. *Journal of Plant Physiology*, 171(17), 1555-1563.
- [24] Ochoa Martínez, C. y Ayala Aponte, A. (2005). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(5), 330-342.
- [25] Paradkar, V. y Sahu, G. (2018). Studies on Drying of Osmotically Dehydrated Apple Slices. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), 633-642.
- [26] Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias Comisión del Codex Alimentarius (2005). *Codex Alimentarius*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0369s.pdf>.
- [27] Quinteros, A., Terleira, E., Ramírez, J., García, P., Garay, R., Castro, P. y Chumacero, J. (2018). Osmotic Dehydration in Native Fruits (*Mammea americana* L. and *Mammea americana* L.) and Vegetables (*Capsicum annuum* L.) of the Amazon Region. *Agroindustrial Science*, 8(2), 95-101.
- [28] Ramallo, L. y Mascheroni, R. (2005). Rate of Water Loss and Sugar Uptake During the Osmotic Dehydration of Pineapple. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(5), 761-770.
- [29] Rodríguez, A. y Mascheroni, R. (2012). Generalized Correlations for Characteristic Variables and Thermophysical Properties of Osmotically Dehydrated Fruits. *Drying Technology*, 30(11-12), 1323-1331.
- [30] Rodríguez, M., Arballo, J., Campañone, L., Cocconi, M., Pagano, A. y Mascheroni, R. (2013). Osmotic Dehydration of Nectarines: Influence of the Operating Conditions and Determination of the Effective Diffusion Coefficients. *Food and Bioprocess Technology*, 6(10), 2708-2720.

- [31] Rodríguez, A., Rodríguez, M. y Mascheroni, R. (2014). Characteristic Process Variables During the Osmotic Dehydration of Stone Fruits: Experimental Values and Correlations Between Components Content. *Journal of Food Process Engineering*, 38(5), 415-425.
- [32] Rodríguez, A., Fernández, P., Lovera, N., Ramallo, L. y Mascheroni, R. (2015). Characteristic Variables for the Osmotic Dehydration of Some Tropical Fruits. *29th effost International Conference Proceedings*. Atenas, Grecia.
- [33] Rodríguez, M., Rodríguez, A. y Mascheroni, R. (2015). Color, Texture, Rehydration Ability and Antioxidants of Osmodehydrated Plums Dried by Hot Air. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2647-2662.
- [34] Roussos, P., Efstathios, N., Intidhar, B., Denaxa, N. y Tsafouros, A. (2015). Nutritional Composition of Fruit Cultivars: Plum (*Prunus domestica* L. and *P. salicina* Lindl.). En *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (pp. 639-666). Elsevier Inc.
- [35] Sluka, E. (2015). Conserva de mango (*Mangifera indica* L.) por deshidratación combinada. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 35(1), 45-49.
- [36] Spiazzi, E. y Mascheroni, R. (2001). Modelo de deshidratación osmótica de alimentos vegetales. *Mat-Serie*, a(4),23-32.
- [37] Swain, T. y Hillis, W. (1959). The Phenolic Constituents of *Prunus Domestica* L.-The Quantitative Analysis of Phenolic Constituents. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63-68.
- [38] Tocci, A. y Mascheroni, R. (2008). Some Thermal Properties of Fresh and Osmotically Dehydrated Kiwi-fruit Above and Below Initial Freezing Temperature. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 20-27.
- [39] Vademecum Nutrinfo. (2013). *Tabla de composición química de los alimentos*. Recuperado de http://2013.nutrinfo.com/tabla_composicion_quimica_alimentos_2018.php.

