



Análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento

Digital image analysis for shrinkage evaluation in strawberries subjected to emerging processing technologies

Juliana Gamboa Santos¹, Laura Analía Campañone²

Recibo: 08.07.2018 Aceptado: 29.08.2018

Gamboa-Santos, J. y Campañone, L. (2018). Análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 5(2), 33-51. doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.1594>

Resumen

En las frutas, particularmente en fresas, el aspecto es un atributo de suma importancia. La apariencia que puede definirse por el color, la forma, el tamaño y la textura visual, no sólo determina el grado de maduración o la presencia o ausencia de impurezas si no también da indicios de la aplicación de procesos tecnológicos o condiciones de almacenamiento prolongado. En la mayor parte de los casos, un encogimiento excesivo de las frutas afecta negativamente la preferencia y aceptación de dichos productos por los consumidores. En el caso de las frutas deshidratadas, las modificaciones morfométricas (forma y tamaño) ocasionadas por el proceso son tema de gran incumbencia para la industria. Las técnicas tradicionales de monitoreo de parámetros físicos y físico-químicos de calidad suelen requerir períodos de análisis prolongados, son costosas, laboriosas, invasivas e impracticables durante el monitoreo en-línea a nivel industrial. Por tanto, el presente trabajo trató sobre la evaluación y correlación de características morfométricas: área (A), mediante técnicas de análisis digital de imágenes, y espesor (L) medido con un calibre, en rodajas de fresas (1 cm de espesor inicial) sometidas a tratamientos combinados que incluyen aplicación de recubrimientos comestibles (alginato-lactato), deshidratación osmótica (sacarosa, 60°Bx, 40°C, 4h) y secado asistido con microondas (1,2 W/g). Con respecto al espesor se obtuvieron reducciones del orden del 60% (retención 40%) para muestras frescas (FR+MW) y frescas recubiertas (FR_R+MW) y de 37% (retención 63%) para muestras pre-tratadas con DO (DO+MW y DO_R+MW). El procesamiento de imágenes del área de la sección transversal de las rodajas, sometidas a secado con MW, arrojó reducciones de 56% para las muestras FR+MW y FR_R+MW y de hasta el 18% para las muestras previamente deshidratadas osmóticamente. Al correlacionar los porcentajes de retención L y A se obtuvieron excelentes coeficientes para las muestras FR+MW y FR_R+MW (R^2 : 97 y 98%).

Palabras clave: análisis de imágenes, fresas, recubrimientos comestibles, deshidratación osmótica, microondas.

¹CIDCA (CONICET-CCT La Plata y Universidad Nacional de La Plata); j.gamboa@conicet.gov.ar; Argentina

²Universidad Nacional de La Plata; lacampa@ing.unlp.edu.ar; Argentina

Abstract

In fruits, strawberries in particular, appearance is an attribute of great importance. Appearance, which can be defined by color, shape, size and visual texture, not only determines the degree of maturation or the presence or absence of impurities, but also indicates the application of technological processes or prolonged storage conditions. In most cases, an excessive shrinkage of fruits negatively affects the preference and acceptance of these products by consumers. Particularly, in the case of dehydrated fruits, the geometric modifications (shape and size) caused by the process are a matter of great concern to the industry. Traditional techniques for monitoring physical and physico-chemical parameters of quality usually are time consuming, costly, laborious, invasive and impracticable during in-line monitoring at the industry. Computer vision techniques and digital image analysis are an attractive and economical alternative to evaluate the appearance changes of foodstuffs during processing. Therefore, the present work aims the evaluation and correlation of morphological characteristics area (A), by digital image analysis techniques, and thickness (L) measured by caliber in strawberries subjected to combined treatments that include application of edible coatings (alginate-lactate), osmotic dehydration (sucrose, 60°Bx, 40°C, 4h) and microwave assisted drying (1,2 W/g). Related to thickness, reductions of 60% (retention 40%) were obtained for fresh (FR+MW) and fresh coated (FR_R+MW) samples. OD pre-treated samples (DO+MW and DO_R+MW) reached values of 37% (retention 63%). The digital processing of images showed cross sectional area reductions up to 56% for FR+MW and FR_R+MW samples, being significantly higher (up to 18%) for samples previously osmo-dehydrated (DO+MW and DO_R+MW). By correlating the L and A percentage retention, during MW-drying, excellent correlations were attained for FR+MW and FR_R+MW samples (R^2 : 97 and 98%).

Keywords: images analysis, strawberries, edible coatings, osmotic dehydration, microwave drying.

Introducción

Desde tiempos atrás, la búsqueda de alimentos nutritivos ha sido esencial para el bienestar de los seres humanos. En esta actividad la visión ha tenido un rol fundamental (Spence, Okajima, Cheok, Petit & Michel, 2016). La apariencia, percibida a través de la visión, está relacionada con la forma, el tamaño, la textura visual y el color. En las frutas el aspecto es un atributo de suma importancia. No sólo determina su grado de maduración o la presencia o ausencia de impurezas si no también da indicios de la aplicación de procesos tecnológicos o

condiciones de almacenamiento prolongado (Saltos, 2010). Innumerables estudios se han enfocado en las modificaciones de color que se producen en las frutas sometidas a procesamiento y en cómo son percibidas por el consumidor (Bhargava & Bansal, 2018; Spence, 2018; Wrolstad, Durst & Lee, 2018). Con respecto a las modificaciones de la forma y el tamaño, un encogimiento excesivo, en la mayor parte de los casos, afecta negativamente la preferencia y aceptación de los productos por los consumidores (Aghbashlo, Hosseinpour & Ghasemi-Varnamkhasti, 2014). Asimismo, el color y el encogimiento de los alimentos suelen

asociarse con el sabor, calidad higiénica, vida útil, composición nutricional y satisfacción personal (Sturm, Nunez-Vega & Hofacker, 2014). Más aún, las modificaciones en los atributos visuales de los alimentos forman parte del aseguramiento de su calidad, una de las principales preocupaciones de la industria alimentaria durante la manipulación, procesamiento, almacenamiento y distribución de alimentos.

La calidad se ha monitoreado tradicionalmente mediante paneles sensoriales de catadores entrenados, técnicas analíticas de determinación de compuestos químicos y/o métodos mecánicos. Sin embargo, los paneles sensoriales suelen requerir períodos de análisis prolongados y dependen de la subjetividad, la adaptación, la fatiga y el estado mental del evaluador. Por otra parte, las técnicas tradicionales de determinación de compuestos como aquellos responsables del color en las frutas y hortalizas (*clorofila*, *antocianinas*, *β -caroteno*, entre otros) son costosas, laboriosas e invasivas, pudiéndose realizar únicamente en laboratorios de análisis equipados. Además, el pre-procesamiento de las muestras es complicado e impracticable durante el monitoreo en la línea de procesamiento a nivel industrial (Chen, Zhang, Zhao & Ouyang, 2013).

Con el devenir de los años, han surgido otros métodos que utilizan técnicas computacionales (hardware + software) como alternativa atractiva y económica para evaluar las modificaciones de aspecto (color, textura visual, tamaño, forma) de los alimentos (Manninen, Paakki, Hopia & Franzén, 2015). Estas metodologías se engloban en una disciplina más amplia conocida como Visión Computarizada (VC). Los estudios en VC se centran en adaptar sistemas computarizados para ver el mundo. Esto se logra a partir de imágenes y secuencias de video capturadas con una cámara digital y posteriormente analizadas mediante un software específico. Muchas industrias de

alimentos han incluido tecnologías VC para la evaluación de la calidad de sus productos (principalmente modificaciones de color, como el pardeamiento no enzimático) (Zhou *et al.*, 2004). El análisis geométrico y cromático de un producto puede realizarse mediante VC fijando un umbral o límite de aceptación o rechazo. La imagen capturada es analizada por un software de análisis de imágenes, que utiliza varios algoritmos para segmentar el espacio de color en las coordenadas requeridas ($L^*a^*b^*$, RGB, HSB, entre otras). A partir de la segmentación, el software recopila información de cada pixel de la superficie de la imagen (Cho *et al.*, 2016).

Esta metodología provee una evaluación certera e infalible de las modificaciones en el aspecto de los productos comparada con las posibles inconsistencias que puede tener la evaluación visual de un panel humano. Además, el análisis computarizado permite cuantificar y clasificar muestras en función del aspecto (color, forma, tamaño) independientemente de que estos parámetros varíen. Muchos estudios han abordado el análisis cromático de alimentos mediante VC con el fin de seleccionarlos según su calidad antes, durante o después del procesamiento (Shenoy *et al.*, 2014; Manninen *et al.*, 2015).

Si bien la evaluación del color es uno de los parámetros de calidad fundamentales para los productos deshidratados (Zielinska & Michalska, 2016; Onwude, Hashim, Abdan, Janius & Chen, 2018; Yang *et al.*, 2018), las modificaciones geométricas (forma y tamaño) y texturales en frutas sometidas a procesos de deshidratación y/o secado son también tema de incumbencia de la industria alimentaria (Aghbashlo *et al.*, 2014).

Giovanelli, Brambilla & Sinelli (2013), analizaron el encogimiento de frambuesas (*V. corymbosum*) cv *Berkley* sometidas a tratamientos combinados de deshidratación osmótica (sacarosa, glucosa+fructosa 1:1) y

secado convectivo (70°C) en función del tiempo evaluando las modificaciones en su volumen, entre otros indicadores morfométricos y químicos. En su estudio observaron un mayor encogimiento en muestras osmo-deshidratadas en soluciones osmóticas de sacarosa comparado con muestras tratadas en glucosa+fructosa.

Asimismo, los autores señalaron que las dimensiones de las frambuesas se relacionaban inversamente con la velocidad de secado y, por tanto, los resultados eran relevantes para estimar los aspectos económicos del proceso. Sampson, Chang, Vasantha Rupasinghe & Zaman, (2014), utilizaron VC durante tratamientos de secado de rodajas de manzana, para evaluar las características visuales, como el volumen y la textura visual, correlacionarlas con la humedad en función del tiempo y determinar el tiempo de secado. De los resultados concluyeron que aunque el volumen de las muestras pueda medirse con una exactitud aceptable mediante VC, no pueden utilizarse dichos resultados para determinar el final del proceso de secado sin considerar la porosidad del producto.

Cabe remarcar que, siendo la Difusión Efectiva de Humedad (De) el coeficiente probablemente más referenciado en la evaluación de la velocidad de secado, su cálculo, en la mayor parte de los casos, supone que la geometría y en especial, la longitud característica (L), no varía durante el proceso (Doymaz, 2008; García-Noguera *et al.*, 2010). Sin embargo, la reproducibilidad geométrica de los alimentos es uno de los factores determinantes durante el proceso de secado debido a que el volumen del producto disminuye (Sampson *et al.*, 2014). Por tanto, la determinación del encogimiento tendría una aplicación directa en el cálculo de la velocidad de secado, en línea, si pudieran correlacionarse estos parámetros.

La aplicación de pre-tratamientos de Deshidratación Osmótica (DO) afecta la cinética de secado posterior (Rodrigues &

Fernandes, 2007). Este efecto se observó, en un trabajo previo, para las muestras reportadas en este estudio, pre-tratadas por DO, durante los primeros 70 min de secado con asistencia de microondas (MW). Por otra parte, se ha estudiado la utilización de recubrimientos comestibles en fresas y otras frutas con el fin de preservar la calidad sensorial y nutritiva del producto fresco y extender su vida útil (Matuska, Lenart & Lazarides, 2006; Perdonés, Sánchez-González, Chiralt & Vargas, 2012; Gol, Patel & Ramana Rao, 2013; Rodríguez, García & Campañone, 2016). La aplicación de recubrimientos permite reducir el ingreso de sólidos solubles en las matrices vegetales durante el tratamiento de DO (Khin, Zhou & Perera, 2006; Jalaei, Fazeli, Fatemian & Tavakolipour, 2011) y, bajo ciertas condiciones de operación, se minimizan las pérdidas de aroma, color y nutrientes manteniendo la integridad física del producto (Lago-Vanzela, do Nascimento, Fontes, Mauro & Kmura, 2013).

Por todo lo expuesto, el presente trabajo persigue la evaluación y correlación de características morfométricas (área y espesor) durante tratamientos combinados de DO y MW en fresas recubiertas con hidrogeles. Para ello se utilizarán técnicas de análisis digital de imágenes o visión computarizada, con el objetivo de monitorear las modificaciones del aspecto de las frutas sometidas a procesamiento.

Materiales y métodos

Preparación de muestras

Se utilizaron fresas (*Fragaria ananassa*) de la variedad *Monterrey* adquiridas en el mercado local de la ciudad de La Plata (Argentina). A las fresas se les extrajo el tallo y, posteriormente, se lavaron con agua a temperatura ambiente para eliminar restos de suciedad. Una vez removida el agua superficial con papel absorbente las fresas se cortaron en láminas de $1,0 \pm 0,1$ cm de espesor medidas con un calibre. Las

fresas frescas se mantuvieron refrigeradas (4°C) por un período inferior a 2 días hasta su correspondiente tratamiento con recubrimientos comestibles, deshidratación osmótica y/o secado con microondas.

Tratamiento con recubrimientos comestibles

Los recubrimientos que se aplicaron a las láminas de fresas se prepararon a partir de soluciones de alginato de sodio (2% p/p, Sigma Aldrich) y lactato de calcio (5% p/p, Sigma Aldrich). Las muestras se sumergieron en la solución de alginato de sodio durante 5 min, se escurrieron en una malla plástica (1 min), para ser luego sumergidas en la solución de lactato de calcio durante 5 min más. Luego de ser escurridas (1 min) fueron secadas finalmente con papel absorbente para eliminar excedentes de solución superficial.

Tratamiento de deshidratación osmótica

Las muestras de láminas de fresa, con y sin recubrimiento, se pesaron y deshidrataron osmóticamente por inmersión en solución de sacarosa durante 4 h a 60°Bx y 40°C (relación muestra: solución, 1:10), con agitación a

100 rpm en shaker (TT400, Perca, Buenos Aires, Argentina). Transcurrido el tiempo de pre-tratamiento, se extrajeron las muestras escurriéndolas en mallas plásticas y se lavaron con agua destilada para remover restos de solución osmótica superficial. Se secaron en papel absorbente y se registraron los pesos y la humedad.

Secado asistido con microondas

El secado de las muestras frescas y pre-tratadas osmóticamente se realizó en un microondas ATMA Modelo MR926E (700W, Electronic System, Argentina). La carga inicial de materia prima fue de $99,8 \pm 5,9$ g. Las condiciones operativas utilizadas correspondieron a la potencia mínima del sistema (1,20 W/g) durante 100 min de secado con intervalos de pesada de muestras de 10 min.

En la Figura 1 se presenta un esquema de la secuencia de tratamientos realizados en el presente trabajo y en la Tabla 1 se detalla el diseño experimental donde se indican las codificaciones de las muestras y los tratamientos incluidos en cada experimento.

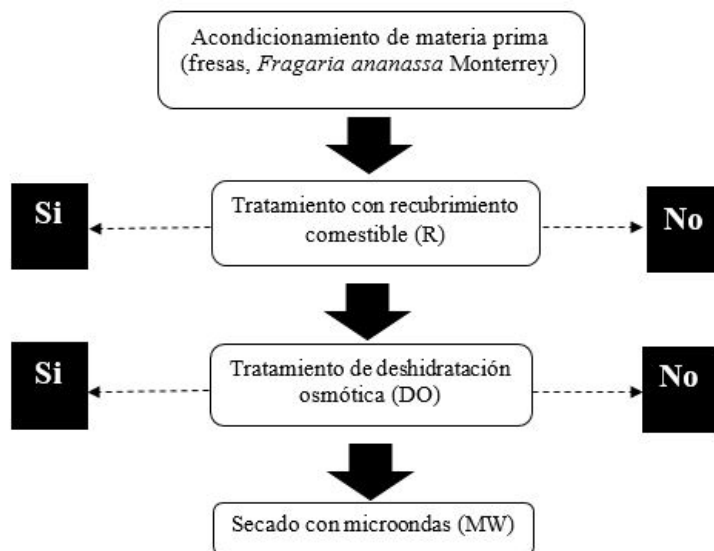


Figura 1. Secuencia de tratamientos aplicados a fresa en el presente trabajo

Como se observa, parte de las muestras se sometieron a tratamientos con recubrimientos comestibles (R) y/o Deshidratación Osmótica (DO) previo al secado con microondas como etapa final. Como control se utilizaron muestras de Fresas Frescas (FR) que fueron secadas con microondas en idénticas condiciones operativas que las muestras pre-tratadas y/o recubiertas.

Tabla 1.

Experimentos de secado de fresas con microondas y sus pre-tratamientos

| Experimentos | Tratamiento con recubrimiento comestible | Tratamiento de deshidratación osmótica | Secado con microondas |
|--------------|--|--|-----------------------|
| FR+MW | | | ✓ |
| FR_R+MW | ✓ | | ✓ |
| DO+MW | | ✓ | ✓ |
| DO_R+MW | ✓ | ✓ | ✓ |

Fuente: Elaboración propia

Determinación de espesor (L)

Se utilizaron las ecuaciones lineares que relacionan la dimensión característica L y el contenido de humedad para cada condición experimental de secado propuestas en Gamboa-Santos y Campañone (in press) para calcular los porcentajes de retención de L ($RetL$, %) (Ecuación 1). En dicho estudio, el espesor ($2L$) de las láminas de fresa se determinó con un calibre, durante experimentos independientes de secado asistido con MW bajo condiciones isotrópicas, a intervalos de 10 min.

$$RetL(\%) = \left(\frac{L_t}{L_0} \right) (1)$$

Donde L representa el semi-espesor de la rodaja de frutilla medido con un calibre (m). Los subíndices 0 y t hacen referencia al inicio y al tiempo de secado (intervalos de 10 min).

Determinación de área mediante Análisis digital de imágenes

La determinación del área de las láminas de fresas se realizó por segmentación de imágenes (Hosseinpour, Rafiee, Aghbashlo & Mohtarebi, 2014). Las imágenes se capturaron mediante una cámara digital de alta resolución (16 MP,

f/1.9, autofocus, OIS, flash LED, 441 ppi) incorporada en un teléfono Samsung A5 2017 (Samsung Electronic, Samsung Town, Seúl, Corea del Sur). La segmentación se realizó con el software de imágenes ImageJ (1.49 version, USA) seleccionando cada rodaja de fresa, en la posición requerida del plato de MW, para separarla del fondo de la imagen y del resto de las muestras circundantes (Figura 2). La imagen de la muestra seleccionada se pegó en un fondo negro de área total de 1000 x 750 píxels². Se utilizó la opción *threshold* disponible en el software ImageJ para seleccionar el área de la sección transversal de las muestras (sin incluir el área lateral de las rodajas) a cada tiempo de secado (0:10:100 min). La retención de área ($RetA$, %) en función del tiempo se calculó como el cociente entre el área (píxeles) a cada tiempo (t) de secado (A_t) sobre el área inicial (A_0) (Ecuación 2).

$$RetA(\%) = \left(\frac{A_t}{A_0} \right) (2)$$

Los resultados obtenidos en el presente trabajo corresponden al promedio de 8 rodajas (4 por replicado de tratamiento), ubicadas en las posiciones (1 a 4) del plato de MW marcadas en la Figura 2.

Análisis estadístico

El análisis de regresión lineal que relaciona $RetA$ (%) y $RetL$ (%) para cada condición experimental (FR+MW, FR_R+MW, DO+MW, DO_R+MW) propuesto en este estudio se programó en Statgraphics 5.1 (StaPoint, Inc., Warrenton, VT).

Se utilizó la opción de comparación de modelos alternos provista por el software Statgraphics para comparar los ajustes de más de 20 modelos curvilíneos a los datos experimentales y seleccionar el modelo de regresión que arrojará los valores más altos de R^2 .

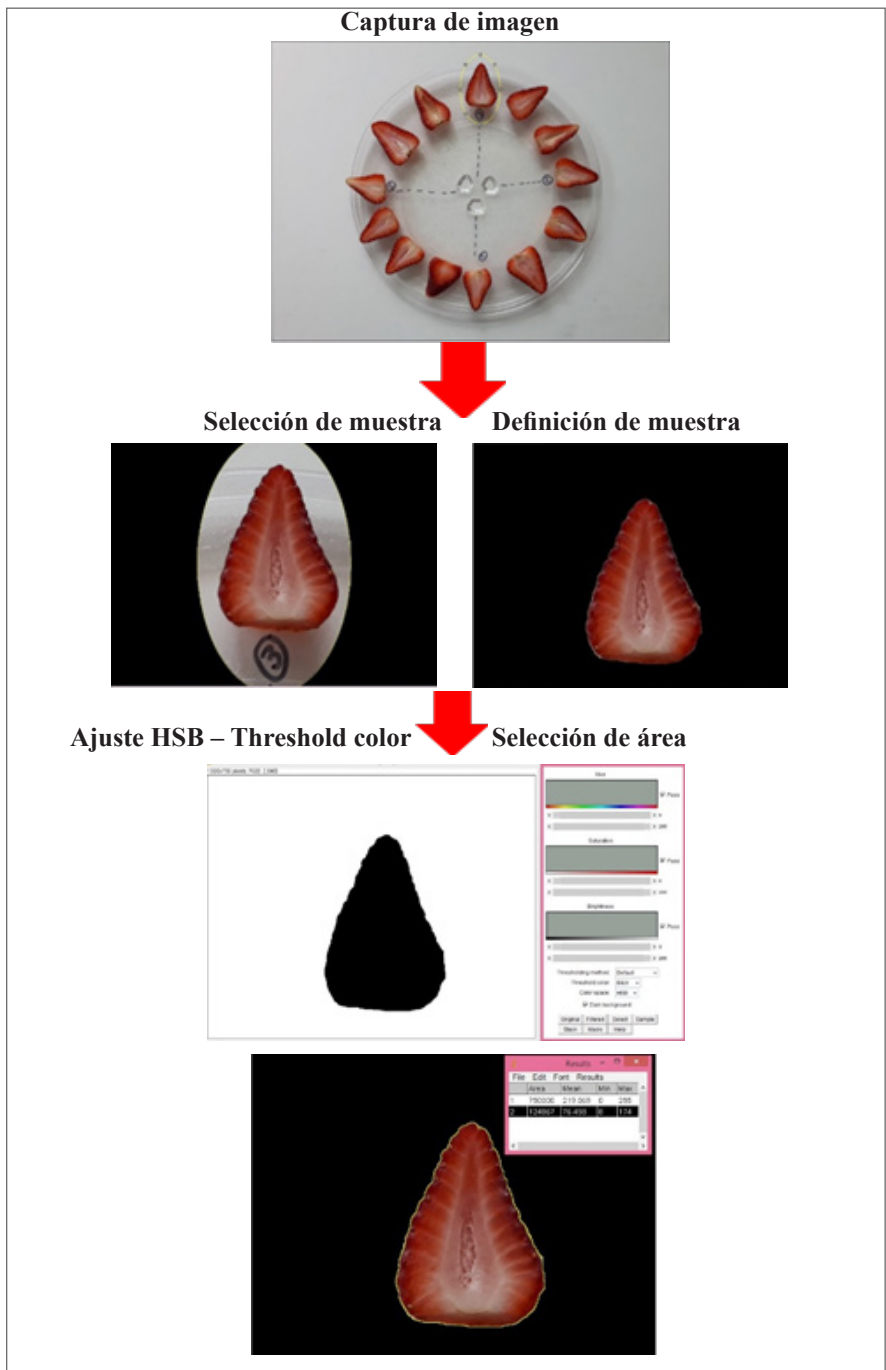


Figura 2. Segmentación de imágenes y cálculo de área (A) mediante el software ImageJ. Corresponde al tratamiento FR+MW a 10 min de secado asistido con MW, en la ubicación 3 Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Influencia del tratamiento con recubrimiento sobre la cinética de secado con microondas

En la Figura 3 se presentan los resultados experimentales de semi-espesor (L) obtenidos para FR+MW y FR_R+MW (a) y DO+MW y DO_R+MW (b). Como se observa, los resultados son similares para las muestras FR+MW y FR_R+MW y las muestras DO+MW y DO_R+MW, por tanto la presencia del recubrimiento no tendría influencia en las modificaciones de L durante el secado de frutillas asistido por MW. Dado que los recubrimientos son altamente hidrofílicos, la presencia de recubrimiento no afectaría a la cinética de secado de las fresas.

En el caso de secado con MW, el recubrimiento ubicado en la superficie de las fresas es capaz de interactuar directamente con las microondas, produciendo su deshidratación en forma unificada, muestra + recubrimiento.

Influencia de la deshidratación osmótica sobre la cinética de secado con microondas

Las muestras FR+MW y FR_R+MW inician el secado con MW con un valor de semi-espesor (0,5 cm) significativamente mayor que el observado para las muestras DO+MW y DO_R+MW (0,3 cm), lo cual demuestra que durante el pre-tratamiento se producen modificaciones relevantes en las características morfológicas de las muestras.

Souraki, Ghavami & Tondro (2014), observaron disminuciones de volumen directamente proporcionales a las pérdidas de peso (WR) y humedad (WL) en manzanas durante tratamientos DO en soluciones de sacarosa (30, 40 y 50%) a temperaturas de 30, 40 y 50°C y, por tanto, representaron el encogimiento mediante funciones lineales de WL y WR. La relación entre el encogimiento y las reducciones de peso y humedad fueron

similares independientemente de la temperatura y concentración de solución osmótica utilizada.

Además, los resultados obtenidos permitieron confirmar que despreciando el encogimiento se obtenían valores de Coeficientes de Difusividad (De) sobre-estimados durante el secado conectivo posterior.

En este trabajo, los valores obtenidos para el espesor de las muestras frescas tras el secado con MW se encontraron en el rango 0,19-0,20 cm y 0,19-0,24 cm para FR+MW y FR_R+MW, respectivamente. En el caso de las muestras DO+MW, al final del proceso de secado con MW, se obtuvieron valores de L en el rango 0,18-0,20 para las muestras sin recubrir (DO+MW) y 0,16-0,19 cm para las recubiertas (DO_R+MW).

Estos resultados sugieren que siendo el proceso de secado una sucesión de las etapas descritas en la Figura 1 (R+DO+MW, DO+MW, R+MW y MW) y partiendo de un L de 0,5 cm, al final de la etapa de secado con MW se obtienen reducciones de L en el rango 60-68% (retención 32-40%) independientemente de los tratamientos intermedios aplicados a las muestras. Considerando únicamente la etapa de secado con MW, se obtuvieron valores de retención de L de 38 y 42% para muestras FR+MW y FR_R+MW; y de 64 y 60% para DO+MW y DO_R+MW, respectivamente.

En el caso de las muestras pre-tratadas (DO+MW y DO_R+MW) la reducción del espesor en función del tiempo indicaría una disminución del encogimiento a tiempos largos de secado con MW (observar las pendientes de las líneas de tendencia de la Figura 3b respecto de la Figura 3a). Estos resultados son comparables con las cinéticas de secado con MW obtenidas para las muestras de fresas en un estudio previo. Durante los primeros 70 min de secado con MW, las muestras pre-tratadas DO mostraron un secado más rápido comparado

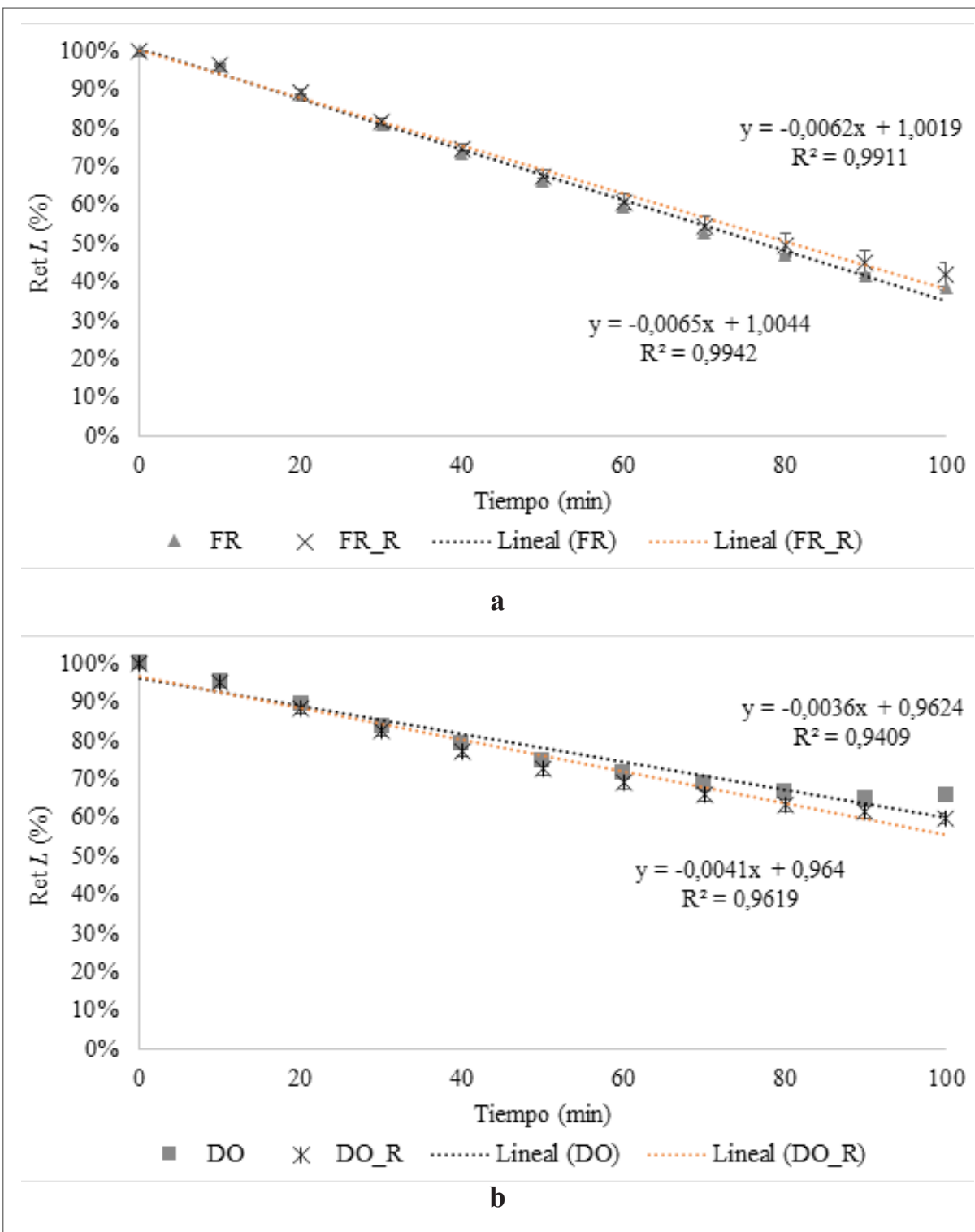


Figura 3. Retención de semi-espesor *L* durante el secado con MW de láminas de frutillas FR y DO, con y sin recubrimiento. a) FR+MW y FR_R+MW, b) DO+MW y DO_R+MW

Fuente: Elaboración propia

con las muestras FR, lo cual concuerda con los datos de la bibliografía que afirman que el pre-tratamiento DO acelera la cinética de secado posterior (Rodrigues y Fernandes, 2007; Fernandes & Rodrigues, 2008).

La incorporación de sólidos desde la solución osmótica produciría un aumento del factor de pérdida dieléctrica que incrementaría la eficiencia del secado con MW. Sin embargo, durante los últimos 30 min de secado con MW se produce una desaceleración de la pérdida de humedad que puede ser atribuida a la mayor proporción de sacarosa sobre celulosa en las fresas osmo-deshidratadas. La dificultad en la remoción del agua provocada por la alta concentración de sacarosa atenuaría el encogimiento en las muestras de fresas a tiempos largos de secado con MW.

Influencia del secado con microondas sobre el área transversal de las fresas

La Figura 4 muestra, a modo de ejemplo, las secciones transversales de las rodajas de fresa (en la posición 4) sometidas a cada condición experimental (una repetición) y durante todo el proceso de secado asistido con MW (hasta 100 min). Independientemente de la condición experimental evaluada (FR+MW, FR_R+MW, DO+MW, DO_R+MW), se observa una reducción del área transversal de las rodajas a medida que transcurre el secado, más acusada para las muestras FR+MW y FR_R+MW. Asimismo, pueden apreciarse otras características físicas, como las diferencias en el color y el brillo de las muestras pre-tratadas (DO+MW) respecto de las frescas (FR+MW) y la pérdida de color durante el proceso de secado, apreciable para las muestras DO_R+MW durante los últimos 30 min de secado, nótese la apariencia blancuzca de las muestras a tiempos largos de tratamiento.

Los cambios de color observados, significativos para las muestras DO_R-MW tras

70 min, pueden ser ocasionados por la pérdida de antocianinas debido a degradación térmica durante la etapa de secado (De Bruijn & Bórquez, 2014) o por reacciones de pardeamiento no enzimático, como la Reacción de Maillard (RM) y caramelización (Gamboa-Santos *et al.*, 2014a); Gamboa-Santos *et al.*, 2014b; Megías-Pérez, Gamboa-Santos, Soria, Villamiel & Montilla, 2014; Kocadag & Gökmen, 2018).

Estudios previos realizados en fresas sometidas a secado con aire caliente mostraron la influencia de la temperatura y el tiempo en el avance de la RM. Gamboa-Santos *et al.*, (2014a), determinaron 2-furoilmetil-aminácidos(2-FM-AA), derivados de compuestos de Amadori, descritos como indicadores de las etapas iniciales de la RM, en muestras de fresas sometidas a secado con aire en bandejas a temperaturas de 40-70°C, durante 1-7 h y velocidades de aire de 2-8 m/s.

Los resultados obtenidos mostraron incrementos significativos en 2-furoilmetil-lisina + 2-furoilmetil-arginina (2-FM-Lys + 2-FM-Arg) a 70°C respecto de la condición de temperatura más cercana inferior (60°C), con constantes de cinéticas de orden cero al menos 3 veces superiores para las fresas secadas a 70°C. En el presente trabajo la temperatura de las muestras de fresas durante la mayor parte del secado con MW se mantuvo por encima de los 70°C.

Las elevadas temperaturas sumadas a las bajas actividades de agua, principalmente a tiempos largos de secado (>70 min), propiciarían el avance de la RM, dando lugar a la aparición de zonas de colores pardos en las muestras sometidas a procesamiento, como se observa en la Figura 4. Asimismo, la presencia de sacarosa en las muestras DO favorecería las reacciones de caramelización, con la consiguiente formación de aromas y sabores extraños, además de las modificaciones apreciables de color (Kocadagli & Gökmen, 2018).

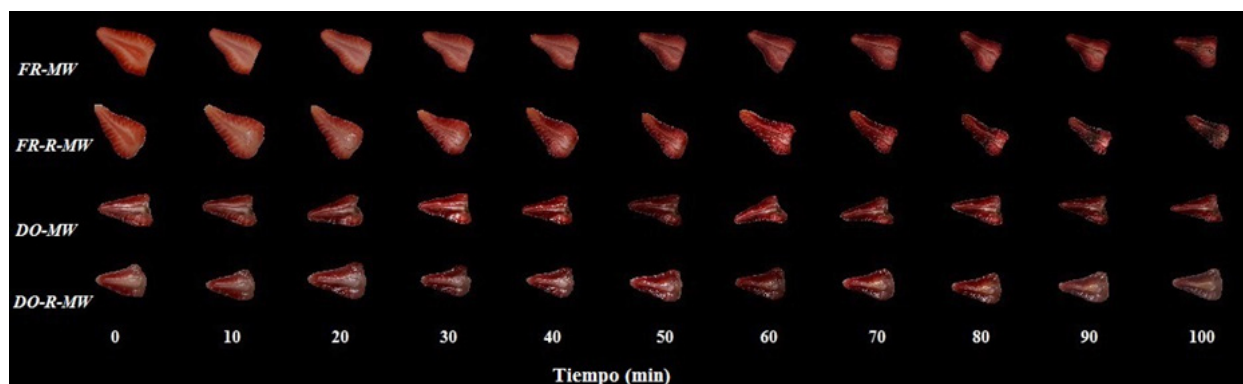


Figura 4. Áreas de las secciones transversales de rodajas de fresa (en la posición 4) sometidas a cada condición experimental (FR+MW, FR_R+MW, DO+MW, DO_R+MW) durante el proceso de secado asistido con MW (100 min)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se exponen los resultados obtenidos de retención de área (A) mediante la técnica de análisis de imágenes. A diferencia de lo observado para la reducción de espesor (L), las reducciones de área no siguieron una tendencia lineal en todos los tratamientos. En el caso de las muestras frescas (FR+MW y FR_R+MW), se observaron tendencias similares con valores de R^2 superiores a 0,95. Las pendientes de las líneas de tendencia obtenidas fueron similares para las muestras recubiertas (FR_R+MW) y sin recubrir (FR+MW) (Figura 5a). Sin embargo, para el caso de las muestras pre-tratadas osmóticamente no se observó una tendencia clara (Figura 5b).

Los valores de retención de área se encontraron por encima del 80% durante todo el secado. Estos resultados podrían interpretarse de dos formas antagónicas. Por un lado, las muestras DO+MW y DO_R+MW iniciaron el secado asistido con MW con un valor L de 0,3 cm mientras que las muestras FR+MW y FR_R+MW presentaron valores L de 0,5 cm. Esto sugiere que el encogimiento de A podría haber sido significativo en la dirección radial (área transversal) así como lo fue para el espesor L durante el pre-tratamiento DO y, por tanto, en el secado posterior no se producirían modificaciones de A tan acusadas (ya se habrían producido durante el pre-tratamiento).

Por otro lado, se ha sugerido que la ganancia de azúcares durante la DO tendría un efecto protector frente a los cambios estructurales que se producen en la matriz vegetal durante el secado con MW (Prothon, Ahrne & Sjöholm, 2003). Maskan (2001), investigó el encogimiento de rodajas de kiwi (*Actinidia deliciosa*) sometidos únicamente (sin pre-tratamiento) a secado con aire (60°C; 1,29 m/s), secado con MW (210 W) y tratamientos combinados de aire (135 min)-MW (210 W). De los resultados experimentales observó porcentajes de encogimiento de 85, 81 y 76% para las muestras tratadas con MW, aire y el tratamiento combinado aire-MW, respectivamente. Justificó los resultados obtenidos por el efecto del calor excesivo generado por la energía de MW que aceleraría la remoción de agua de los tejidos de la muestra ocasionando un rápido y elevado encogimiento (Maskan, 2001).

Por su parte, Erle & Schubert (2001), obtuvieron mayor retención de volumen en fresas (20-50%) secadas con MW a vacío (390 W, 37 min + 195 W, 15 min) y sometidas a un tratamiento DO previo (sacarosa 60°Bx, 20°C, 3-22 h), respecto de las muestras frescas tratadas con MW a vacío (sin pre-tratar). Por tanto, las mínimas reducciones de A que se producen durante el secado con MW en las muestras DO podrían relacionarse con el

contenido de sacarosa que contiene la muestra y con la concentración de sólidos (azúcares) que ocurre a medida que se pierde agua durante el secado. La estructura celular se preservaría mejor cuando se aplica un pre-tratamiento DO,

gracias a la formación de una estructura más rígida compuesta de pectinas, sacarosa y en algunos casos, iones de calcio (Erle & Schubert, 2001).

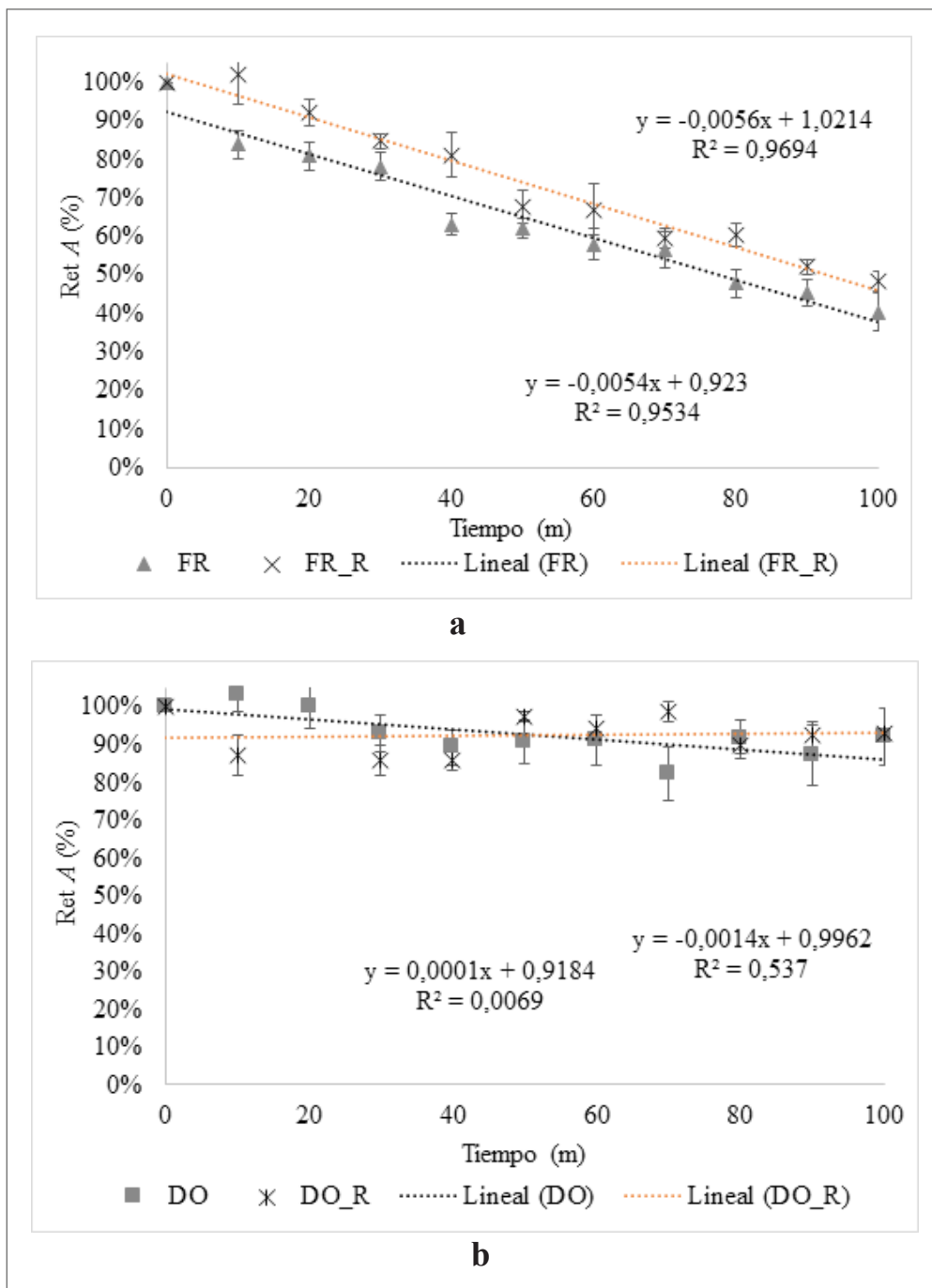


Figura 5. Retención de área (A) durante el secado con MW de láminas de fresas FR y DO, con y sin recubrimiento. a) FR+MW y FR_R+MW, b) DO+MW y DO_R+MW

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se muestran los estadísticos de correlación (r) y R^2 obtenidos para diversos modelos curvilíneos de ajuste de los datos experimentales. Los resultados mostrados corresponden a la condición experimental

FR+MW. Como se observa, el modelo que mejor ajusta los datos experimentales de FR+MW es el modelo *inversa Y – logaritmo de X* y por tanto fue el modelo seleccionado para esta condición experimental.

Tabla 2.

Comparación de modelos alternos de regresión de área (A) y semi-espesor (L) de fresas frescas secadas con asistencia de MW

| Modelo | Correlación | R-Cuadrada |
|-------------------------------|-------------|------------|
| Inversa-Y Log-X | -0,9843 | 96,88% |
| Doble Inverso | 0,9841 | 96,84% |
| Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X | 0,9834 | 96,71% |
| Exponencial | 0,9826 | 96,55% |
| Raíz Cuadrada de Y | 0,9815 | 96,34% |
| Multiplicativa | 0,9807 | 96,17% |
| Cuadrado de X | 0,9794 | 95,92% |
| Inversa-Y Raíz Cuadrada-X | -0,979 | 95,85% |
| Raíz Cuadrada Doble | 0,9784 | 95,73% |
| Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X | 0,978 | 95,64% |
| Lineal | 0,9757 | 95,20% |
| Raíz Cuadrada-Y Log-X | 0,9718 | 94,44% |
| Log-Y Cuadrado-X | 0,9717 | 94,42% |
| Inversa de Y | -0,9705 | 94,18% |
| Raíz Cuadrada de X | 0,9688 | 93,86% |
| Cuadrado Doble | 0,9685 | 93,80% |
| Curva S | -0,9648 | 93,08% |
| Logaritmo de X | 0,9584 | 91,86% |
| Cuadrado de Y | 0,9513 | 90,49% |
| Raíz Cuadrada-Y Inversa de X | -0,9483 | 89,93% |
| Inversa-Y Cuadrado-X | -0,9453 | 89,35% |
| Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X | 0,9375 | 87,89% |
| Inversa de X | -0,9278 | 86,08% |

Fuente: Elaboración propia

La Figura 6 muestra el análisis de regresión para la retenciones de espesor L y área A de fresas frescas, FR+MW y FR_R+MW, durante el proceso de secado de fresas asistido con MW. En el caso de las muestras FR+MW el modelo de regresión seleccionado (inversa de Y-

logaritmo de X), alcanzó valores de coeficiente de correlación (r) de 0,984 y R^2 : 96,88% (Tabla 3). Las muestras FR_R+MW obtuvieron la mejor correlación entre L y A , con el modelo cuadrado doble (r : 0,991, R^2 : 98,2%).

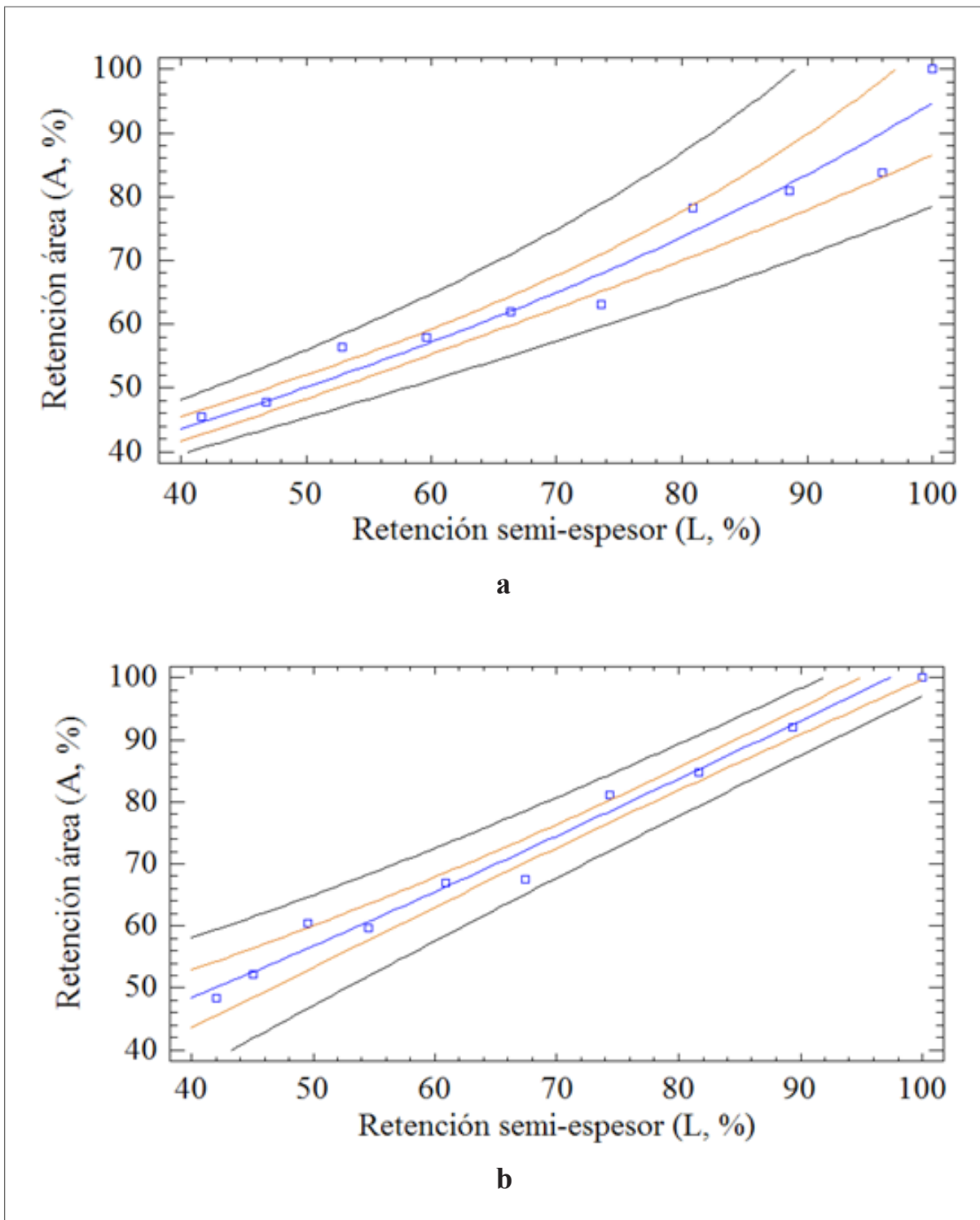


Figura 6. Análisis de regresión para las retenciones de espesor (L) y área (A) en fresas sometidas a secado asistido con microondas. a) Gráfica del modelo *inversa de Y- logaritmo de X* ajustado para fresas frescas (FR+MW), b) Gráfica del modelo cuadrado doble ajustado para fresas frescas recubiertas (FR_R+MW)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.
Resultados estadísticos obtenidos del análisis de regresión

| | FR+MW | FR_R+MW | DO+MW | DO_R+MW |
|-----------------|--|---|--|-----------|
| Modelo | Inv Y – Log X | Cuadrado doble | Cuadrado doble | Doble inv |
| r | 0,984 | 0,991 | 0,843 | -0,135 |
| R ² | 96,88 | 98,2 | 71,12 | 1,82 |
| Ecuación ajuste | $ReA = \left(\frac{1}{0,073 - 0,014 \times \ln(ReL)} \right)$ | $ReA = \sqrt{795,171 + 0,969 \times (ReL)^2}$ | $ReA = \sqrt{5665,260 + 0,479 \times (ReL)^2}$ | .1 |
| Valor-P | <0,05 | <0,05 | <0,05 | >0,05 |

¹Las ecuación de ajuste para la muestra DO_R+MW no se consideró debido a su bajo coeficiente de correlación

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las muestras pre-tratadas, el coeficiente de correlación obtenido para DO+MW con el mejor modelo de ajuste (cuadrado doble) fue de 0,843, mientras que para la condición DO_R+MW ningún modelo fue capaz de correlacionar los datos experimentales con buenos coeficientes (el modelo que mejor ajuste obtuvo arrojó valores de R² de 1,82%). Estos resultados se deberían a la dispersión de datos de *A* obtenidos para las muestras pre-tratadas. En la Figura 4 antes mencionada en los valores nulos de R² obtenidos para DO_R+MW.

Los resultados de retención de *A* de las muestras pre-tratadas DO+MW muestran un encogimiento de hasta un 20% (valores de retención en el rango 80-100%). Dado que los valores se mantuvieron aproximadamente constantes en un rango pequeño es difícil extraer conclusiones válidas sin magnificar los errores. Sin embargo, estos resultados muestran que la técnica de análisis de imágenes propuesta no es apropiada cuando las modificaciones de tamaño y forma son mínimas (DO+MW y DO_R+MW).

En tal caso, en los próximos análisis deberían implementarse estrategias que reduzcan el ruido

antes de la etapa de segmentación de imágenes (Hosseinpour, Rafiee, Aghbashlo & Mohtarebi, 2014). Entre ellas puede mencionarse el control estricto de la luminosidad (intensidad lumínica constante durante el proceso), la adecuación de una cavidad que posicione la cámara digital en una ubicación más precisa para capturar la imagen, la inclusión de técnicas de pre-procesamiento de imagen, como la utilización de filtros que excluyan el ruido y una selección más minuciosa del área de interés (minimizando la cuantificación de áreas laterales de la lámina de fresa).

Los resultados propuestos en el presente trabajo tienen relevancia a nivel industrial. La aplicación de una técnica de análisis de imágenes in-line podría reemplazar el método *off-line* de determinación de *L* con un calibre.

Los resultados de longitud característica *L* se podrían obtener a partir de los datos de *A* registrados, a cada instante del proceso, con una cámara ubicada en la parte superior de la cabina de secado. Estos datos serían muy útiles para obtener información sobre el proceso (como el *De*) y tomar decisiones en la línea de producción.

Conclusiones

La técnica de análisis digital de imágenes sugerida en este estudio permitió correlacionar datos morfométricos de fresas (área de la sección transversal y espesor) con el fin de obtener información útil para evaluar el encogimiento durante un proceso de secado asistido con microondas, remarcando la eficacia de técnicas de análisis digital de imágenes para obtener información sobre indicadores de calidad de alimentos sometidos a procesamiento.

Atendiendo a los resultados obtenidos para retención de área y espesor, en las muestras de fresas frescas, el encogimiento tendría un comportamiento isotrópico durante todo el proceso de secado.

La técnica de análisis digital de imágenes propuesta no es apropiada cuando las muestras son sometidas a un pre-tratamiento de deshidratación osmótica. En este sentido es necesario ampliar los estudios en técnicas de análisis digital de imágenes para reducir errores durante el procesamiento de las mismas. La fiabilidad del método permitirá, sin lugar a dudas, extender su aplicación a diferentes líneas de procesamiento a nivel industrial.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina), proyecto PIP 0231 y por la Universidad Nacional de La Plata (UNLP, Argentina).

Referencias

- Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2014). Computer vision technology for real-time food quality assurance during drying process. *Trends in Food Science & Technology*, 39 (1), 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.003>
- Bhargava, A., & Bansal, A. (2018). Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A Review. *Journal of Kind Sand University – Computer and Information Sciences*, 30 (4), 2-15. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.06.002>
- Chen, Q., Zhang, C., Zhao, J., & Ouyang, Q. (2013). Recent advances in emerging imaging techniques for non-destructive detection of food quality and safety. *Trends in Analytical Chemistry*, 52, 261-274. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.09.007>
- Cho, J.S., Lee, H.J., Park, J.H., Sung, J.H., Choi, J.Y., & Moon, K.D. (2016). Image analysis to evaluate the browning degree of banana (*Musa spp.*) peel. *Food Chemistry*, 194, 1028-1033. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.103>
- De Bruijn, J., & Bórquez, R. (2014). Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*, 63 (A), 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.029>
- Doymaz, I. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, 47 (5), 914-919. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.02.003>
- Erle, U., & Schubert, H. (2001). Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 193-199. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00207-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00207-7)
- Fernandes, F.A.N., & Rodrigues, S. (2008). Dehydration of sapota (*Achras sapota L.*) using ultrasound as pretreatment. *Drying Technology*, 26, 1232-1237. <https://doi.org/10.1080/07373930802307118>

- Gamboa-Santos, J., Megías-Pérez, R., Soria, A.C., Olano, A., Montilla, A., & Villamiel, M. (2014a). Impact of processing conditions on the kinetics of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. *Food Chemistry*, 153, 164-170. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.004>
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Soria, A.C., Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V., & Villamiel, M. (2014b). Impact of power ultrasound on chemical and physicochemical quality indicators of strawberries dried by convection. *Food Chemistry*, 161, 40-46.
- García-Noguera, J., Oliveira, F.I.P., Gallão, M.I., Weller, C.L., Rodrigues, S., & Fernandes, F.A.N. (2010). Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Drying Technology*, 28 (2), 294-303. doi: 10.1080/07373930903530402
- Giovanelli, G., Brambilla, A., & Sinelli, N. (2013). Effect of osmo-air dehydration treatments on chemical, antioxidant and morphological characteristics of blueberries. *LWT-Food Science and Technology*, 54 (2), 577-584. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.008>
- Gol, N.B., Patel, P.R., & Ramana Rao, T.V. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
- Hosseinpour, S., Rafiee, S., Aghbashlo, M., & Mohtarebi, S.S. (2014). A novel image processing approach for in-line monitoring of visual texture during shrimp drying. *Journal of Food Engineering*, 143, 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.003>
- Jalaei, F., Fazeli, A., Fatemian, H., & Tavakolipour, H. (2011). Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.012>
- Khin, M.M., Zhou, W., & Perera, C.O. (2006). A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77 (1), 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.050>
- Kocadagli, T., & Gökmen, K. (2018). *Caramelization in food. A food quality and safety perspective*. Amsterdam: Elsevier.
- Lago-Vanzela, E.S., do Nascimento, P., Fontes, E.A.F., Mauro, M.A., & Kmura, M. (2013). Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. *LWT – Food Science and Technology*, 50 (2), 420-425. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.003>
- Manninen, H., Paakki, M., Hopia, A., & Franzén, R. (2015). Measuring the Green colour of vegetables from digital images using image analysis. *LWT – Food Science and Technology*, 63 (2), 1184-1190. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.005>
- Matuska, M., Lenart A., & Lazarides, H.N. (2006). On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*, 72 (1), 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.023>

- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48 (2), 177-182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2)
- Megías-Pérez, R., Gamboa-Santos, J., Soria, A.C., Villamiel, M., & Montilla, A. (2014). Survey of quality indicators in commercial dehydrated fruits. *Food Chemistry*, 150, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.141>
- Onwude, D.I., Hashim, N., Abdan, K., Janius, R., & Chen, G. (2018). Combination of computer vision and backscattering imaging for predicting the moisture content and colour changes of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during drying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.015>
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A., & Vargas, A. (2012). Effect of chitosan – lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 70, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.002>
- Prothon, F., Ahrne, L., & Sjöholm, I. (2003). Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43 (4), 447-479. <https://doi.org/10.1080/10408690390826581>
- Rodrigues, S., & Fernandes, F.A.N. (2007). Ultrasound in fruit processing. In: Urwaye, A.P., (Ed). *New Food Engineering Research Trends* (pp.103-135). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Rodríguez, A., García, M.A., & Campañone, L. (2016). Experimental study of the application of edible coatings in pumpkin sticks submitted to osmotic dehydration. *Drying Technology*, 34 (6), 635-644. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1069325>
- Salto, A.H. (2010). *Sensometría. Análisis en el desarrollo de alimentos procesados*. Riobamba, Ecuador: Ediciones Pedagógico Freire.
- Sampson, D.J., Chang, Y.K., Vasantha Rupasinghe, H.P., & Zaman, Q. (2014). A dual-view computer-vision system for volume and image texture analysis in multiple apple slices drying. *Journal of Food Engineering*, 127, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.016>
- Shenoy, P., Innings, F., Lilliebjelke, T., Jonsson, C., Fitzpatrick, J., & Ahrné, L. (2014). Investigation of the application of digital colour imaging to assess the mixture quality of binary food powder mixes. *Journal of Food Engineering*, 128, 140-145. [doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.12.013](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.12.013)
- Souraki, B.A., Ghavami, M., & Tondro, H. (2014). Correction of moisture and sucrose effective diffusivities for shrinkage during osmotic dehydration of apple in sucrose solution. *Food and Bioprocess Technology*, 92 (1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.07.002>
- Spence, C. (2018). Background colour and its impact on food perception and behaviour. *Food Quality and Preference*, 68, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.02.012>

- Spence, C., Okajima, K., Cheok, A.D., Petit, O., & Michel, C. (2016). Eating with our eyes: from visual hunger to digital satiation. *Brain and Cognition*, 110, 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2015.08.006>
- Sturm, B., Nunez-Vega, A.M., & Hofacker, W.C. (2014). Influence of process control strategies on drying kinetics, colour and shrinkage of air dried apples. *Applied Thermal Engineering*, 62 (2), 455-460. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.056>
- Wrolstad, R.E., Durst, R.W., & Lee, J. (2018). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science and Technology*, 16 (9), 423-428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>
- Yang, X.H., Deng, L.Z., Mujumdar, A.S., Xiao, H.W., Zhang, Q., & Kan, Z. (2018). Evolution and modeling of colour changes of red pepper (*Capsicum annum* L.) during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 231, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.013>
- Zhou, T., Harrison, A.D., Mckellar, R., Young, J.C., Odumeru, J., Piyasena, P., ... Karr, S. (2004). Determination of acceptability and shelf life of ready-to-use lettuce by digital image analysis. *Food Research International*, 37 (9), 875-881. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.05.005>
- Zielinska, M., & Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.) fruits: drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant-capacity, color and texture. *Food Chemistry*, 212 (1), 671-680. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.003>