



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS ANTIOXIDANTES DE SUBPRODUCTOS DE ALCACHOFA

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA CALIDAD Y
SEGURIDAD ALIMENTARIA

ALUMNO: ARIEL ALEJANDRO BORSINI

TUTOR ACADEMICO: JUAN ANDRÉS CÁRCEL CARRIÓN

DIRECTORA EXPERIMENTAL: BEATRIZ LLAVATA CABRERO

Curso Académico: 2018-2019

VALENCIA, 09 DE SEPTIEMBRE DE 2019

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS ANTIOXIDANTES DE SUBPRODUCTOS DE ALCACHOFA

A. A. Borsini¹, B. Llavata Cabrero¹, J.A. Cárcel Carrión¹

RESUMEN

El secado es un proceso de conservación basado en disminuir el contenido de humedad con el objetivo de reducir la actividad del agua. El uso de altas temperaturas acelera dicha operación. Una alternativa puede ser la aplicación de ultrasonidos de potencia (US). Sin embargo, ambas alternativas pueden afectar a la calidad del producto. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura de secado y la aplicación de US en la cinética de secado y el potencial antioxidante de subproductos de alcachofa. Para ello, se realizaron experiencias de secado a 5 temperaturas (40, 60, 80, 100 y 120 °C) de brácteas externas (muestras de geometría laminar) y tallos (muestras cilíndricas). Por otro lado, se realizaron otra serie de experiencias de secado a 40 °C sin y con aplicación de ultrasonidos (50 W). Se determinó el contenido de fenoles totales (CFT), capacidad antioxidante (CAT), vitamina C (VC) y el residuo insoluble en alcohol (RIA) de las muestras frescas y secas. La velocidad de secado se incrementó conforme aumentó la temperatura de secado. La aplicación de ultrasonidos de alta potencia durante el secado aceleró la cinética del proceso. El modelo difusivo ajustó satisfactoriamente a los datos experimentales. Ambos subproductos presentaron cantidades de RIA relativamente importantes, siendo las brácteas la parte que presentó el mayor contenido. Los valores de CFT, CAT y VC de las muestras secas disminuyeron en relación a las muestras frescas, siendo las temperaturas de 40 °C y de 120 °C las que mejor preservaron dichas características. Las experiencias de secado con ultrasonidos presentaron una menor retención de CFT, CAT y VC.

PALABRAS CLAVE: Fibra; hinchamiento; retención grasa; fenoles; vitamina C

RESUM

L'assecat és un procés de conservació basat en disminuir el contingut d'humitat amb l'objectiu de reduir l'activitat de l'aigua. L'ús d'altres temperatures accelera aquesta operació. Una alternativa pot ser l'aplicació d'ultrasons de potència (US). No obstant això, totes dues alternatives poden afectar la qualitat del producte. L'objectiu d'aquest treball va ser avaluar l'efecte de la temperatura d'assecat i l'aplicació de US en la cinètica d'assecat i el potencial antioxidant de

¹ Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Camí de Vera s/n, E46022, Valencia. Tel.:+34 96 387 93 76

subproductes de carxofa. Per a això, es van realitzar experiències d'assecat a 5 temperatures (40, 60, 80, 100 i 120 °C) de bràctees externes (mostres de geometria laminar) i tiges (mostres cilíndriques). D'altra banda, es van realitzar una altra sèrie d'experiències d'assecat a 40 °C sense i amb aplicació d'ultrasons (50 W). Es va determinar el contingut de fenols totals (CFT), capacitat antioxidant (CAT), vitamina C (VC) i el residu insoluble en alcohol (RIA) de les mostres fresques i seques. La velocitat d'assecat es va incrementar conforme va augmentar la temperatura d'assecat. L'aplicació d'ultrasons d'alta potència durant l'assecat va accelerar la cinètica del procés. El model difusiu va ajustar satisfactòriament a les dades experimentals. Tots dos subproductes van presentar quantitats de RIA relativament importants, sent les bràctees la part que va presentar el major contingut. Els valors de CFT, CAT i VC de les mostres seques van disminuir en relació a les mostres fresques, sent les temperatures de 40 °C i de 120 °C les que millor van preservar aquestes característiques. Les experiències d'assecat amb ultrasons van presentar una menor retenció de CFT, CAT i VC.

PARAULES CLAU: fibra; inflament; retenció grassa; fenols; vitamina C

ABSTRACT

Drying is a conservation process based on reducing the moisture content with the aim of reducing the water activity. The use of high temperatures accelerates this operation. An alternative may be the application of power ultrasound (US). However, both alternatives can affect the quality of the product. The objective of this work was to evaluate the effect of the drying temperature and the application of US in the drying kinetics and the antioxidant potential of artichoke by-products. For this, experiences of drying at 5 temperatures (40, 60, 80, 100 and 120 °C) of external bracts (laminar geometry samples) and stems (cylindrical samples). On the other hand, another series of drying experiences were carried out at 40 °C without and with ultrasound application (50 W). The total phenolic content (CFT), antioxidant capacity (CAT), vitamin C (VC) and the residue insoluble in alcohol (RIA) were determined of fresh and dried samples. The drying rate increased as the drying temperature increased. The application of high power ultrasound during drying accelerated the kinetics of the process. The diffusive model adjusted satisfactorily to the experimental data. Both by-products presented relatively large amounts of RIA, with bracts being the part that presented the highest content. The CFT, CAT and VC values of the dried samples decreased in relation to the fresh samples, with temperatures of 40 °C and 120 °C which best preserved these characteristics. The ultrasonic drying experiences showed a lower retention of CFT, CAT and VC.

KEYWORDS: Fiber; swelling; fat retention; phenolic; C vitamin

2

¹ Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Camí de Vera s/n, E46022, Valencia. Tel.:+34 96 387 93 76

1. INTRODUCCIÓN

La alcachofa (*Cynara scolymus L.*), es una planta herbácea que pertenece a la familia de las Asteráceas. Es una robusta, con crecimiento vigoroso, marcada resistencia a patógenos y pequeños insectos, y altamente adaptada al clima mediterráneo (Ceccarelli *et al.*, 2010). Se consumen principalmente las brácteas blandas internas y las porciones blandas del cogollo, comúnmente denominadas cabezas o corazón de alcachofa, que alcanzan la mejor calidad cuando todavía están en rápido crecimiento. Estas partes se suelen comercializar en fresco, enlatadas o congeladas (Lattanzio *et al.*, 2009). Muchos estudios han demostrado que la alcachofa tiene importantes propiedades medicinales, como antioxidantes, anticancerígenas, antigenotóxicas, reductor del colesterol, hepatoprotectoras, expelentes de bilis, diuréticas y antiinflamatorias, así como antifúngicas, anti-VIH y con efectos antibacterianos (Miadokova *et al.*, 2008). España es el segundo mayor productor de alcachofas a nivel mundial (223.150 toneladas en el año 2017) después de Italia (FAOSTAT, 2019).

La industria de procesamiento de vegetales produce grandes cantidades de desechos y residuos (hojas, tallos, aguas residuales, etc.). A veces, estos subproductos pueden alcanzar el 60 % de la materia cosechada, como es el caso de la alcachofa. Muchos de los subproductos que se generan en estas industrias tienen componentes valiosos y pueden usarse en la preparación de alimentos funcionales. De hecho, se han estudiado el uso de varios subproductos como fuentes potenciales de antioxidantes. Es el caso de la alcachofa (Llorach *et al.*, 2002), la berenjena (Boulekbatche-Makhlouf *et al.*, 2013) o el pimiento (Sandoval-Castro *et al.*, 2017). De hecho, un enfoque interesante para dar un valor agregado a los subproductos es su uso como fuentes de compuestos antioxidantes naturales, principalmente compuestos fenólicos. En este sentido, los subproductos de la alcachofa se han estudiado con respecto a su aplicación en la alimentación animal (Martínez Teruel *et al.*, 1998) y la producción de fibra (Femenia *et al.*, 1998) y se han utilizado extractos de subproductos de alcachofa en la funcionalización de sopas y productos de panadería.

Los principales procesos a los que se somete a los subproductos de la alcachofa son el escaldado y el secado (Icier, 2008). El secado es un proceso de conservación practicado desde la antigüedad. Se basa en disminuir considerablemente la actividad del agua del material, lo que reduce la actividad microbológica y minimiza los cambios químicos y físicos durante el almacenamiento. Además este proceso supone una sustancial reducción en la masa y el volumen, lo que minimiza el envasado y reduce costes de almacenamiento y transporte (Araujo *et al.*, 2004). La técnica más utilizada es el secado con aire caliente (SAC) que incluye procesos simultáneos de transferencia de calor y de materia. La eliminación de agua depende fundamentalmente de las condiciones externas de temperatura, humedad, velocidad y dirección del flujo de aire caliente, así como de las características y

la geometría del sólido (Váquiرو Herrera, 2009). En el secado convectivo, el flujo de aire caliente es el medio empleado para suministrar la energía suficiente para el transporte y evaporación de la humedad del material y para retirar dicha humedad del sólido (Srikiatden y Roberts, 2007). La transferencia de calor del medio hacia la superficie del sólido puede darse tanto por convección, conducción, radiación o una combinación de estos métodos. El calor luego se difunde dentro del sólido esencialmente por conducción. Por otra parte, la humedad del material se desplaza desde su interior a su superficie, y de ahí, al aire de secado. El transporte de humedad desde el interior de la matriz vegetal hacia la superficie del sólido se lleva a cabo principalmente por los siguientes métodos:

- *difusión líquida*: en caso que el sólido se encuentre a una temperatura por debajo del punto de ebullición del líquido.
- *difusión de vapor*: en caso que existe evaporación de líquido dentro del material.
- *diferencias de presión hidrostática*: debido a la tensión interna causada por el encogimiento del material.

Un aumento en la temperatura del aire de secado supone una mayor cantidad de energía en el sistema. Esto produce que la velocidad del proceso se incremente. Es por eso que, normalmente, se utilizan altas temperaturas de secado para intensificar la operación.

Una alternativa para realizar dicha intensificación sin aumentar la temperatura es la aplicación de ultrasonidos de potencia (US). Los US son oscilaciones mecánicas en el tiempo que tienen lugar en el seno del material por el que se propagan (Cárcel, 2003) con una frecuencia superior al límite de audición humano (20 kHz). La aplicación de US en un sistema de gas sólido no afecta significativamente la temperatura de la muestra. Las ondas acústicas, producen principalmente efectos mecánicos, como la compresión y expansión rápidas del material y la creación de micro-canales. Estos efectos facilitan la salida de agua de la parte interior del producto sin introducir una gran cantidad de energía térmica durante el secado (Riera *et al.*, 2011).

Sin embargo, el procesado puede afectar significativamente a la calidad de los productos deshidratados obtenidos. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la temperatura y de la aplicación de ultrasonidos en la cinética de secado de subproductos de alcachofa (brácteas externas y tallos) y en algunos parámetros relacionados con su calidad como la capacidad antioxidante (CAT), el contenido fenólico (CFT), la capacidad de retención de vitamina C (VC) y el contenido de residuo insoluble en alcohol (RIA), como medida del contenido de fibra.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

Las experiencias se realizaron con alcachofas (*Cynara scolymus* L.) adquiridas en el Mercado Central de Valencia, España (Figura 1). Las alcachofas se seleccionaron con un tamaño y grado de madurez uniforme y se almacenaron a 4 ± 1 °C hasta su procesado.



FIGURA 1. Muestras de alcachofa

2.2 Secado con Aire Caliente (SAC)

Para el procesamiento, se separaron manualmente las brácteas externas y los tallos. Estos últimos se cortaron en muestras cilíndricas de $15,0 \pm 0,5$ mm de altura. Tanto las brácteas como los tallos, se colocaron en bandejas de aluminio y se llevaron a una cámara de secado con convección forzada (Binder, Modelo FD 260). Se realizaron ensayos de secado a 5 temperaturas (40, 60, 80, 100 y 120 °C). En todas ellas se aplicó una velocidad de aire de 1 m/s. A intervalos de 10 minutos, se extrajeron las muestras de la cámara y se pesaron. Los ensayos se prolongaron hasta que las muestras alcanzaron peso constante. Todas las condiciones de secado se realizaron al menos por triplicado. La humedad de las muestras se midió siguiendo los métodos estándar 934.01 (AOAC, 1997). También se determinó el contenido de humedad inicial de las muestras por la diferencia de peso entre muestras frescas y las mismas secadas a 105 °C hasta que alcanzaron un peso constante (24 h aproximadamente).

Una vez finalizado el proceso de secado, las muestras se trituraron en un molinillo y se envasaron a vacío.

2.3 Secado con Aire Caliente asistido por ultrasonidos de alta potencia (SACUS)

Esta serie de experiencias de secado se llevaron a cabo en un secador de aire asistido por ultrasonidos (Figura 2) ya descrito en la literatura (Cárcel *et al.*, 2011). En el sistema de secado, dos algoritmos de control PID permitieron

controlar la temperatura y la velocidad del aire. El secador está equipado con un sistema neumático que permite pesar las muestras automáticamente en los tiempos de secado preestablecidos. La cámara de secado está constituida por un cilindro de aluminio (diámetro interno 100 mm, altura 310 mm y espesor 10 mm), el cual puede ser excitado por un transductor piezoeléctrico lo que permite someter a las muestras a un campo acústico de alta intensidad durante los secados.

Se realizaron experiencias de secado (40 °C y 1 m/s) de brácteas con y sin la aplicación de ultrasonidos de alta potencia (US). En el primer caso se aplicó una potencia eléctrica específica de 50 W al transductor, lo que significa una densidad de potencia de 20,5 kW / m³. Para cada serie, se colocaron al azar doce muestras (45 ± 2 g) en un portamuestras, asegurando el flujo de aire y la aplicación de US uniforme en todas ellas. El peso de la muestra se registró automáticamente a intervalos de 5 minutos durante todo el proceso de secado. Todas las condiciones de secado se realizaron por triplicado. Una vez finalizado el proceso de secado se trituraron las muestras en un molinillo (Blixer 2 Robot-coupe, Francia) y se envasaron al vacío.

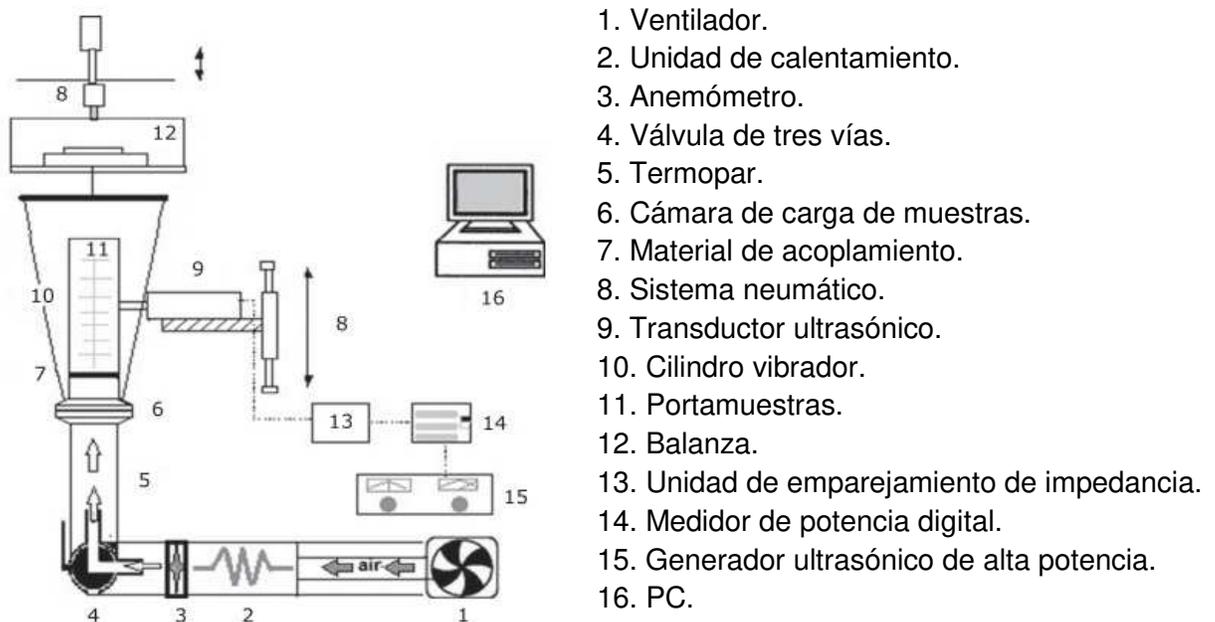


FIGURA 2. Diagrama del secador asistido por ultrasonidos. (Gamboa-Santos *et al.*, 2014)

2.4 Modelización

Para describir matemáticamente las cinéticas de secado se utilizó un modelo difusivo. Las ecuaciones de gobierno correspondientes para una geometría laminar (brácteas) y una geometría cilíndrica (tallos) considerando la difusividad efectiva constante (ecuación 1a y 1 b) son:

$$\frac{\partial W(x,t)}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 W(x,t)}{\partial x^2} \quad (1a)$$

$$\frac{\partial W(r,t)}{\partial t} = D_{eff} \left(\frac{\partial^2 W(r,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W(r,t)}{\partial r} \right) \quad (1b)$$

donde W es el contenido de humedad local (kg agua/kg materia seca); t es el tiempo (s); D_{eff} la difusividad efectiva (m^2/s); x, r la dirección característica de transporte (m) para la geometría laminar y cilíndrica, respectivamente.

Para abordar la resolución de las ecuaciones 1a y 1b se consideró que el contenido inicial de agua fue homogéneo en toda la muestra, la simetría del sólido y que el volumen permanece constante.

Se eligió un método de diferencias finitas implícitas para estimar los parámetros del modelo, D_{eff} y k, utilizando Matlab 2015 (The Mathworks, Inc, Natick, EE. UU.).

El efecto de la temperatura en la difusividad se puede describir mediante una ecuación de tipo Arrhenius (ecuación 2):

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

donde D_{eff} es la difusividad efectiva (m^2/s), D_0 es un factor pre-exponencial de la ecuación de Arrhenius (m^2/s); E_a es la energía de activación para la difusión de agua (kJ/mol); R es la constante de los gases (kJ/mol K) y T es la temperatura (K).

La bondad de los ajustes se evaluó a partir del cálculo del porcentaje de la varianza explicada (ecuación 3):

$$\%Var = \left[1 - \frac{S_{xy}^2}{S_y^2} \right] * 100 \quad (3)$$

donde S_{xy} es la desviación estándar de la estimación; S_y es la desviación estándar de la muestra.

2.5 Parámetros de calidad

Parámetros de calidad de las muestras deshidratadas en las diferentes condiciones ensayadas se estudiaron mediante la determinación del contenido de residuo insoluble en alcohol (como medida del contenido de fibra), de compuestos fenólicos totales, de vitamina C, de la capacidad antioxidante. Además, se determinó la calidad del residuo insoluble en alcohol a través de la determinación de su capacidad de hinchamiento, de retención de agua y de grasa.

2.5.1 RESIDUO INSOLUBLE EN ALCOHOL (RIA)

El RIA se obtuvieron mediante sucesivos ciclos de lavado de las muestras, ya sea de brácteas o tallos, previamente trituradas en etanol a ebullición (concentración final 85 % (v / v)) y acetona, según lo describen Femenia, *et al.* (1998). Una vez obtenido el RIA, se determinó su capacidad de hinchamiento (CH), su capacidad de retención de agua (CRA) y su capacidad de adsorción de grasa (CAG) como se describe a continuación:

Capacidad de hinchamiento (CH). Para la medida de la CH, se introdujeron $0,20 \pm 0,01$ g de RIA en una probeta graduada con 10 mL de agua destilada. Después de 24 h se determinó el volumen que había alcanzado dicho RIA y se expresó como mL de agua / g de RIA.

Capacidad de retención de agua (CRA): En este caso, $0,20 \pm 0,01$ g de RIA se colocaron en un tubo de centrifuga con 10 mL de agua y se dejó reposar durante 24 h. Posteriormente, se centrifugó a 6000 rpm y 4 °C durante 15 minutos. El sobrenadante se decantó y se pesó el RIA junto con el agua absorbida. La CRA se expresó como g agua / g RIA.

Capacidad de absorción de grasas (CAG): $0,20 \pm 0,01$ g de RIA se colocaron en un tubo de centrifuga junto con 10 mL de aceite de girasol. El conjunto se dejó reposar durante 24 h. Posteriormente se centrifugó a 6000 rpm y 4 °C durante 15 minutos. Después de eliminar el sobrenadante, se pesó el RIA junto con el aceite absorbido. La CAG se expresó como g aceite / g RIA.

2.5.2 PROPIEDADES ANTIOXIDANTES

Las propiedades antioxidantes de las distintas muestras se determinaron en un extracto etanólico de las mismas. Estos extractos se obtuvieron a partir aproximadamente $1,00 \pm 0,02$ g de muestra seca a la que se añadió 20 mL de etanol puro y se homogeneizó durante 1 min con ultraturrax (T25 Digital, IKA, Germany) a 13.500 rpm. La mezcla se dejó reposar en nevera (4 °C). Al cabo de 24 horas, se centrifugaron a 4000 rpm y 4 °C durante 10 min. Luego se filtraron utilizando un filtro de microfibra de vidrio y se enrasó a 20 mL con etanol puro. Finalmente, las muestras se almacenaron protegidas de la luz a 4 °C hasta su análisis (Heredia *et al.*, 2009).

Contenido de fenoles totales (CFT): El contenido total de compuestos fenólicos (CFT) se determinó siguiendo el método descrito por Gao *et al.* (2000) que utiliza el reactivo Folin-Ciocalteu. Cada ensayo se realizó por triplicado. Una alícuota de 0,1 mL de extracto se homogeneizó con 0,2 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y 2 mL de agua destilada. Esta mezcla se dejó a temperatura ambiente durante 3 minutos. Inmediatamente se añadió 1 mL de Na_2CO_3 al 20 % (p/v), se homogeneizó y se mantuvo en reposo en la oscuridad durante una hora a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia de las muestras a 765 nm en un espectrofotómetro (Helios Gamma, Thermo Spectronic, Cambridge, UK). El contenido de fenoles totales (CFT) se determinó empleando una recta de calibración con ácido gálico. Los resultados se

expresaron como miligramos de ácido gálico equivalente por gramo de materia seca (mg GAE/g m.s.).

Capacidad Antioxidante total (CAT): La capacidad antioxidante se midió mediante el método FRAP (Benzie *et al.*, 1996). Dicho método está basado en el poder de una sustancia antioxidante para reducir el Fe^{+3} a Fe^{+2} . Así, el complejo férrico 2,4,6-Tri(2-piridil)-s-triazina (TPZ), que es incoloro, es reducido a un complejo ferroso de coloración azul. Esta diferencia se mide a partir de la determinación de absorbancia máxima a 595 nm. Cuanto más antioxidante sea la muestra, mayor será la reducción y más alta resultará la señal de absorbancia. El método FRAP requiere de una preparación previa de reactivos. Concretamente, se prepararon un tampón acetato sódico anhidro 0,3 M pH 3,6; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 milimolar; TPTZ (2,4,6-Tri(2-piridil)-s-triazina) 10 mM en HCL 40 mM. Posteriormente, se preparó el reactivo FRAP mezclando 10 mL del tampón, 10 mL de la solución TPTZ y 10 mL de la solución FeCl_3 dejando por 30 minutos en un baño (Tecton 200, P-Selecta, España) a 37 °C. Se utilizaron cubetas desechables de 2,5 mL a las que se les añadió 30 μL de agua destilada. A continuación, se adicionó 30 μL de muestra diluida (o de etanol en el caso del blanco) para las brácteas y 7,5 μL de muestra con 22,5 μL de etanol (dilución 1:4) para los tallos; y por último, 900 μL del reactivo FRAP. Después, las cubetas se introdujeron en un baño a 37 °C durante 30 minutos. Finalmente, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Helios Gamma, Thermo Spectronic, Cambridge, UK) a 595 nm. Para que estas absorbancias medidas pudieran ser expresadas en μmol TROLOX / gramos de m.s., se empleó una recta de calibrado con diluciones de Trolox de concentración conocida, junto al mismo solvente utilizado para la extracción.

Contenido de Vitamina C (VC): El contenido de vitamina C se estimó mediante la determinación del contenido de ácido ascórbico (VC) por el método propuesto por Jagota y Dani (1982) con ligeras modificaciones. Para ello, se mezclaron 0,5 mL de extracto de la muestra con 0,5 mL de una solución al 7,5 % de ácido tricloroacético. La disolución se homogeneizó, se dejó en reposo durante 5 minutos a 4 °C y se filtró. En una celda espectrofotométrica de 4,5 mL, se colocaron 0,2 mL del extracto preparado, 2 mL de agua destilada y 0,2 mL de una solución diluida (1:10 v/v) del reactivo de Folin-Ciocalteu. Después de 10 minutos a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 760 nm. Se preparó una curva de calibración con soluciones etanólicas de concentración conocida de ácido ascórbico. Los resultados se expresaron como miligramos de ácido ascórbico por gramo de materia seca (mg VC/g m.s.).

2.6 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA, $p < 0,05$) y la significación de las diferencias entre tratamientos se estableció con la prueba de diferencias mínimas significativas (LSD, Least Significant Difference) utilizando el programa Statgraphics Centurión XVI.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cinéticas de secado y modelado

3.1.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO

Los experimentos de secado se realizaron con muestras de brácteas externas y tallos de alcachofas. El contenido de humedad inicial de las muestras fue de $4,7 \pm 0,4$ kg de agua / kg de materia seca (m.s.) para las brácteas y de $6,3 \pm 0,5$ kg de agua / kg m.s. para los tallos; y el contenido final de las mismas, después del secado, fue de $0,13 \pm 0,01$ kg de agua / kg m.s. para las brácteas y de $0,20 \pm 0,01$ kg de agua / kg m.s. para los tallos. En las cinéticas obtenidas a 60, 80, 100 y 120 °C se observó un período de tasa constante al inicio de las mismas. Por lo tanto, al inicio del secado el proceso ocurrió en el rango de periodo constante, lo que indicaría una influencia de la resistencia externa al secado; sin embargo a tiempos más largos el proceso de secado ocurrió en el período de tasa decreciente. Esto indicaría que fue la difusión el mecanismo físico dominante que gobernó el movimiento de la agua durante el secado de las muestras en los minutos finales de secado. Resultados similares han sido reportados en la literatura para varias frutas y vegetales (Akanbi *et al.*, 2006; Akpinar y Bicer, 2004).

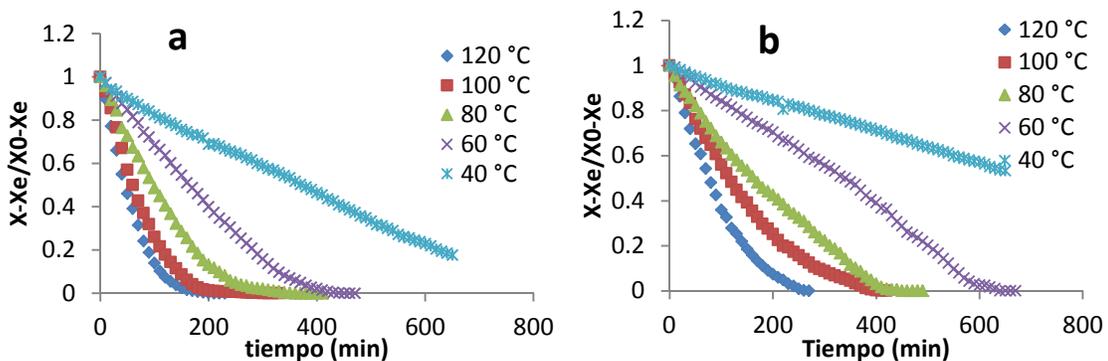


FIGURA 3. Curvas de secado de brácteas (a) y de tallos (b).

En la Figura 4 se muestra las curvas de velocidad de secado para las condiciones ensayadas.

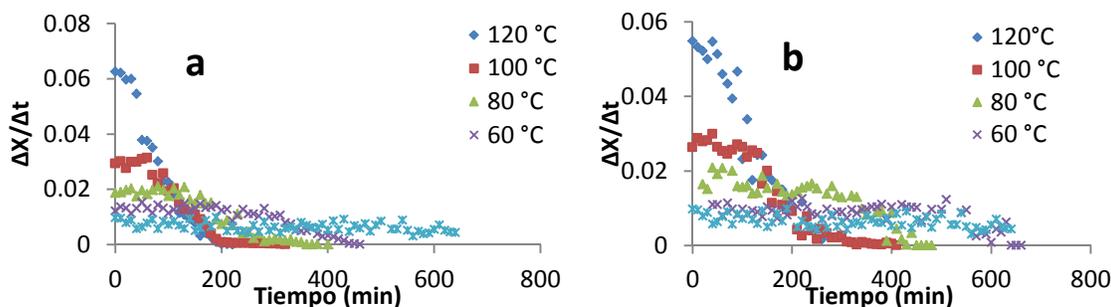


FIGURA 4. Curvas de velocidad de secado de brácteas (a) y de tallos (b).

Los resultados experimentales obtenidos mostraron, como se esperaba, un aumento en la velocidad de secado conforme se incrementó la temperatura (Figura 3). Los tiempos de secado en las condiciones experimentales seleccionadas (Tabla 1) mostraron la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las temperaturas ensayadas. En el caso de las brácteas, el tiempo que se necesitó para alcanzar el peso constante a 120 °C fue el 17 % del que se necesitó a 40 °C, esto supone una reducción del tiempo de secado de 83 %. En el caso de los tallos esta reducción fue del 79 %.

TABLA 1. Tiempo de secado (h) de brácteas y tallos de alcachofa hasta alcanzar peso constante para diferentes temperaturas de secado

Temperatura (°C)	Brácteas	Tallos
120	4,0 ± 0,2 ^a	5,0 ± 0,2 ^a
100	6,0 ± 0,2 ^b	7,0 ± 0,3 ^b
80	7,0 ± 0,1 ^c	8,0 ± 0,2 ^c
60	8,00 ± 0,15 ^d	11,0 ± 0,2 ^d
40	24,0 ± 0,4 ^e	24,0 ± 0,5 ^e

* Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

3.1.2 INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS

Por otra parte, se realizaron otra serie de experiencias de secado a 40 °C y 1 m/s con y sin la aplicación de US. En este caso, y como se puede observar en la Figura 5a, la aplicación de US durante el secado aceleró significativamente la cinética del proceso. En la literatura, se ha informado que altas velocidades de aire de secado pueden introducir modificaciones en el campo acústico, lo que implica la reducción de la energía acústica presente en el medio y por ende una disminución en el efecto de los US (García-Pérez *et al.*, 2006; Mulet *et al.*, 2003). Por otra parte, el uso de altas temperaturas también puede disminuir la influencia de la aplicación de US. En este caso, la velocidad de aire aplicada (1 m/s) fue baja y la temperatura (40 °C) moderada, por lo que la influencia de los US fue marcada.

En la Figura 5b se muestra la variación de la velocidad de secado con el contenido de humedad. Al inicio del secado el proceso ocurrió en el rango de periodo constante, lo que indicaría una influencia de la resistencia externa al secado; sin embargo a tiempos más largos el proceso de secado ocurrió en el período de tasa decreciente. Esto indicaría que fue la difusión el mecanismo físico dominante que gobernó el movimiento de la agua durante el secado de las muestras en los minutos finales de secado.

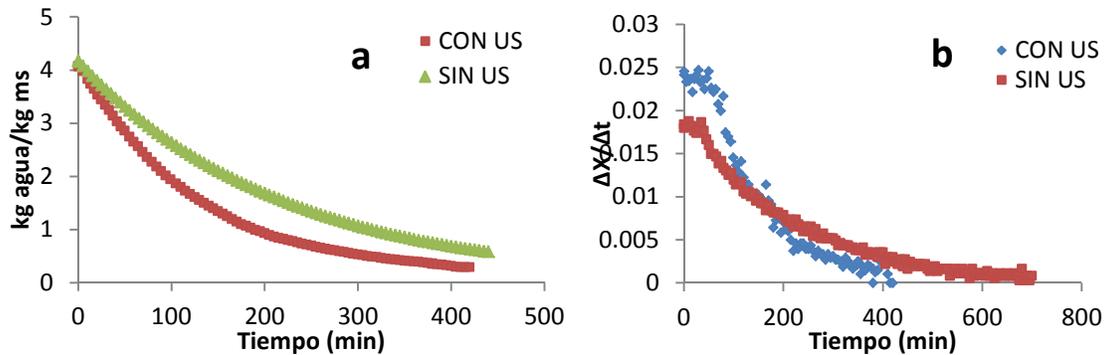


FIGURA 5. (a) Curvas de secado con y sin ultrasonidos de alta potencia (US); (b) curvas de velocidad de secado de brácteas con y sin aplicación de ultrasonidos de alta potencia

Los US provocan una serie de efectos que pueden afectar tanto a la resistencia interna como a la externa a la transferencia de masa (Mulet *et al.*, 2011). En el caso del secado de brácteas de alcachofa, la aplicación de US redujo el tiempo de secado para alcanzar una humedad de $0,29 \pm 0,01$ kg de agua / kg de (m.s.) de 645 ± 5 a 405 ± 5 minutos. Es decir, el tiempo de secado para las muestras secadas sin asistencia de US fue un 37 % mayor que para las muestras asistidas con US. La influencia en tiempo de secado en berenjena puede ser de hasta el 70 % (García-Pérez *et al.*, 2010) de reducción de tiempo mientras que en zanahoria es del 30 % (Cárcel *et al.*, 2011). Esto está relacionado tanto por la estructura como por la porosidad del material. Así, como la alcachofa es poco porosa, la influencia de los US es menor que en otros materiales más porosos como la berenjena (García-Pérez *et al.*, 2010) o corteza de naranja (Ortuño *et al.*, 2010).

3.1.3 MODELADO

Como se ha comentado en la sección correspondiente a materiales y métodos, se utilizó un modelo basado en la segunda ecuación de difusión de Fick para modelar las cinéticas de secado. Para ello, se consideró una geometría de lámina infinita para las brácteas y de cilindro infinito para los tallos. Tanto para las brácteas como para los tallos, el modelo planteado ajustó satisfactoriamente, presentando un porcentaje de varianza explicada superior al 99 % para ambos casos. Los valores de difusividad efectiva de las muestras

secadas en el rango de temperatura entre 40 y 120 °C en la cámara de secado con convección forzada (Tabla 2) variaron en el rango de $5 \times 10^{-10} - 34 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ para las brácteas y de $3,6 \times 10^{-10} - 6,1 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ para los tallos. Estos valores se encuentran en el rango de valores publicados para productos similares (Zogza *et al.*, 1996). Se observó que la temperatura afectó significativamente a la D_{eff} ($p < 0,05$). Así, el secado a 120 °C presentó los valores más altos de D_{eff} . En el caso de las brácteas, dicho valor fue un 557 % superior que a 40 °C, y un 169 % en el caso de los tallos.

La temperatura también afectó a la resistencia externa. Así los valores del coeficiente de transferencia de materia, k , se incrementaron significativamente con la temperatura. El aumento de los valores de la difusividad con el aumento de la temperatura, también demostraron un efecto significativo de la temperatura en este parámetro, presentando una relación tipo Arrhenius. Se observó una mayor dependencia de la temperatura en las brácteas, lo cual significa que el aumento de la temperatura en este caso acelera más el proceso. La difusividad fue mayor en brácteas que en los tallos, lo que evidencia una mayor velocidad de secado de las brácteas; esto probablemente está relacionado con la estructura de tejido diferente. Los valores de k también presentan diferencias entre brácteas y tallos, esto puede deberse a las diferentes geometrías y, por lo tanto, a una circulación de aire diferente alrededor de las muestras.

TABLA 2. Difusividad efectiva (D_{eff}), coeficiente de transferencia de materia (k) (valores promedio y desviación estándar) y el porcentaje de varianza explicada por el modelo (%VAR) obtenidos para los diferentes tratamientos

Tratamiento		T (°C)	D_{eff} ($10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)	k ($10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$)	% VAR
SAC	Brácteas	120	34 ± 4^a	47 ± 4^a	$99,6 \pm 0,2$
		100	25 ± 4^b	26 ± 5^b	$99,8 \pm 0,4$
		80	15 ± 5^c	$13,6 \pm 0,6^c$	$99,8 \pm 0,3$
		60	$8,8 \pm 0,3^d$	$4,3 \pm 0,1^d$	$99,5 \pm 0,2$
		40	$5,0 \pm 0,4^e$	$4,1 \pm 0,2^e$	$99,5 \pm 0,8$
	Tallos	120	$6,1 \pm 0,6^a$	$7,1 \pm 0,2^a$	$98,7 \pm 0,3$
		100	$5,4 \pm 0,3^{ab}$	5 ± 1^b	$99,0 \pm 0,1$
		80	$4,6 \pm 0,2^c$	$4,3 \pm 0,2^{bc}$	$99,2 \pm 0,7$
		60	$4,1 \pm 0,5^{cd}$	$2,2 \pm 0,3^{cd}$	$99,1 \pm 0,1$
		40	$3,6 \pm 0,3^d$	$1,3 \pm 0,8^d$	$99,6 \pm 0,2$

* Letras diferentes para cada tratamiento indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$)

La influencia de la temperatura en la difusividad se cuantificó a partir del cálculo de la energía de activación mediante una ecuación tipo Arrhenius (Figura 6). Los valores de energía de activación estimados fueron de 24,9 y 7 kJ / mol para brácteas y tallos respectivamente. Los tallos mostraron claramente

una energía de activación inferior en comparación con las brácteas. Esto demuestra una mayor influencia de la temperatura en las brácteas.

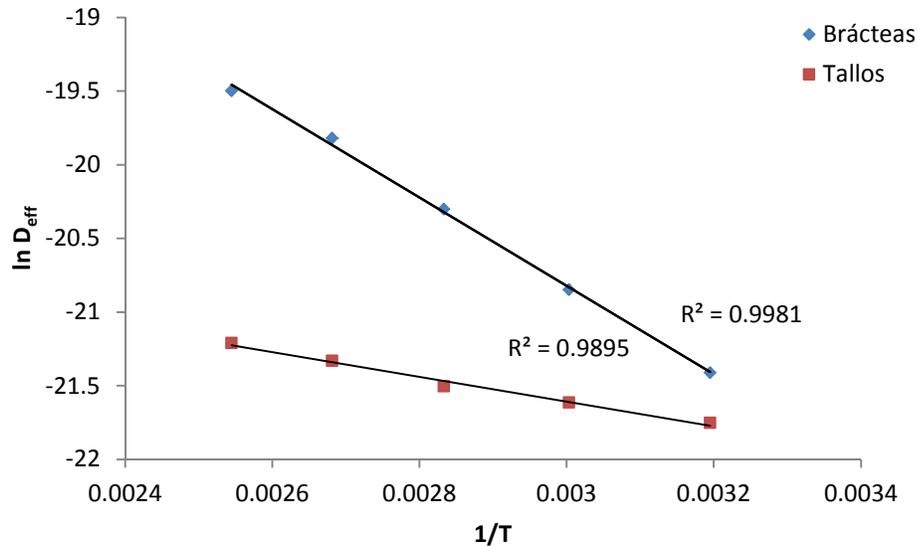


FIGURA 6. Influencia de la temperatura en la difusividad efectiva para el secado de brácteas

En la Tabla 3 se muestran los valores de difusividad efectiva y del coeficiente de transferencia de materia para las muestras tratadas con y sin US.

TABLA 3. Difusividad efectiva (D_{eff}), coeficiente de transferencia de materia (k) (valores promedio y desviación estándar) y el porcentaje de varianza explicada por el modelo (%VAR) obtenidos para los diferentes tratamientos

Tratamiento		T (°C)	D_{eff} (10^{-10} m ² /s)	k (10^{-4} m ² /s)	% VAR
SACUS	SIN US	40	4,2 ± 0,1 ^a	3,4 ± 0,8 ^a	99,3 ± 0,9
	CON US	40	8,1 ± 0,1 ^b	5,2 ± 0,7 ^b	99,8 ± 0,1

* Letras diferentes para cada tratamiento indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$)

La aplicación de US con una potencia de 50 W produjo un aumento en los valores de D_{eff} en un 92 %, esto puede deberse a la continua compresión y expansión que las muestras sufren como consecuencia del efecto esponja (Cárcel *et al.*, 2012). Por otra parte, los US causaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de k en un 53 %, la aplicación de US redujo la resistencia externa a la transferencia de materia.

3.2 Parámetros de Calidad

3.2.1 RESIDUO INSOLUBLE EN ALCOHOL (RIA)

En general, ambos subproductos presentaron cantidades de RIA relativamente importantes (Figura 7), siendo las brácteas la parte que presentó el mayor contenido de RIA. Los valores más altos en ambas muestras correspondieron a las muestras frescas, 85,22 % y 63,13 % para brácteas y tallos respectivamente. La temperatura de secado tuvo una influencia en el porcentaje de RIA obtenido. Para las muestras secas, tanto para las brácteas como para los tallos, los valores de RIA máximos se obtuvieron a 40 °C. El incremento de la temperatura de secado supuso una reducción significativa del contenido de RIA, especialmente en el caso de las brácteas (Figura 7). En el caso de los tallos, dicha reducción se dio hasta los 80 °C, las temperaturas superiores no afectaron significativamente a los valores de RIA obtenidos.

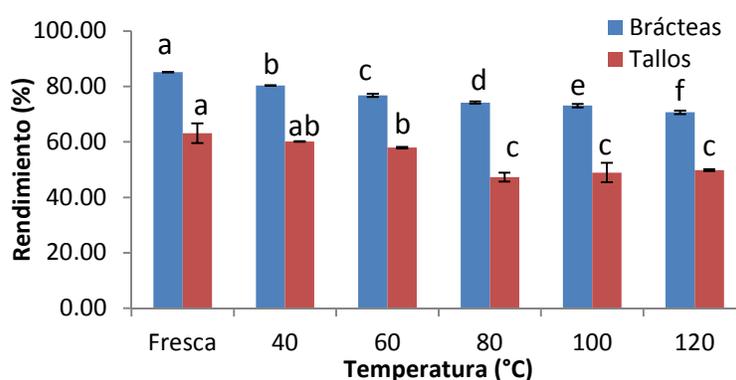


FIGURA 7. Rendimiento de RIA para muestras de brácteas y tallos de alcachofa. *Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo al intervalo LSD ($p < 0.05$)

Con el fin de evaluar las posibles modificaciones producidas por el proceso de secado que afectan la disposición estructural de los polisacáridos de la pared celular, se determinó la capacidad de hinchamiento (CH), la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de adsorción de grasa (CAG) (Figura 8).

Capacidad de hinchamiento (CH): El RIA de las muestras de tallos mostró valores de CH mayores que el de las brácteas. En este último caso, el incremento de la temperatura de secado produjo una disminución significativa ($p < 0,05$) de los valores de CH. En el caso de los tallos, los valores de CH presentaron un ligero aumento a las temperaturas intermedias (Figura 8a).

Capacidad de retención de agua (CRA): Los valores de CRA para los tallos también fueron superiores que para las brácteas a todas las temperaturas ensayadas. El aumento en la temperatura de secado al aire promovió una clara disminución en los valores de CRA (Figura 8b) en ambos casos. Resultados similares fueron encontrados por Garau *et al.* (2007).

Capacidad de retención de grasas (CAG): Para la CAG, de nuevo, los valores obtenidos en RIA de los tallos fue mayor que el de las brácteas para

todas las temperaturas ensayadas. En ambos casos, se observó que la mayor CAG se obtuvo a la temperatura de secado de 60 °C (Figura 8c).

Para ambas muestras, las temperaturas moderadas suponen mayores valores de RIA, para las brácteas también suponen mayores valores de CH, CRA y CAG. Los tallos presentan menores rendimientos de RIA en relación a las brácteas, aunque presentan mejores valores de CH, CRA y CAG; en este caso la influencia de la temperatura es diferente en cada propiedad, aunque los mejores valores se encontraron a temperaturas intermedias (60-80 °C).

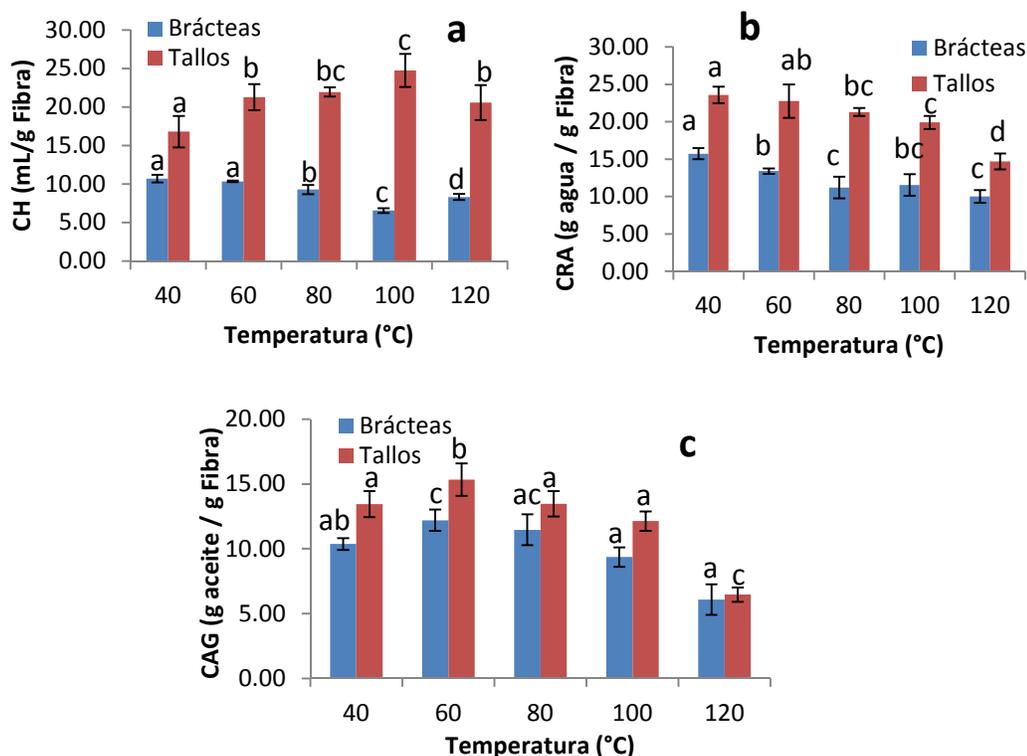


FIGURA 8. Propiedades funcionales de los RIA de brácteas y tallos de alcachofa. (a) CH; (b) CRA; (c) CAG.

*Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo al intervalo LSD ($p < 0.05$)

En cuanto influencia de la aplicación de US, no se observaron diferencias significativas en los valores de CH, CRA y CAG entre muestras tratadas con y sin ultrasonidos.

3.2.2 PROPIEDADES ANTIOXIDANTES

Contenido de fenoles totales (CFT): El CFT para brácteas y tallos frescos fue de $0,034 \pm 0,003$ y $0,48 \pm 0,04$ mg GAE / g m.s. respectivamente. Wang *et al.* (2003) también obtuvieron resultados similares en alcachofas. El secado redujo estos valores significativamente ($p < 0,05$) (Tabla 4). Dicha disminución puede atribuirse a la unión de los compuestos fenólicos con otros compuestos

(proteínas) o a alteraciones en su estructura química. Devic *et al.* (2010) encontraron que el secado continuo a 45 °C hasta bajos contenidos de humedad dio como resultado una mayor degradación de los compuestos fenólicos en tejidos de manzana.

En cuanto a la influencia de la temperatura, en el caso de las brácteas, se observó una menor retención de CFT para las temperaturas de 60, 80, 100 y 120 °C, las cuales no presentan diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$). Por el contrario, en el caso de los tallos, se obtuvo un leve aumento en el contenido de CFT a los 100 y 120 °C. Santacatalina *et al.* (2014) observaron una menor retención de compuestos fenólicos en cubos de manzana deshidratados a -10 °C (65 %) que en secados realizados con muestras sin congelar a 0 y 5 °C (72-74 %). Asimismo, Stawczyk *et al.* (2007) determinaron que el contenido de fenoles totales disminuyó el 28,6 % y el 23,9 % después del secado convectivo de cubos de manzana, pretratados en una solución al 3 % de ácido cítrico, a temperaturas entre -8 y -12 °C, respectivamente. Garau *et al.* (2007) informaron que los tiempos de secado más largos resultaron en una reducción de compuestos fenólicos para los subproductos de naranja.

TABLA 4. Potencial antioxidante de brácteas y tallos de alcachofas frescas y secadas a las diferentes temperaturas.

	Tratamiento	Fenoles Totales (mg GAE / g m.s.)	Vitamina C (mg VC / g m.s.)	Capacidad Antioxidante (mg TROLOX / g m.s.)
Brácteas	Fresca	0,034 ± 0,003 ^a	0,46 ± 0,05 ^a	0,34 ± 0,03 ^a
	SAC40 °C	0,022 ± 0,003 ^b	0,13 ± 0,02 ^b	0,09 ± 0,01 ^b
	SAC60 °C	0,009 ± 0,003 ^c	0,06 ± 0,02 ^c	0,05 ± 0,01 ^c
	SAC80 °C	0,009 ± 0,002 ^c	0,03 ± 0,01 ^d	0,039 ± 0,005 ^d
	SAC100 °C	0,008 ± 0,002 ^c	0,04 ± 0,01 ^d	0,031 ± 0,003 ^d
	SAC120 °C	0,008 ± 0,002 ^c	0,07 ± 0,02 ^c	0,032 ± 0,006 ^d
Tallos	Fresco	0,48 ± 0,04 ^a	2,0 ± 0,1 ^a	0,37 ± 0,03 ^a
	SAC40 °C	0,04 ± 0,01 ^b	0,12 ± 0,05 ^b	0,08 ± 0,02 ^b
	SAC60 °C	0,04 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,02 ^c	0,07 ± 0,02 ^c
	SAC80 °C	0,03 ± 0,01 ^b	0,08 ± 0,03 ^{bc}	0,06 ± 0,02 ^c
	SAC100 °C	0,07 ± 0,01 ^c	0,36 ± 0,06 ^d	0,21 ± 0,02 ^d
	SAC120 °C	0,09 ± 0,01 ^d	0,55 ± 0,06 ^e	0,23 ± 0,02 ^d

* Letras diferentes para cada tipo de muestra muestran diferencias significativas de acuerdo al intervalo LSD ($p < 0,05$).

Capacidad Antioxidante total (CAT): La CAT para brácteas y tallos frescos fue de 0,34 ± 0,03 y 0,37 ± 0,03 mg TROLOX / g m.s. respectivamente. En este caso, el secado también disminuyó significativamente ($p < 0,05$) su valor en relación a las muestras frescas (Tabla 4). La retención de CAT fue significativamente mayor a 40 °C para las brácteas y a 100 y 120 °C para los

tallos. El incremento de la CAT en los tallos pudo deberse a que, durante el proceso de secado, se pudieron generar nuevos compuestos con una elevada actividad antioxidante por reacción entre compuestos existentes (Vega-Gálvez *et al.*, 2012). Santacatalina *et al.* (2014) obtuvieron una reducción del 50 % de la capacidad antioxidante para manzana deshidratada a -10 °C, mientras que Stawczyk *et al.* (2007) encontraron una reducción del 7,8 % para el caso de manzana pretratada con una solución 3 % de ácido cítrico y deshidratada a -12 °C.

Contenido de Vitamina C (VC): El secado disminuyó el VC en todas las condiciones ensayadas (Tabla 4). Esta reducción se podría atribuir a reacciones de oxidación durante el secado. En el caso de las brácteas, la retención de VC fue significativamente menor para las muestras secadas a 80 °C en comparación con las muestras secadas a 40 °C. En cuanto a los tallos, se observa mayores retenciones a 120 °C, una razón probable para esto podría ser el largo tiempo de secado requerido a temperaturas intermedias para alcanzar el contenido de humedad final de $0,13 \pm 0,01$ kg de agua / kg de (m.s.) para las brácteas y de $0,20 \pm 0,01$ kg de agua / kg de (m.s.) para los tallos. La reducción en el contenido de vitamina C durante el secado fue encontrado en pimientos (Di Scala y Crapiste, 2008) o patatas (McLaughlin y Magee, 1998).

En cuanto a la aplicación de US, las experiencias de secado con US presentaron una menor retención de CFT, CAT y VC que las experiencias sin US (Tabla 5). Este comportamiento podría relacionarse con cierto daño estructural que el estrés acústico puede producir en las células, además, esto probablemente se deba a una mayor transferencia de oxígeno a la superficie debida a los efectos de los US en los fenómenos de transporte. Por lo tanto, es necesario estudiar con mayor profundidad la influencia de la aplicación de US sobre los compuestos bioactivos así como en las rutas metabólicas que los producen y/o degradan. Santacatalina *et al.* (2014) obtuvieron resultados similares durante el secado de manzanas.

TABLA 5. Potencial antioxidante de brácteas de alcachofa secadas con y sin US

Tratamiento	Fenoles Totales (mg GAE / g m.s.)	Vitamina C (mg VC / g m.s.)	Capacidad Antioxidante (mg TROLOX / g m.s.)
CON US	$0,013 \pm 0,003^a$	$0,21 \pm 0,06^a$	$0,14 \pm 0,03^a$
SIN US	$0,023 \pm 0,004^b$	$0,31 \pm 0,05^b$	$0,20 \pm 0,02^b$

* Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo al intervalo LSD ($p < 0.05$)

4. CONCLUSIONES

Tanto en el caso de las brácteas como de los tallos de alcachofa, la velocidad de secado se incrementó al aumentar la temperatura de secado. La aplicación de ultrasonidos durante el secado también aceleró significativamente la cinética del proceso.

El modelo difusivo ajustó satisfactoriamente a los datos experimentales, la temperatura afectó significativamente a los valores de difusividad efectiva (D_{eff}). Los tallos mostraron claramente una energía de activación inferior en comparación con las brácteas. La aplicación de ultrasonidos produjo un aumento en los valores de D_{eff} y de k , por lo que redujo tanto la resistencia interna como externa a la transferencia de materia.

Ambos subproductos presentaron cantidades de RIA relativamente importantes, siendo las brácteas la parte que presentó el mayor contenido de RIA. Sin embargo, el RIA de los tallos presentó mayores valores de CH, CRA y CAG a todas las temperaturas ensayadas.

Para las condiciones de secado ensayadas, disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) los valores de CFT, CAT y VC de las muestras secas en relación a las muestras frescas. Las experiencias de secado con US presentaron una menor retención de CFT, CAT y VC que las experiencias sin US.

5. REFERENCIAS

- Akanbi, C.T.; Adeyemi, R.S.; Ojo, A. 2006. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*, **73**:157-163.
- Akpinar, E.K.; Bicer, Y. 2005. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. *International Journal of Food Science and Technology*, **40**:273-281.
- AOAC. *Official method of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International*. 16th edition, 3rd revision, March, 1997
- Araujo, E.A.F., Ribeiro, S.C.A., Azoubel, P.M., Murr F.E.X. 2004. Drying kinetics of nectarine (*Prunus persica*) with and without shrinkage. En: Proceedings of the 14th International Drying Symposium, vol. C, Sao Paulo, Brazil, 2189–2194.
- Benzie, I.F.F.; Strain, J.J. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, **239**:70-79.
- Boulekbache-Makhlouf, L.; Medouni, L.; Medouni-Adar, S.; Arkoub, L.; Madani, K. 2013. Effect of solvents extraction on phenolic content and antioxidant activity of the byproduct of eggplant. *Industrial Crops and Products*, **49**:668-674.
- Cárcel, J.A. 2003. Influencia de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de material. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cárcel, J.A.; García-Pérez, J.V.; Riera, E.; Mulet, A. 2011. Improvement of Convective Drying of Carrot by Applying Power Ultrasound—Influence of Mass Load Density. *Drying Technology*, **29**:174-182.
- Cárcel, J.A.; García-Pérez, J.V.; Benedito, J.; Mulet, A. 2012. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 200-207.
- Ceccarelli, N.; Curadi, M.; Picciarelli, P.; Martelloni, L.; Sbrana, C.; Giovannetti, M. 2010. Globe artichoke as a functional food. *Mediterr J Nutr Metab*, **3**:197-201.
- Devic, E.; Guyot, S.; Daudin, J.; Bonazzi, C. 2010. Kinetics of Polyphenol Losses During Soaking and Drying of Cider Apples. *Food Bioprocess Technol*, **3**:867-877.
- Di Scala, K.; Crapiste, G. 2008. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT - Food Science and Technology*, **41**:789-795.
- FAO [en línea]. FaoStat Database. <http://faostat.fao.org>. [consulta: 20 Julio 2019]
- Femenia, A.; Robertson, J.A.; Waldron, K.W.; Selvendran, R.R. 1998. Cauliflower (*Brassica oleracea* L), Globe Artichoke (*Cynara scolymus*) and Chicory Witloof (*Cichorium intybus*) Processing By-products as Sources of Dietary Fibre. *J Sci Food Agric*, **77**:511-518.

- Gamboa-Santos, J.; Montilla, A.; Cárcel, J.A.; Villamiel, M.; García-Pérez, J.V. 2014. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry *Journal of Food Engineering*, **28**:132-139.
- Gao, X.; Bjork, L.; Trajkovski, V.; Uggla, M. 2000. Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**:2021-2027.
- Garau, M.C.; Simal, S.; Rosselló, C.; Femenia, A. 2007. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, **104**:1014-1024.
- García-Pérez, J.V.; Cárcel, J.A.; de la Fuente-Blanco, S.; Riera-Franco de Sarabia, E. 2006. Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed: Parametric study. *Ultrasonics*, **44**:539-543.
- García-Pérez, J.V., Puig, A.; Pérez-Munuera, I.; Cárcel, J.A.; Riera, E. 2010. Kinetic and microstructural changes induced by power ultrasound application on convective drying of eggplant. *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics*, 23-27.
- Heredia, J.B.; Cisneros-Zevallos, L. 2009. The effect of exogenous ethylene and methyl jasmonate on pal activity, phenolic profiles and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*) under different wounding intensities. *Postharvest Biology and Technology*, **51**:242-249.
- Icier, F. 2010. Ohmic Blanching Effects on Drying of vegetable Byproduct. *Journal of Food Process Engineering*, **33**:661-683.
- Jagota, S.K.; Dani, H.M. 1982. A New Colorimetric Technique for the Estimation of Vitamin C Using Folin Phenol Reagent. *Analytical Biochemistry*, **127**:178-182.
- Lattanzio, V.; Kroon, P.A.; Linsalata, V.; Cardinali, A. 2009. Globe artichoke: A functional food and source of nutraceutical ingredients. *Journal of functional foods*, **1**:131 -144.
- Llorach, R.; Espín, J.C.; Tomas-Barberán, F.A.; Ferreres, F. 2002. Artichoke (*Cynara scolymus* L.) Byproducts as a Potential Source of Health-Promoting Antioxidant Phenolics. *J. Agric. Food Chem*, **50**:3458-3464.
- Martínez Teruel, A.; Sánchez, J.; Megías, M. D.; Barrera, J. A.; Yañez, A.; Ruiperez, F. 1998. Using of forages and byproducts in dairy cows farms of Murcia Region. *Arch. Zootec.*, **47**:33-42.
- McLaughli, C.P.; Magee, T.R.A. 1998. The Determination of Sorption Isotherm and the Isosteric Heats of Sorption for Potatoes. *Journal of Food Engineering*, **35**:267-280.
- Miadokova, E.; Nadova, S.; Vckova, V.; Duhova, V.; Kopaskova, M.; Cipak, L.; Rauko, P.; Mucaji, P.; Grancai, D. 2008. Antigenotoxic Effect of Extract from *Cynara cardunculus* L. *Phytotherapy Research*, **22**:77 -81.
- Mulet, A.; Cárcel, J.A.; Sanjuám, N.; Bon, J. 2003. New Food Drying Technologies – Use of Ultrasound. *Food Science and Technology International*, **9**(3):215-221.
- Mulet, A., Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V., Riera, E. 2011, Ultrasound-Assisted Hot Air Drying Foods. En: Gustavo G.V. Barbosa-Canovas y Hao-Feng (Eds.) *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, **1**:511-534.
- Ortuño, C.; Pérez-Munuera, I.; Puig, A.; Riera, E.; Garcia-Perez, J.V. 2010. Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Physica Procedia*, **3**:153-159.
- Riera, E., García-Pérez, J.V., Cárcel, J.A., Acosta, V., Gallego-Juárez, J.A. 2011, Computational study of ultrasound-assisted drying of food materials. En: Knoerzer, K., Juliano, P., Roupas, P., Versteeg, C. (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies: Advances in Multiphysics Simulation*. IFT Press and John Wiley & Sons Ltd.
- Sandoval-Castro, C.J.; Valdez-Morales, M.; Oomah, B.D.; Gutiérrez-Dorado, R.; Medina-Godoy, S.; Espinosa-Alonso, L.G. 2017. Bioactive compounds and antioxidant activity in scalded Jalapeño pepper industrial byproduct (*Capsicum annuum*). *J Food Sci Technol*, **2**:624-636
- Santacatalina, J.V.; Rodríguez, O.; Simal, S.; Cárcel, J.A.; Mulet, A.; García-Pérez, J.V. 2014. Ultrasonically enhanced low-temperature drying of apple: Influence on drying kinetics and antioxidant potential. *Journal of Food Engineering*, **138**:35-44.

- Srikiatden, J.; Roberts, J.S. 2007. Moisture Transfer in Solid Food Materials: A Review of Mechanisms, Models, and Measurements. *International Journal of Food Properties*, **10(4)**:739-777.
- Stawczyk, J.; Li, S.; Witrowa-Rajchert, D.; Fabisiak, A. 2007. Kinetics of atmospheric freeze-drying of apple. *Transport in Porous Media*, **66(1-2)**:159-172.
- Váquiro Herrera, H.A. 2009. Contribución al Estudio y Optimización del Secado Intermitente: aplicación al secado de mango (*Mangifera indica* L var. Tommy Atkins). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Vega-Galvez, A.; Ah-Hen, C.; Chacana, M.; Vergara, J.; Martínez-Monzó, J.; García-Segovia, P.; Lemus-Mondaca, R.; Di Scala, K. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of Apple (var. *Granny Smith*) slices. *Food Chemistry*, **132**:51-59.
- Wang, M.; Simon, J.E.; Aviles, I.F.; He, K.; Zheng, Q.; Tadmor, Y. 2003. Analysis of Antioxidative Phenolic Compounds in Artichoke (*Cynara scolymus* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 51:601-608.
- Zogzas, N.P.; Maroulis, Z.B.; Marinos-Kouris, D. 1996. Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs. *Drying Technology*, **14(10)**:2225-2253.