



7^{mo}
Congreso de
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

APLICACIÓN DE ENERGÍA SOLAR COMBINADA CON MICROONDAS PARA LA DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS Y VEGETALES

**Application of solar energy combined with microwaves for fruits and vegetables
dehydration**

Laura Analía Campañone ^(1,2), María Mackeprang ⁽¹⁾, Carlos Alejandro Paola ⁽³⁾

(1) CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos), (CONICET
La Plata –UNLP). Calle 47 y 116, La Plata (1900), Argentina

(2) Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UNLP, Argentina

(3) Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

e-mail: lacampa@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: métodos combinados, manzanas, espinacas

Keywords: combined methods, apples, spinach

Título abreviado: Aplicación de Energía Solar combinada con Microondas

ABSTRACT

The research in dehydration by combined methods allows obtain new results in the scientific field and industrial level, given a high value to zones with poor technologic development and inexhaustible solar energy provision.

The following objectives were proposed for the present work:

-To study the mass and energy transfer in solar (DS) and microwave (DM) dehydration processes, taking into account the influence of the process conditions on the temperature and product weight along the time.

-To determine the influence of the conditions and process time on the change of the quality properties of the selected products (apples and spinaches).

-To select a convenient combination according to the final quality of the products and the operation costs.

The assays were done in a prototype box equipment and in a microwave commercial oven employing intermittent power cycles: 10%, 30% y 50%.

From economical point of view, the more convenient process was solar dehydration DS, it involves an initial investment and there are no costs jointed to the production.

From process time-quality-costs point of view, the more favourable processes are DS, DS-DM at low power and DM only at low power, besides for spinaches, the time-cost formula gives DS as the process more convenient.

RESUMEN

La investigación en la temática de deshidratación por métodos combinados permite obtener resultados novedosos en el ámbito científico y a nivel industrial, valorizando las producciones en lugares con poco desarrollo tecnológico y que tienen una inagotable provisión de energía solar.

En este trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

- Estudiar la transferencia de energía y materia en los procesos de deshidratación solar (DS) y microondas (DM), determinando la influencia de las condiciones de proceso sobre la variación de la temperatura y del peso del producto en el tiempo.
- Determinar la influencia de las condiciones y de la duración del proceso sobre la variación de índices de calidad del producto estudiado (manzanas y espinacas).
- Seleccionar una combinación conveniente de acuerdo a la calidad final del producto obtenido y de los costos de operación.

Para los ensayos se empleó un equipo tipo cajón y un equipo microondas comercial empleando distintos ciclos de potencia intermitente: 10%, 30% y 50%.

Desde el punto de vista de los *costos* el proceso más conveniente resultó el método DS debido a que involucra solamente una inversión inicial y no existen gastos asociados a la producción. Desde el punto de vista *tiempos de proceso-calidad-costos* los procesos más favorables son DS, DS-DM a bajas potencias y DM sólo a bajas potencias, mientras que para espinacas, en la fórmula tiempo-costo, el proceso más conveniente es DS.

INTRODUCCIÓN

La premisa fundamental de cualquier proceso tecnológico moderno de deshidratación de productos es conseguir un producto final de máxima calidad microbiológica, nutricional y organoléptica, y al menor costo posible energético. Los consumidores en general prefieren productos deshidratados naturalmente, libres de saborizantes y aditivos químicos. Para ello se aplican varias técnicas entre las que se incluyen secado por aire caliente, secado al aire libre, deshidratadores solares y

microondas, entre otros. En el caso de deshidratación por aire caliente, es conocido su efecto negativo sobre la textura y el color, además de su alto costo energético involucrado en el movimiento del aire caliente. Para disminuir dichos costos, en zonas con gran disposición solar durante el año y baja humedad relativa, se pueden deshidratar productos por exposición directa al sol; esta técnica tiene algunas desventajas como su largo tiempo de procesamiento y posibilidad de contaminación microbiana. Debido a estos motivos, se introducen los secaderos solares en los cuales se encuentran mejor controladas las condiciones higiénicas de trabajo y disminuye la posibilidad de contaminación. Para disminuir los tiempos de proceso, la aplicación del tratamiento de deshidratación por microondas es muy eficiente; la radiación interactúa en el interior del alimento con las moléculas de agua principalmente, generando un aumento de presión interior, constituyendo una fuerza impulsora para la pérdida de humedad.

Una temática muy importante y poco abordada en el ámbito científico es la combinación de las microondas con la deshidratación solar (DS) a fin de procesar productos fruti-hortícolas. La deshidratación por microondas (DM) es aplicada como único proceso o combinado con otros métodos de secado convencionales, tales como secado convectivo por aire caliente, deshidratación osmótica o secado solar (Arballo *et al.*, 2010; Campañone & Zaritzky, 2009; Campañone *et al.*, 2010).

Con respecto al empleo de energía solar en la deshidratación de alimentos, existen trabajos científicos recientemente publicados en los cuales se evalúa la posibilidad de

deshidratar frutas y hortalizas (Chemkhi *et al.*, 2004; Romano *et al.*, 2009; Arslan & Oscan, 2010). Respecto del uso de hornos-secaderos solares para secado combinado con microondas, no se conocen antecedentes científicos sobre el tema.

De acuerdo a lo dicho, los objetivos del presente trabajo incluyen:

- Estudiar la transferencia de energía y materia en los procesos de deshidratación solar (DS) y microondas (DM), determinando la influencia de las condiciones de proceso sobre la variación de la temperatura y del peso del producto en el tiempo.
- Determinar la influencia de las condiciones y de la duración del proceso sobre la variación de índices de calidad del producto estudiado (manzanas y espinacas).
- Seleccionar una combinación conveniente de acuerdo a la calidad final del producto obtenido y de los costos de operación.

METODOLOGÍA

Proceso de deshidratación

En este trabajo, se seleccionaron dos procesos de deshidratación (solar y microondas) y su combinación. Para la deshidratación solar se empleó un equipo tipo cajón de (60cm x 40 cm x 15 cm), el cual funciona como caja negra. El mismo se encuentra revestido por una caja de vidrio que permite la retención de la radiación infrarroja. Dicho equipo

fue colocado en la ciudad de La Plata cuya coordenadas geográficas de los puntos extremos son: 34° 50' y 35° 30' S, 57° 45' y 58° 20' O, a 9.87 m sobre el nivel del mar. El equipo fue orientado hacia el norte y expuesto a la luz solar para el proceso de deshidratación.

Muestras de manzanas (variedad Red Delicious) compradas en el mercado local, se pelaron manualmente y se cortaron en forma de rodajas de 1cm. Las muestras fueron colocadas en el interior del horno y sometidas a la deshidratación en jornadas de 8 horas. Al terminar la jornada de deshidratación, las muestras se almacenaron en bolsas herméticas debidamente rotuladas, refrigeradas a 4°C hasta el día siguiente.

La deshidratación por microondas se realizó en un equipo comercial (BGH, potencia máxima nominal 1000 W, frecuencia 2450 MHz), empleando distintos ciclos de potencia intermitente: 10%, 30% y 50%. Las muestras se colocaron dentro del horno en un soporte plástico, transparente a la radiación, que permitió la incidencia por ambas caras.

A su vez, se trabajó con la combinación solar-microondas. Muestras de rodajas de manzanas se colocaron en el horno solar durante una jornada (8 horas) y la humedad residual se eliminó empleando microondas en las distintas potencias.

En el caso de espinacas se aplicaron las técnicas individualmente; las hojas se colocaron en el interior de horno solar y microondas durante el tiempo necesario para

alcanzar la humedad deseada: 3 horas y 8-65 minutos dependiendo del nivel de potencia empleado.

Los experimentos realizados en manzanas y espinacas se realizaron hasta alcanzar un valor de humedad final de 15% y 5% respectivamente

Determinación de Peso y Temperatura

Durante los experimentos de deshidratación se registraron la temperatura y el peso de las muestras. En el caso de DS, la temperatura ambiente, la temperatura en el interior del horno y en el interior del producto se registraron cada dos horas mediante termocuplas tipo “T” Cu-Ct asociadas a un adquisidor de datos (Keithley, USA). El peso de las rodajas de manzanas se registró individualmente cada dos horas con una balanza granataria (Dever Instrument XE-4100, USA) y el de las hojas de espinaca cada una hora con balanza analítica (Mettler Toledo AB204, Suiza). La humedad relativa del ambiente se registró en función del tiempo con un higrómetro (Testo 125-H2, Alemania).

La medida de temperaturas durante la DM se realizó empleando un sensor óptico (Fiso Technol., Canadá) debido a la interacción de las termocuplas metálicas tipo “T” con las microondas.

Determinación de Humedad

La humedad se determinó midiendo la pérdida de peso que sufren las muestras, por evaporación de agua, según método de determinación de humedad A.O.A.C (2000).

Para el ensayo se colocaron 6 muestras en una estufa de secado a 70 °C hasta peso constante. Una vez retiradas las cápsulas de la estufa, se pesó y se determinó la cantidad de agua evaporada calculando la pérdida de peso.

El contenido de humedad porcentual se calculó según:

$$H(\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100 \quad (1)$$

donde P_i es el peso inicial de la muestra, P_f el peso final de la muestra y H (%) es el contenido porcentual de humedad.

Determinación de parámetros de calidad sensorial

Determinación del Color

Se evaluó el color de las muestras frescas, así como también el color de las procesadas, empleando un colorímetro Minolta CR-300. Los parámetros que se obtuvieron son los definidos por la CIE (Commission International de l'Eclairage): luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*), amarillamiento (b^*) y se calculó la diferencia total de color (ΔE^*) definido como la diferencia entre el color de la muestra y el color de la muestra estándar (fresca):

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

Las muestras se procesaron por triplicado.

Determinación de Textura

Para este ensayo se utilizó el equipo TA.XT2i – Stable Micro Systems. El ensayo consiste en dos compresiones sucesivas a partir de los cuales se obtiene valores de fuerza en función del tiempo. Los parámetros utilizados en este ensayo para todas las muestras son los siguientes: velocidad de pre-ensayo 2 mm/s, velocidad de ensayo 0.5 mm/s, velocidad de post-ensayo 2 mm/s, distancia-ruptura 20%, distancia de compresión 40%.

A partir de las áreas y picos que presentan las curvas obtenidas (Figura 1) se determinaron los siguientes parámetros:

- Tensión máxima (F1): Se define físicamente como la fuerza máxima ejercida sobre la muestra. Este parámetro permite determinar la dureza de la muestra.
- Cohesividad (A2/A1): Representa el grado de deformación de la muestra después de la ruptura. Se calcula a través de la relación entre las áreas.
- Adhesividad (A3): Se define físicamente como la fuerza requerida para remover el material adherido al plato de compresión del equipo utilizado durante el ensayo.
- Consistencia (A₂ +A₁): Representa la resistencia del producto a dos ciclos de compresión. Se obtiene sumando las áreas que presentan los perfiles de textura.

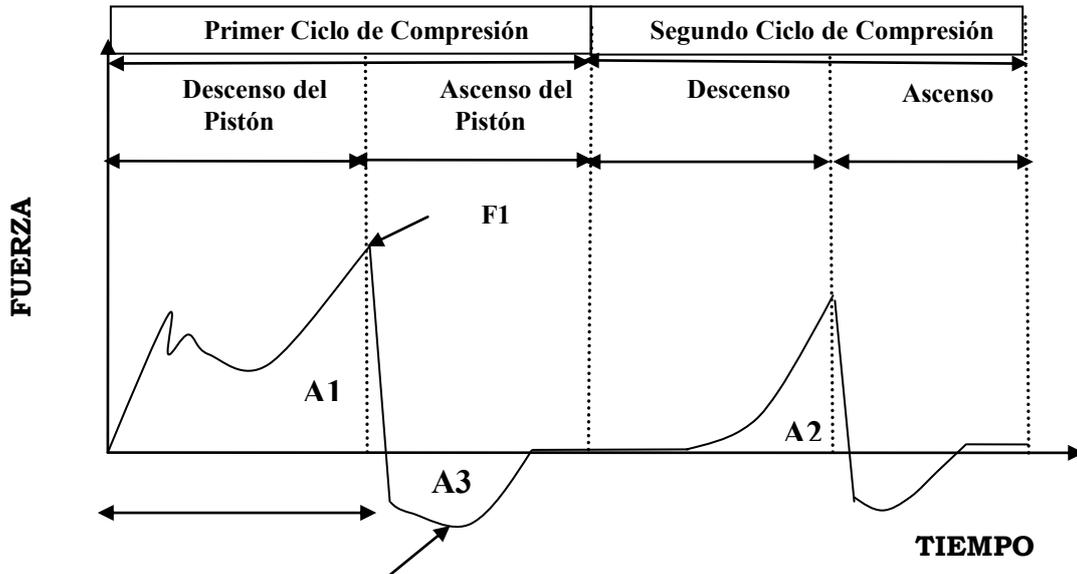


Figura 1. Gráfico representativo de los perfiles de textura obtenidos a partir del ensayo de compresión

Figure 1. Representative graph of texture profiles obtained by compression assays.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos a partir de los diferentes ensayos se analizaron empleando el software SYSTAT 10. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de un test de comparaciones múltiples (Test de Tukey). La significancia de las diferencias fue definida con $p < 0.05$.

RESULTADOS

Historias térmicas

Durante los ensayos de deshidratación se obtuvieron los tiempos para los cuales las muestras de manzanas llegaron a una humedad final de 15% y se determinó la máxima temperatura alcanzada en el interior del producto para cada método utilizado. Estos valores se presentan en la Tabla 1.

Método	Tiempo de deshidratación (min)	T máx (°C)
Solar	1200	57.6
Mw10%	170	82.3
Mw30%	31.5	123.26
Mw50%	22.5	129.48
Solar + Mw10%	480(solar)+50(mw)	45.7(solar)/106.86
Solar + Mw30%	480(solar)+25(mw)	45.7(solar)/117.92
Solar + Mw50%	480(solar)+10(mw)	45.7(solar)/121.06

Tabla 1. Tiempos de deshidratación (min) y temperaturas máximas (°C) alcanzadas según el método de deshidratación.

Table 1. Dehydration time (min) and maximum values of temperature according to the selected method

A partir de los resultados, se observa que existe una relación inversa entre el tiempo de proceso y la temperatura máxima alcanzada en los ensayos. Se puede ver que la menor temperatura alcanzada del producto fue para el método solar con 57.6°C y con 45.7°C durante la aplicación de energía solar en el método combinado. Esta diferencia se debe a las condiciones ambientales en el momento del ensayo. El tiempo requerido para la deshidratación para la menor temperatura de producto fue de 1200 minutos o 20hs.

Con respecto a las muestras deshidratadas por microondas, se observa una reducción significativa en el tiempo de proceso, pero el producto alcanza una mayor temperatura. A su vez hubo diferencias según la potencia utilizada; mayor temperatura y menor tiempo cuando aumenta el porcentaje de potencia. Lo mismo ocurre en caso de los métodos combinados.

En el caso de espinacas, sólo se determinó el tiempo requerido para alcanzar la humedad final deseada, el proceso más lento fue el método de deshidratación solar (Tabla 2). También se observó que a medida que aumenta la potencia de microondas, el tiempo en el cual el producto alcanza la humedad deseada disminuye, al igual que en el caso de manzanas. Alibas Ozkan *et al.*, (2007) encontraron resultados similares en espinacas deshidratadas en microondas bajo diferentes potencias (entre 90 y 1000 W).

Método	Tiempo de proceso (min)
<i>Solar</i>	180
<i>Mw10%</i>	65
<i>Mw30%</i>	15
<i>Mw50%</i>	8

Tabla 2. Tiempos de deshidratación para espinacas.

Table 2. Dehydration time for spinaches.

Se puede observar a partir de la Tabla 2 que el tiempo de deshidratación para las microondas (10, 30 y 50 %) se redujo con respecto al método solar, en un 63.9, 91.6 y 95.6% respectivamente. Resultados similares fueron reportados por otros autores (Soysal, 2004).

Cinéticas de Pérdida de Peso

En las Figuras 2, 3 y 4 se presentan los resultados de la pérdida de peso de las manzanas de acuerdo al método empleado.

Como se puede ver en los gráficos, las curvas de pérdida de peso de las rodajas de manzanas están directamente relacionadas con el tiempo y temperatura de exposición. En los gráficos de pérdida de peso (PP) se observó que las muestras deshidratadas con

el método solar tardan más tiempo en llegar a una pérdida de peso del 80-85%, mientras que las muestras que menos tardaron fueron las deshidratadas por microondas. Por otro lado, la combinación de ambos métodos (DS + DM) disminuye el tiempo de deshidratación (humedad final 80-85%) a casi la mitad (508,3 minutos) del tiempo necesario para llegar a tal humedad por el método solar (1200 minutos).

La velocidad de pérdida de peso fue mayor para las muestras deshidratadas con microondas al 50% de potencia y menor para las procesadas en el horno solar.

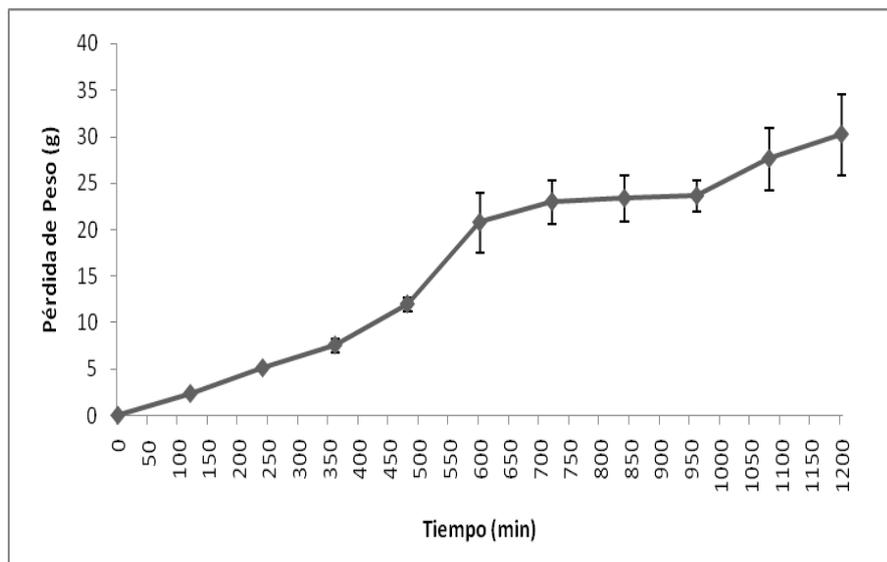


Figura 2. Pérdida de peso de manzanas durante la deshidratación en horno solar

Figure 2. Weight loss of apples during solar dehydration

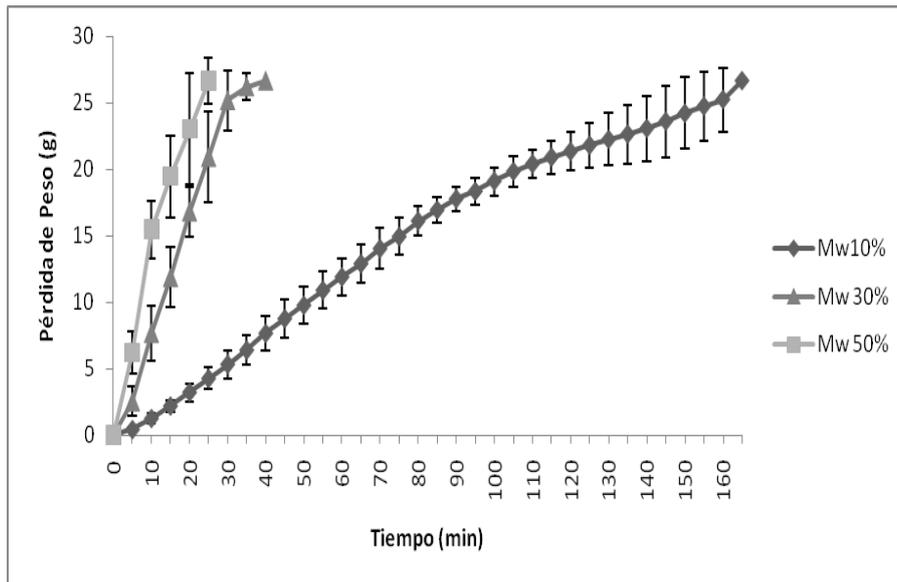


Figura 3. Pérdida de peso de manzanas durante la deshidratación por microondas.

Figure 3. Weight loss of apples during microwave dehydration.

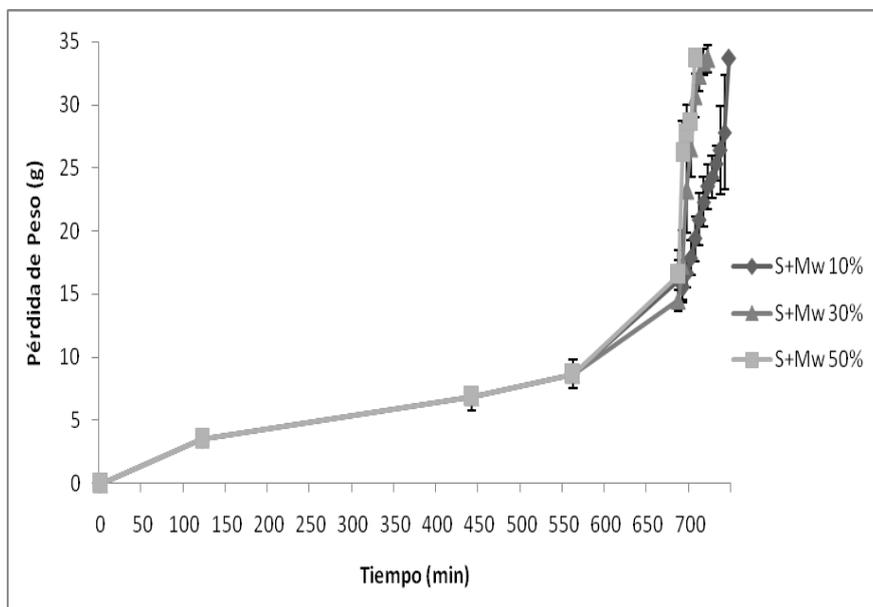


Figura 4. Pérdida de peso de manzanas durante la deshidratación por métodos combinados: solar + microondas a las distintas potencias (10%, 30% y 50 %)

Figure 4. Weight loss of apples during combined dehydration: solar+microwaves at several power levels (10%, 30% y 50 %)

En la Figura 5, se presentan las curvas de pérdida de peso correspondientes a los diferentes métodos de deshidratación aplicados a espinacas.

Como se puede ver, las curvas de pérdida de peso de las hojas de espinacas están directamente relacionadas con el tiempo y temperatura de exposición.

Según informaron Alibas Ozkan *et al.* (2007), el tiempo de deshidratación de vegetales de hoja se reduce notablemente con el aumento de la potencia del microondas. Alibas Ozkan *et al.* (2007) obtuvieron un tiempo requerido para disminuir el contenido de humedad de espinaca desde 9.01 hasta 0.1 (base seca) de 290 y 4005 segundos dependiendo del nivel de potencia.

Las muestras deshidratadas con el método solar tardan más tiempo en llegar a una pérdida de peso de 90-95%. El uso de microondas, reduce hasta un 95.5% el tiempo de deshidratación según la potencia empleada. Cuanto mayor es la potencia utilizada, la velocidad de pérdida de peso aumenta.

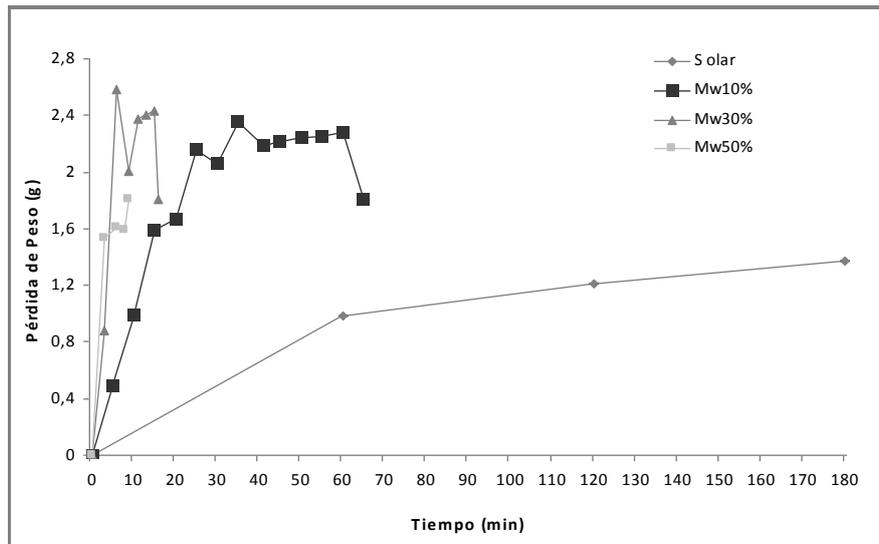


Figura 5. Pérdida de peso (g) de hojas de espinaca deshidratada por diferentes métodos.

Figure 5. Weight loss of spinaches dehydrated by different methods.

Color

Los parámetros de color obtenidos en las muestras de manzanas procesadas se presentan en las Figuras 6, 7, 8 y 9. En las mismas, la nomenclatura de las leyendas comparten el siguiente significado: MW10: potencia 10%, MW30: potencia 30%, MW50: potencia 50%, S+Mw proceso combinado de deshidratación solar y microondas.

En la Figura 6 se muestran los resultados de la luminosidad de las muestras. No se observan diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en este parámetro para los diferentes métodos aplicados. Con respecto al parámetro de color a^* , no se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos de deshidratación, pero si se

observa un cambio de valor entre las muestras frescas y las deshidratadas por cualquiera de los tratamientos empleados ($p < 0.05$).

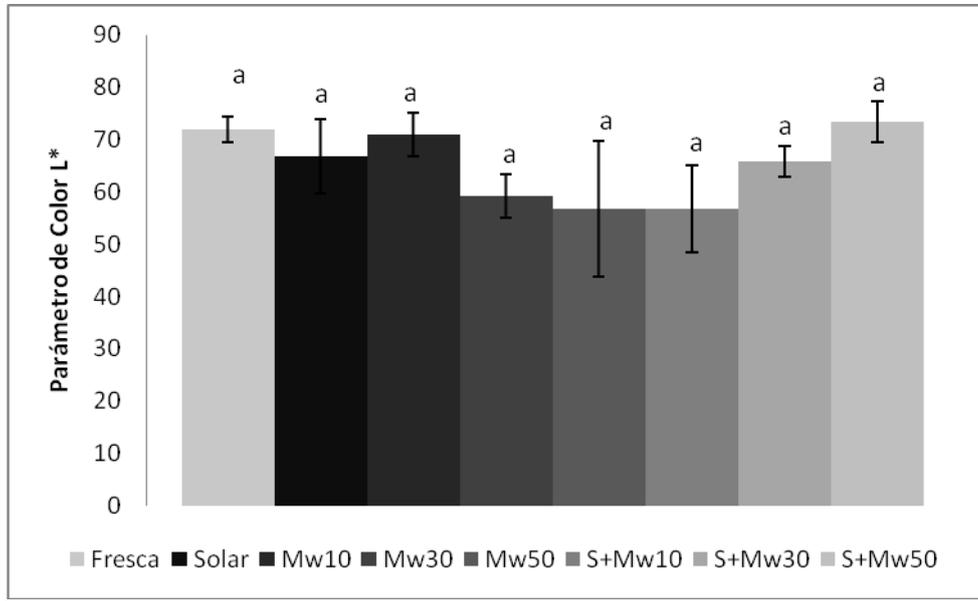


Figura 6. Valores del parámetro de color L* (luminosidad) de manzanas deshidratadas por diferentes métodos.

Figure 6. Luminosity parameter L* of dried apples processed by different methods

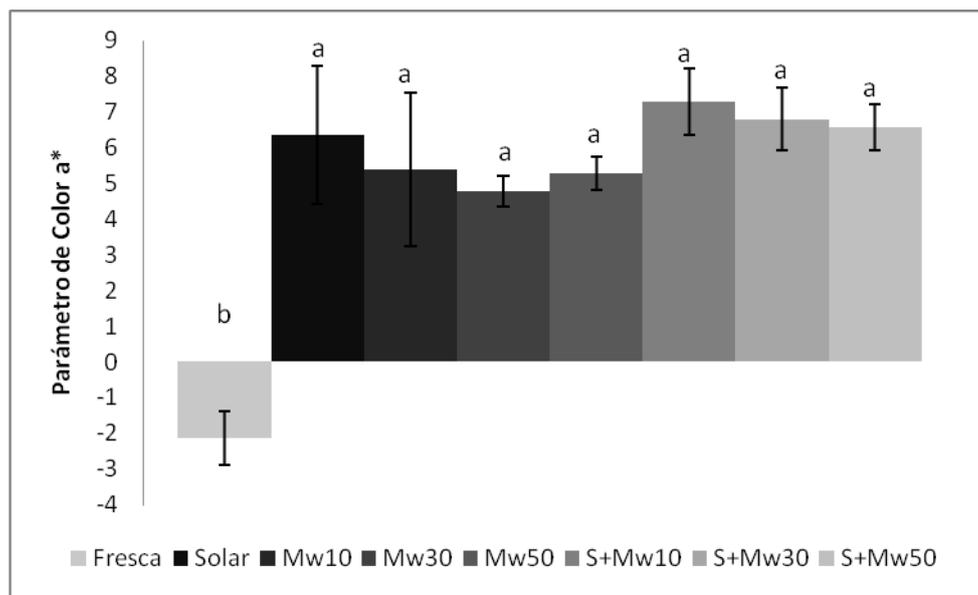


Figura 7. Valores del parámetro de color a^* de manzanas deshidratadas por diferentes métodos.

Figure 7. Values of a^* parameter of dried apples processed by different methods

En la Figura 8 se muestran los resultados del parámetro de color b^* . Se observan diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. Entre las muestras frescas y las deshidratadas con método solar no existen diferencias significativas, indicando que este método resulta favorable para la conservación del color de las muestras.

Cuando se compara el parámetro b^* de las muestras deshidratadas con método solar con respecto a DM, no se encontraron diferencias significativas entre el DS y DM empleando una potencia del 10%, esto implica que se puede emplear una potencia baja de radiación sin perjudicar el color de las muestras. Si existen diferencias entre DS y microondas al 30 y 50%, una mayor potencia provoca mayores cambios en este parámetro.

Cuando se comparó el parámetro b^* de las manzanas deshidratadas con el método solar con respecto al método combinado, no se encontraron diferencias significativas. Esto implica que se puede emplear microondas con potencias altas si las muestras de manzanas fueron pretratadas en el horno solar, esto se debe fundamentalmente, a que en el proceso combinado el tiempo de exposición a la radiación es menor, debido a la reducción de la humedad con un método no dañino y suave como es el tratamiento en el horno solar.

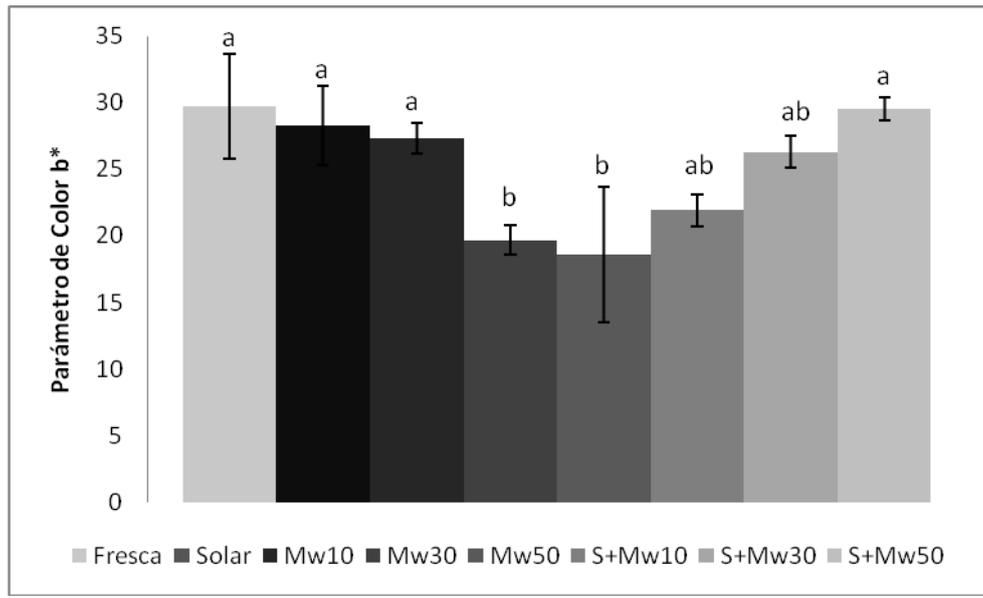


Figura 8. Valores del parámetro de color b* de manzanas deshidratadas por diferentes métodos.

Figure 8. Values of b* parameter of dried apples processed by different methods.

Por último, en la Figura 9 se muestran los cálculos realizados de cambio de color total (ΔE^*) de acuerdo a la ecuación. (2). Se encontraron diferencias significativas entre las muestras deshidratadas con los diferentes métodos ($p < 0.05$).

El cambio total de color para el método por microondas fue mayor para la potencia 50%, correspondiéndose con los resultados observados en el parámetro b*. El valor de cambio de color es significativamente diferente a las muestras que recibieron 30 y 10% de potencia. Se observa que el mayor cambio total de color fue para mw50%, debido a que es el método más agresivo.

De acuerdo a los resultados de color obtenidos para manzanas, los métodos más adecuados son la deshidratación solar, microondas a potencia baja o métodos combinados.

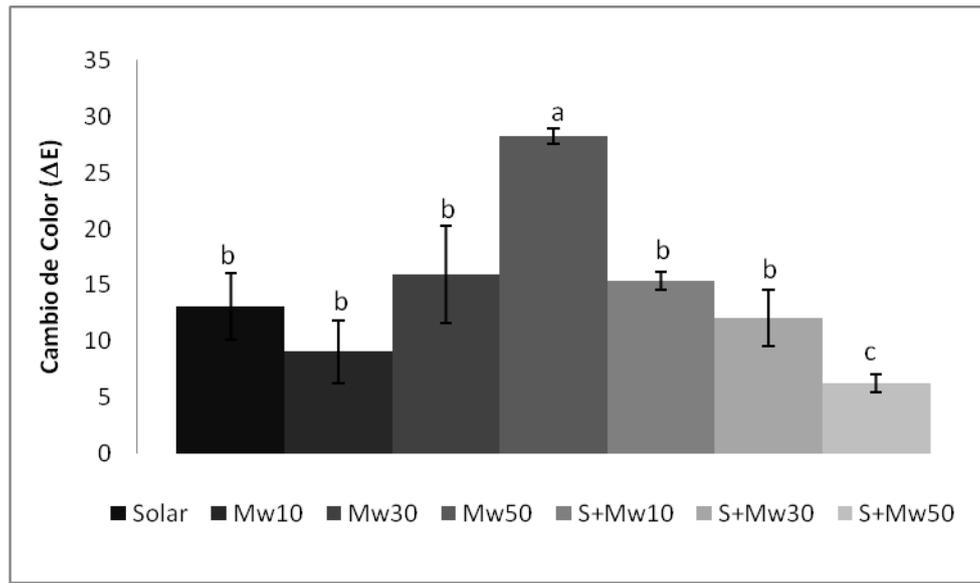


Figura 9. Cambio total de color (ΔE^*) de manzanas deshidratadas por diferentes métodos.

Figure 9. Change of color (ΔE^*) of dried apples processed by different methods

Con respecto a los resultados encontrados en espinacas, los parámetros de color no presentan diferencias significativas de acuerdo al método aplicado.

Como se puede observar el comportamiento del parámetro color es distinto para manzanas y para espinacas, para las últimas no existe inconveniente en la aplicación de altas potencias. Esto se debe fundamentalmente a la diferente composición química de ambos productos.

Textura

En primer lugar, se analizaron los parámetros de textura de las manzanas procesadas por diferentes métodos. Con respecto la fuerza máxima o dureza se observa que el empleo de una potencia de 30% provoca muestras con mayor valor tanto en el método individual como en el proceso combinado (Figura 10).

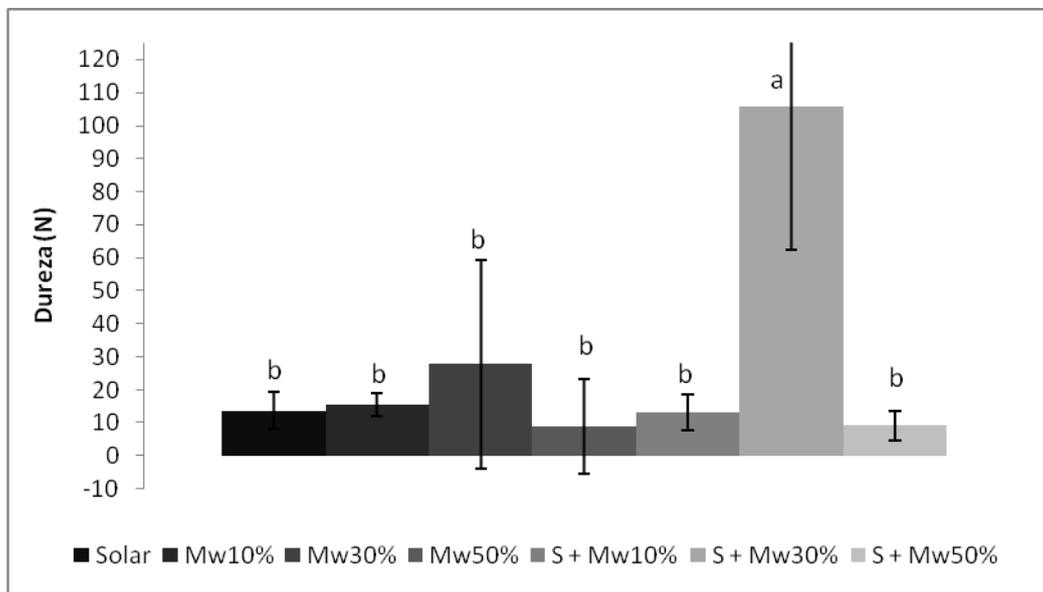


Figura 10. Valores de Dureza (N) para manzanas deshidratadas por diferentes métodos

Figure 10. Firmness (N) values of dried apples processed by different methods

Los resultados del parámetro cohesividad se muestran en la Figura 11. Se puede observar que las muestras que fueron sometidas a procesos más suaves (solar, mw 10 y s+ mw 10) esto es, deshidratadas con procesos más lentos, tienen mayor valor de cohesividad esto implica una relación de áreas en los perfiles de textura mayor, lo cual indica a una mayor capacidad de recuperación durante los procesos de compresión.

Con respecto a los parámetros de consistencia y adhesividad no se observan diferencias significativas entre los métodos de deshidratación empleados.

De acuerdo a los parámetros de textura, los métodos más adecuados son el tratamiento solar y microondas a baja potencia. En particular, el empleo de altas potencias como 30% debería ser evitado, ya que provoca muestras duras y con pobre respuesta de recuperación en la compresión.

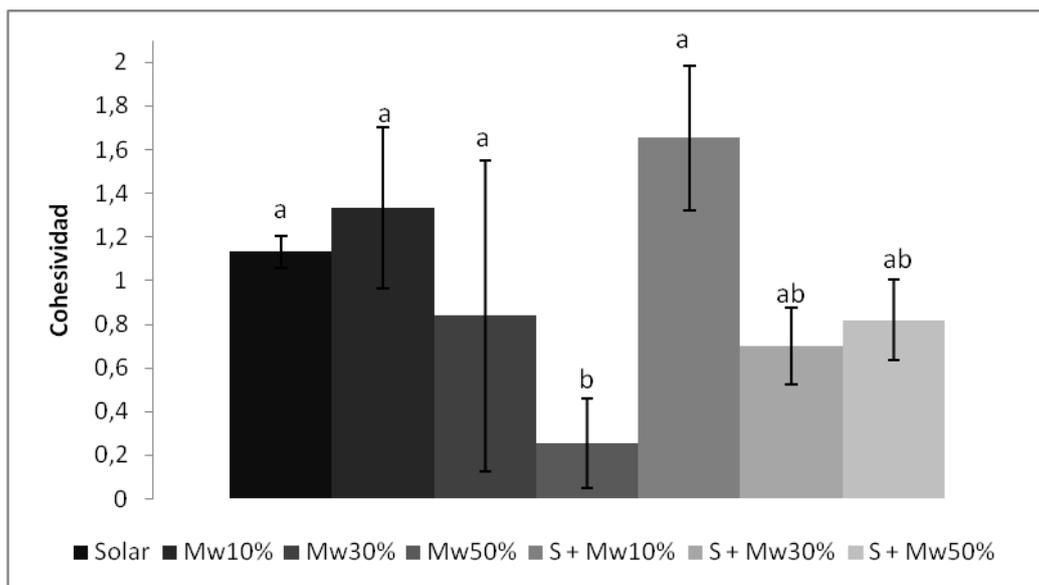


Figura 11. Valores de cohesividad de manzanas deshidratadas por diferentes métodos

Figure 11. Cohesivity values of dried apples processed by different methods

En la Figura 12 se observan los valores de dureza obtenidos en los ensayos de punción realizados en espinacas. Se observa que el empleo del microondas en cualquiera de sus potencias genera valores de fuerza aplicada a la hoja significativamente más altos que

los que se obtienen con el método solar. La textura que más se asemeja a la de una hoja de espinaca fresca es la DS.

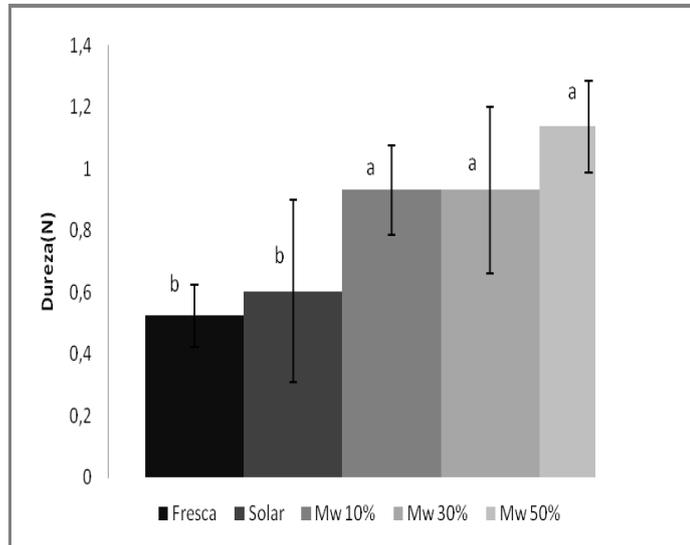


Figura 12. Valores de dureza (N) de espinacas deshidratadas por diferentes métodos.

Figure 12. Firmness values (N) of spinaches dried by different methods

Análisis económico

Se calcularon los costos considerando la energía necesaria para la obtención del producto deshidratado empleando las distintas técnicas.

La base de cálculo considerada fue de 1h y 1000 W. Teniendo en cuenta que el cargo variable por energía es de 0.083 \$/KW.h (www.edelap.com.ar, 2011)

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los costos según el proceso de deshidratación empleado.

METODO	Costo de inversión	Costo variable	
SOLAR	Equipo (\$600)	Consumo de energía (W/h) = 0	
		Manzanas	Espinacas
		10% = \$0.235	10% = \$0.0896
MICROONDAS	Equipo (\$750)	30% = \$0.044	30% = \$0.0207
		50% = \$0.0311	50% = \$0.0107
	Equipos	Manzanas	
S+MW	(\$600+\$750=\$1350)	S+10% = \$0.0689	
		S+30% = \$0.035	
		S+50% = \$0.0133	

Tabla 3. Costos de proceso de deshidratación de manzanas y espinacas según los distintos métodos estudiados (año 2011).

Table 3. Costs of the dehydration processes of apples and spinaches by the different methods studied (2011 year).

Se observa que a medida que aumenta la potencia empleada disminuye el costo energético debido a la reducción de los tiempos de proceso.

También cabe destacar que la técnica DS sólo implica gastos de inversión. Para la realización de un estudio económico completo se necesitaría conocer la cantidad de producción, costos de mano de obra, entre otros, lo cual excede el alcance del presente trabajo.

CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

-Se logró estudiar práctica y teóricamente la transferencia de energía y materia, determinando la influencia de las condiciones de proceso sobre la variación de la temperatura y el peso del producto.

-Se vincularon las historias térmicas y las cinéticas de variación de índices de calidad para optimizar los procesos con productos de una mejor calidad final compatible con condiciones de operación y costos tecnológicamente accesibles.

-Se observó que el aumento de la temperatura de las manzanas es más brusco en el caso de DM y el producto experimenta una temperatura mayor que en DS lo cual puede deberse a la diferencia en los mecanismos puestos en juego.

-A medida que aumenta la potencia de microondas, el tiempo en el cual los productos alcanzan la humedad deseada disminuye. Los resultados indican que cuanto más

agresivo es el método, mayor temperatura alcanza el producto y menor es el tiempo en el cual llega a la humedad final deseada.

-Se observó que tanto en manzanas como en espinacas, la mayor velocidad de pérdida de peso fue para las muestras deshidratadas con microondas al 50% de potencia y la menor para las procesadas en el horno solar. Se puede decir que la potencia de microondas tiene un importante efecto en la velocidad de deshidratación, la cual aumenta con el incremento de la potencia.

-En la evaluación de la calidad de los productos obtenidos en los procesos individuales y combinados, se observó que el comportamiento de los parámetros de color son distintos para manzanas y para espinacas. Para las últimas no existe inconveniente en la aplicación de altas potencias debido fundamentalmente a la composición de ambos productos.

-En manzanas, de acuerdo a los parámetros de textura, los métodos más adecuados son el DS y DM a baja potencia. En particular, el empleo de altas potencias como 30% debería ser evitado, ya que provoca muestras duras y con pobre respuesta de recuperación en la compresión. En espinacas, en cambio, se observa que la textura que más se asemeja a la de una hoja de espinaca fresca es la DS.

-Desde el punto de vista de los costos el proceso más conveniente es el método de deshidratación solar debido a que involucra solamente una inversión inicial y no existen gastos asociados a la producción.

-Finalmente para manzanas desde el punto de vista tiempos de proceso-calidad-costos los procesos más favorables son DS, DS-DM a bajas potencias y DM sólo a bajas potencias, mientras que para espinacas, no mostrando gran sensibilidad en los

parámetros de calidad a las diferentes condiciones de proceso, en la fórmula tiempo-costo, el proceso más conveniente es DS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arballo JR, Campañone LA & Mascheroni RH. 2010. Modeling of Microwave Drying of Fruits. *Drying Technology*, 28: 1178
- Alibas Okzan I, Akbudak B & Akbudak N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78: 577
- Arslan D & Ozcan MM. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*, 43: 1121
- Campañone LA & Zaritzky NE. 2009. Mathematical modeling and simulation of microwave thawing of large solid foods under different operating conditions. *Food and Bioprocess Technology*, DOI 10.1007/s11947-009-0249-0, on line.
- Campañone LA, Paola CA & Mascheroni RH. 2010. Modelling and simulation of heat and mass transfer during the heating of foods in microwave ovens under different heating schedules. *Food and Bioprocess Technology*, on line.
- Chemkhi S, Zagrouba F & Bellagi A. 2004. Drying of agricultural crops by solar energy. *Desalination*, 168: 101
- Romano G, Kocsis L & Farkas I. 2009. Analysis of energy and environmental parameters during solar cabinet drying of apple and carrot. *Drying Technology*, 27: 574