



Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano

E. M. Ceballos-Ortiz* y M. T. Jiménez-Munguía

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Fundación Universidad de las Américas Puebla.
Exhacienda Sta. Catarina Mártir S/N, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.*

Resumen

Las frutas y verduras son alimentos ampliamente consumidos en el mundo entero y su conservación es necesaria. Debido a esto, se emplean diversas técnicas para su conservación, siendo la deshidratación por aire caliente una de las más utilizadas, ya que es económicamente viable y puede reducir la actividad de agua a un nivel en el cual los microorganismos no se pueden desarrollar. Sin embargo, esta técnica tiene desventajas como la pérdida de nutrimentos en el alimento, así como cambios físicos. Por estas razones es importante una revisión bibliográfica donde se analicen los cambios que ocurren en las propiedades físicas y químicas durante el proceso de deshidratación con aire caliente, así como una breve descripción de técnicas complementarias de deshidratación que pueden ayudar a mejorar la estabilidad de estos alimentos, para que finalmente se puedan obtener productos de alta calidad y con bajo riesgo de degradación microbiana.

Palabras clave: frutas, verduras, deshidratación por aire caliente.

Abstract

Fruits and vegetables are widely consumed in the world and their preservation is required. Different techniques are employed for the preservation of fruits and vegetables and hot air-drying is one of the most commonly used due to its economic viability and the advantages in the water activity reduction to an appropriate level where microbial growth is suppressed, however, this technique has various disadvantages such as the loss of some nutrients and undesirable physical changes. For these reasons, in this review it is analyzed the chemical and physical changes that occur during hot air drying, as well as a brief description of complementary drying techniques that can help improve the product stability in aim to obtain high quality products with low risk of microbial degradation.

Keywords: fruit, vegetables, hot air drying.

Introducción

Las frutas y verduras son una fuente importante e indispensable de vitaminas y

minerales para el ser humano. Su cultivo a gran escala constituye un sector importante de la economía de muchos países. Su consumo cada día está en aumento, por lo que se requieren mejores procesos de conservación para lograr prolongar su vida de

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: edgar.cebaloosz@udlap.mx

almacenamiento. Además, este tipo de alimentos escasea en ciertas épocas del año, por lo que cuando son abundantes en el mercado conviene darles un tratamiento o transformación que permita conservarlos por un periodo mayor, para que puedan ser consumidos en épocas de escasez.

El agua contenida en las frutas y verduras representa más del 80% de su peso, lo cual es un factor determinante para su pronta descomposición microbiana. Se estima que en los países en vías de desarrollo, alrededor del 30 a 40% de las frutas y verduras cultivadas, se llega a perder debido a la falta de un adecuado manejo, transporte y almacenamiento; estas pérdidas se traducen en una pérdida física, nutrimental y por lo tanto, económica.

Para preservar las frutas y verduras se han empleado varias tecnologías a escala industrial, entre las cuales está la deshidratación con aire caliente (Hernández *et al.*, 2010). Esta técnica da lugar a productos deshidratados con una larga vida de anaquel; sin embargo, este proceso también impacta negativamente la calidad de los alimentos, debido a los prolongados periodos de deshidratación y a las altas temperaturas utilizadas. La calidad de un producto deshidratado convencional es normalmente menor a la del producto fresco del que proviene, con un impacto en el color, la textura y otras características (Askari *et al.*, 2009a). Las frutas y verduras deshidratadas con aire caliente, normalmente llegan a niveles intermedios de humedad, donde los valores de actividad de agua oscilan entre 0.6 y 0.8; a estos niveles, las frutas y verduras normalmente mantienen sus propiedades sensoriales y por lo general muestran una buena resistencia al ataque microbiano (Cao *et al.*, 2007).

La calidad y el costo de las frutas y verduras deshidratadas están influenciados

fuertemente por las condiciones de secado; la calidad se evalúa por la cantidad de degradaciones físicas y bioquímicas que ocurren en el alimento y depende de la temperatura, el tiempo de secado y la actividad de agua que se alcanza (Juárez, 2005).

El estudio de las técnicas y condiciones adecuadas de deshidratación de frutas y verduras, como el secado con aire caliente, es necesario para conocer y minimizar los cambios físicos y químicos ocurridos durante el proceso, así como mantener sus propiedades nutrimentales, sensoriales y de vida de anaquel, y por lo tanto, desarrollar nuevos productos deshidratados, de alta calidad, atractivos a los consumidores y con alto valor nutricional.

Revisión bibliográfica

1. Deshidratación de frutas y verduras

En la deshidratación de frutas y verduras, se aplica calor para evaporar el agua y removerla después de su separación de los tejidos del fruto. La energía debe suministrarse para evaporar el agua y removerla en forma de vapor de la superficie del alimento. El calor se puede aplicar al alimento por conducción, radiación ó convección. Aunque estos tres mecanismos de transferencia de calor se pueden utilizar durante la deshidratación, normalmente, dependiendo del producto, uno de éstos es el que domina. El método más común para transferir el calor a frutas y verduras, en el proceso de deshidratación, es la utilización de una corriente de aire caliente, donde la convección es el principal fenómeno de transferencia. Una vez que el calor es suministrado a la superficie del alimento en el proceso de deshidratación, éste es distribuido a través del alimento por conducción. Esta técnica se puede definir como una operación, en la cual hay una transferencia simultánea de

calor y de masa, en la que la actividad de agua de un material es reducida a través de la remoción de agua por evaporación en una corriente de gas insaturado libre (Costa y Ferreira, 2007).

Los dos aspectos importantes de transferencia de masa durante la deshidratación, son la transferencia del agua del interior del alimento hasta la superficie de éste y la remoción de ésta de la superficie al medio ambiente. Una curva de secado relaciona el contenido de humedad del alimento con el tiempo, donde normalmente hay diversas fases: la primera representa un “periodo de acoplamiento” en donde las condiciones de la superficie del alimento llegan a un equilibrio con el aire caliente; normalmente es un periodo muy corto aunque a veces puede ser significativo. Posteriormente, se encuentra un periodo de velocidad de deshidratación constante y un periodo de velocidad de deshidratación decreciente. Durante el periodo de velocidad de deshidratación constante, el agua está fácilmente disponible en la superficie del producto en proceso de deshidratación y por lo tanto, la velocidad de deshidratación es determinada por la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del flujo de aire. Éste es un corto periodo al inicio del proceso de deshidratación en el que la pérdida de agua es rápida. Cuando el alimento pierde la mayoría del agua en su superficie, el agua restante debe difundirse del interior del alimento a su superficie para poder ser evaporada; esto da lugar al periodo de velocidad de deshidratación decreciente, en el que se dificulta la pérdida de agua; este periodo corresponde a las últimas etapas del proceso. En este periodo, el factor limitante no es el suministro de calor, sino la disponibilidad del agua en la superficie donde se lleva a cabo la evaporación. El punto de transición entre el periodo de velocidad de deshidratación constante y el periodo de deshidratación decreciente, se le denomina contenido de

humedad crítico. Por último, en la fase final del periodo a velocidad decreciente, el contenido de humedad correspondiente es llamado contenido de humedad en equilibrio (Diamante *et al.*, 2010). Estos periodos son de gran importancia para lograr un proceso rápido, alimentos deshidratados de alta calidad y asegurar la rentabilidad del proceso. Los principales factores que afectan a la velocidad de deshidratación y el tiempo de secado son las propiedades físicas del aire de secado (temperatura, velocidad y humedad relativa), las características del equipo de secado y las propiedades del alimento (Woodroof y Luh, 1975).

1.1. Proceso de deshidratación en túneles con aire caliente

La deshidratación con aire caliente por medio de túneles es uno de los procesos comerciales más usados en la conservación de productos alimenticios, principalmente de productos agropecuarios (Askari *et al.*, 2009a). El aire es usado para conducir el calor al alimento y para retirar el agua que el alimento libera. Los túneles para la deshidratación de frutas y verduras son de varios tipos pero se basan en las mismas operaciones básicas. Las frutas o verduras son puestas en bandejas o en transportadores y expuestas a una corriente de aire caliente. Los secadores de túnel están clasificados con base en los mecanismos de movimiento de los alimentos y la dirección de la corriente de aire, la cual puede ser paralela o en contracorriente al alimento. Si la corriente de aire es paralela al alimento, las condiciones iniciales para la deshidratación son óptimas, pero conforme el aire remueve la humedad del alimento, la eficacia del aire para deshidratar al alimento decrece. Si el flujo de aire a contracorriente es usado exclusivamente, las condiciones para deshidratar son óptimas en la etapa final del proceso. Normalmente, estas dos direcciones de corriente de aire son combinadas en secadores de dos etapas. La corriente de aire paralela es usada en la

primera etapa y la corriente de aire a contracorriente en la segunda etapa; esto da los mejores resultados en cuanto a eficiencia de secado y calidad final del alimento. Las temperaturas del aire que son usadas dependen del alimento y se encuentran normalmente entre 70 y 90°C en la primera etapa y entre 55 y 70°C en la segunda, lo cual da como resultado un tiempo de deshidratación de 8 a 16 horas (Karmas y Harris, 1988).

Se han realizado diversos estudios acerca de la deshidratación de frutas y verduras para determinar los parámetros adecuados del proceso de deshidratación con aire caliente y optimizar los resultados en cuanto a tiempo, contenido de humedad y conservación de las propiedades de los alimentos. Como ejemplos se encuentran estudios realizados con chile poblano (Mendoza-Medina *et al.*, 2005), chile rojo (Arora *et al.*, 2006), manzana (Meisami-asl *et al.*, 2010), cebolla (García *et al.*, 2010), cereza (Aghbashlo *et al.*, 2008), uvas (Li *et al.*, 2008), peras (González-Martínez *et al.*, 2006), durazno (Kingsly *et al.*, 2007), papas (Hassini y Belghith, 2004) y plátanos (Jannot *et al.*, 2004), entre otros, donde se reducen los tiempos de secado variando las condiciones de temperatura y velocidad de aire de secado para conservar mejor la calidad del producto.

1.2. *Combinación de la deshidratación con aire caliente y otros métodos*

Aunque la deshidratación con aire caliente es un método económico y efectivo para la obtención de frutas y verduras deshidratadas, se siguen investigando métodos de deshidratación que permitan obtener productos de mejor calidad a menores costos (Aktas *et al.*, 2007).

Recientemente, la deshidratación con microondas ha sido propuesta como un método alternativo a la deshidratación convencional con aire caliente. Sin embargo, debido a su alto costo, no ha podido competir

con la deshidratación con aire caliente, por lo que se ha sugerido utilizarla en las etapas finales de este último proceso. Las ventajas de esta incluyen la reducción de los periodos de deshidratación, el mejoramiento de la calidad del producto, y la flexibilidad de producir una amplia variedad de productos deshidratados (Askari *et al.*, 2009b). Como ejemplo, la deshidratación por microondas redujo el tiempo de secado en más de un 98% comparado con el secado por aire caliente en la deshidratación de dátiles (Benamara y Chekroune, 2009).

De la misma forma, se ha propuesto el uso de pre-tratamientos osmóticos para reducir los tiempos de deshidratación y conservar mejor las propiedades de las frutas y verduras deshidratadas. Haciendo un correcto uso de pre-tratamientos osmóticos se puede reducir considerablemente el tiempo de secado conservando el color, mejorando la textura y protegiendo el contenido de vitaminas y compuestos con alto valor nutricional de las frutas y verduras. Como ejemplos destacan los pre-tratamientos osmóticos en calabaza (Kolawole y Olufemi, 2010), chabacano (Riva *et al.*, 2005), chayote (Ruiz-López *et al.*, 2010), jitomate (Hassan, 2008), papaya (Pandey *et al.*, 2008), pera (González-Martínez *et al.*, 2006) y piña (Nicoletti *et al.*, 2001), donde se reducen los tiempos de secado con aire caliente y se conservan mejor las propiedades de los alimentos. En estudios realizados con trozos de chile poblano, se muestra que se pueden deshidratar parcialmente mediante deshidratación osmótica, reduciendo su peso un 40%; una vez deshidratados con aire caliente, la pérdida total de peso puede llegar hasta 94% (Mendoza-Medina *et al.*, 2005). Por el contrario, existen estudios en frutas en los que no se han observado mejorías en el producto usando pre-tratamientos osmóticos, por ejemplo en el color y la textura del caqui (Igual *et al.*, 2011). En el caso de manzanas, se ha notado una pérdida sustancial de ácido ascórbico usando

pre-tratamientos osmóticos, además de no lograr reducción en el tiempo de secado; sin embargo, sí se reduce considerablemente la actividad de agua (a_w) de la fruta y se obtiene una mayor aceptación sensorial (Moreira *et al.*, 2009). Los resultados de un estudio realizado por Vega *et al.* (2005) muestran que cuanto más agresivo es el pre-tratamiento osmótico en pimiento rojo, en cuanto a tiempo y concentración, mayor es la pérdida de vitamina C, menor la capacidad de rehidratación y aumenta el oscurecimiento no enzimático.

También existen procesos ultrasónicos, los cuales están todavía en desarrollo y se necesitan más estudios para comprender completamente los efectos del ultrasonido en el tejido de las frutas y verduras, así como en sus características sensoriales. Los estudios que se han realizado muestran un gran potencial de la aplicación de los tratamientos ultrasónicos para la deshidratación de frutas. Estos tratamientos consisten en sumergir las frutas en un medio líquido el cual puede ser agua o una solución osmótica. Como ejemplos de esta aplicación existen tratamientos aplicados en plátano, manzana, melón, papaya, piña y zapote, los cuales presentan una pérdida significativa de azúcares utilizando agua destilada como medio líquido (Fernandes y Rodrigues, 2008a, 2008b). Así mismo, el efecto del pre-tratamiento ultrasónico muestra un incremento en la difusividad de agua de las frutas en la mayoría de los casos, lo que ayuda a reducir los tiempos de deshidratación en el secado con aire caliente, probablemente debido a la formación de micro túneles tanto en la membrana celular como en la estructura del tejido de las frutas durante el proceso. También se ha estudiado el efecto del pre-tratamiento con ondas ultrasónicas utilizando un medio osmótico como medio líquido, en el que se ha notado un incremento en la pérdida de agua y ganancia de azúcares durante el proceso del pre-tratamiento. En general, este tipo de pre-tratamiento es viable cuando se

logra incrementar la difusividad del agua en la fruta y, por lo tanto, se disminuye considerablemente el tiempo de secado por aire caliente. Como ejemplos se han obtenido resultados en pruebas con melón, las cuales muestran una reducción en el tiempo de deshidratación con aire caliente del 25% usando un pre-tratamiento con ultrasonido (Fernandes y Rodrigues, 2007); lo mismo ocurre con el zapote, donde el tiempo de deshidratación se ha visto reducido en un 23% (Fernandes y Rodrigues, 2008b).

2. Cambios en las propiedades de frutas y verduras debidos a la deshidratación con aire caliente

La deshidratación con aire caliente da lugar a varios cambios en la estructura y las propiedades químicas de las frutas y verduras, debido a los procesos térmicos y mecánicos a los que son sometidas. De igual forma, la actividad de agua cambia, lo que da como resultado un cambio en el comportamiento de las reacciones oxidativas, enzimáticas, no enzimáticas, de oscurecimiento y caramelización, entre otras. Así mismo, la deshidratación causa cambios en las propiedades físicas como colapso, apelmazamiento y cambios en la densidad y viscosidad del producto (Maltini *et al.*, 2003). En general, el proceso de deshidratación ofrece una buena retención de nutrientes con excepción del ácido ascórbico y beta caroteno. Las pérdidas de proteínas y deterioros en su calidad son mínimas y de vitaminas hidrosolubles, sin contar el ácido ascórbico, por lo general son del 5% (Karmas y Harris, 1988).

2.1. Cambios en las propiedades físicas de frutas y verduras deshidratadas con aire caliente

Las propiedades físicas son las más afectadas en los procesos de deshidratación con aire caliente, debido a los prolongados periodos de

exposición de la muestra y al uso de altas temperaturas. El color es una de las propiedades más importantes en las frutas y verduras, ya que es el primer atributo de calidad evaluado por los consumidores, además de ser un parámetro utilizado para determinar la vida útil de las frutas y verduras deshidratadas (Iciek y Krysiak, 2009). La forma de evaluar los cambios de color causados por efectos de oscurecimiento en frutas y verduras deshidratadas es midiendo la disminución de la luminosidad (cambio en el parámetro L en la escala de Hunter), así como el cambio de la cromaticidad rojo – verde y azul – amarillo (parámetros a y b en la escala de Hunter). Las reacciones no enzimáticas asociadas con la pérdida de color en las frutas y verduras deshidratadas básicamente son las reacciones de Maillard, las reacciones de oxidación como la conversión de polifenoles en policarbonilos y la degradación oxidativa del ácido ascórbico; además, las reacciones de degradación de pigmentos como los carotenoides (oxidación por oxígeno), la clorofila (cambia de colores verdes a amarillos y rojos), antocianinas y betalainas (cambian a compuestos oscuros) afectan el color durante la deshidratación (Cortés y Chiralt, 2008; Jangam *et al.*, 2010).

En la deshidratación de jitomate con aire caliente hay cambios de color no deseados. El incremento en la temperatura y el tiempo de deshidratación provocan oscurecimiento del tejido; el color rojo del jitomate se torna en un color rojo-café durante la deshidratación y después se torna completamente café, esto es debido a una combinación de oscurecimiento no enzimático y degradación del licopeno; la degradación del color es menos severa cuando la temperatura de deshidratación es reducida de 90 a 55°C (Kerkhofs *et al.*, 2005). En pruebas con dátiles se encontró que el cambio neto de color se incrementa con el aumento del tiempo de deshidratación con aire caliente (Benamara y Chekroune, 2009). Estos resultados concuerdan con lo obtenido con

varios métodos de deshidratación para la concentración de jugo de granada. El cambio de color observado puede ser debido a la alta concentración de azúcares en la fruta, tomando en cuenta la habilidad de estos compuestos para formar compuestos oscuros responsables de la alteración del color (Benamara y Chekroune, 2009).

En otro estudio realizado, los valores de luminosidad (L) están reportados en función del aumento de la velocidad de aire y de la temperatura de deshidratación para rebanadas de naranja. La velocidad de aire está mayormente correlacionada con el oscurecimiento de las muestras (valores de L más pequeños) para cualquier temperatura de secado (de 65 a 87°C). Esto puede deberse a los largos periodos de tratamiento de la muestra y al favorecimiento de la reacción de Maillard por las altas temperaturas, así como a la oxidación de los pigmentos de la naranja, probablemente causada por condiciones de oxígeno forzado (De Pilli *et al.*, 2008).

En cuanto a la textura, existe un colapso en la estructura de las frutas y verduras deshidratadas debido a la remoción del agua y a un desbalance en la presión producida entre la parte interna y externa del material del alimento causando encogimiento, deformación, cambios en la porosidad y algunas veces, fractura. Durante el proceso de deshidratación, las frutas y verduras pierden agua y su volumen es reducido proporcionalmente al volumen correspondiente de agua perdida; sin embargo, no siempre es el caso debido a que el encogimiento causado por la pérdida de agua está altamente influenciado por las condiciones del proceso, principalmente en las etapas iniciales de deshidratación. En estudios realizados por Boubekri *et al.* (2010) con dátiles se encontró una alta correlación entre la textura y el contenido de agua, donde se incrementa la firmeza linealmente con la pérdida de agua. Existen estudios similares

que evalúan el cambio en las características físicas de cebolla (García *et al.*, 2010), pera (Ling *et al.*, 2005) y jitomate (Askari *et al.*, 2009a), donde se obtuvieron resultados parecidos.

La reducción de agua en las frutas y verduras deshidratadas induce a una reducción en la movilidad de sólidos, lo que produce un aumento en la viscosidad del alimento (Katekawa y Silva, 2007), sin embargo estudios realizados por Boubekri *et al.* (2010) muestran que temperaturas de secado superiores a 60°C en frutas con cáscara cerosa, inducen a una disolución de una cantidad significativa de azúcares, reduciendo la viscosidad e incrementando la movilidad del agua, lo que resulta en la reducción significativa del tiempo de secado.

Por otro lado, se han obtenido valores experimentales para la densidad real, densidad aparente y porosidad respecto al contenido de humedad de champiñón, pimiento verde, calabacín, espinaca, apio, puerro, cebolla, jitomate, ajo, zanahoria, chícharo y maíz. La densidad real se incrementa conforme el contenido de agua decrece, lo cual es esperado debido a que conforme el agua es removida, la densidad real alcanza el valor de la densidad del vegetal deshidratado. La densidad aparente oscila entre los valores de la densidad del agua y la densidad del vegetal completamente seco; como resultado, el valor de la densidad aparente a un alto contenido de humedad se aproxima a la densidad del agua, mientras que a bajos contenidos de humedad tiende a acercarse a los valores de densidad del vegetal completamente seco. En cuanto a la porosidad, ésta se incrementa con la remoción del contenido de humedad, debido a que depende solamente de la variación de la densidad aparente y la densidad verdadera (Boukouvalas *et al.*, 2010).

2.2. Degradación de compuestos químicos en frutas y verduras deshidratadas con aire caliente

Existen diversos estudios que evalúan la estabilidad de los compuestos químicos y nutricionales durante la deshidratación de frutas y verduras usando aire caliente, siendo el ácido ascórbico el compuesto más estudiado debido a su amplia distribución en este tipo de alimentos y su importancia nutricional.

El ácido ascórbico es susceptible a diferentes factores. En el proceso de deshidratación por aire caliente las pérdidas de ácido ascórbico se deben principalmente a las altas temperaturas utilizadas, además de la exposición al oxígeno contenido en el aire de secado. El tiempo es otro factor importante para la degradación del ácido ascórbico, ya que en las primeras horas no se observa una disminución considerable, por lo que el empleo de tiempos cortos y temperaturas bajas en el proceso de deshidratación con aire caliente, pueden ayudar a retener el ácido ascórbico (Gómez, 2009). Munyaca *et al.* (2010) mostraron que la enzima ácido ascórbico oxidasa juega un papel importante en la pérdida de ácido ascórbico en las fases iniciales de deshidratación. También se han reportado pérdidas de ácido ascórbico en muestras de rebanadas de naranja al aumentar la velocidad de aire y temperatura de deshidratación, siendo éstas hasta del 47% (De Pilli *et al.*, 2008), así como pérdidas sustanciales de ácido ascórbico en la deshidratación de higos, debido al decremento del pH (Piga *et al.*, 2004). Goula y Adamopoulos (2006) reportaron pérdidas de ácido ascórbico del 95%, durante la producción de mitades de jitomate deshidratado y pulpa de jitomate, empleando jitomate de diversas variedades, usando altas temperaturas (110°C). En un estudio realizado por Kerkhofs *et al.* (2005) utilizaron una temperatura de deshidratación de 42°C durante

48 horas encontrando una pérdida de ácido ascórbico hasta del 75%.

Las altas temperaturas utilizadas en la deshidratación de frutas y verduras pueden ocasionar una degradación de los compuestos fenólicos, mientras los carotenoides son prácticamente degradados por la alta exposición al oxígeno (Madrau *et al.*, 2009). Kerkhofs *et al.* (2005) evaluaron el cambio en la capacidad antioxidante en jitomates deshidratados y reportaron pérdidas del 8 al 33% a una temperatura de secado de 42°C debido a la degradación de los compuestos fenólicos, ácido ascórbico y carotenoides lipofílicos, responsables principalmente de la actividad antioxidante en las frutas y verduras. Por el contrario, Rózek *et al.* (2008) demostraron que la deshidratación de frutas y verduras con aire a 40°C, no tiene un efecto significativo en los compuestos fenólicos. En la deshidratación de chabacanos, la capacidad antioxidante incrementa con el proceso de deshidratación; en ciruelas ocurre algo similar a pesar de que las altas temperaturas utilizadas en el proceso de deshidratación reducen significativamente el contenido de polifenoles y ácido ascórbico (Madrau *et al.*, 2009). Kerkhofs *et al.* (2005) proponen utilizar una temperatura de deshidratación de 80°C o mayor durante un periodo corto (15 minutos) para que se desnaturalicen las enzimas oxidativas de los compuestos fenólicos y para liberar los compuestos fenólicos enlazados al tejido del fruto, de forma que se beneficie la calidad nutricional del alimento. Los mismos autores mostraron un mayor contenido de licopeno extraíble en jitomates deshidratados comparado con jitomates frescos, donde se observó que una temperatura media de secado (42°C) permite la liberación del licopeno de los tejidos.

En cuanto a los cambios ocurridos en azúcares, se han realizado estudios en la deshidratación de dátiles a una temperatura de 60°C durante 6 horas, donde no se observó una

variación significativa de azúcares; sin embargo, sí una conversión de sacarosa en azúcares reductores (glucosa y fructosa), donde se observa que el contenido total de azúcares no se pierden por reacciones de oxidación (Boubekri *et al.*, 2010). En litchi deshidratado se han observado pocos cambios en la cantidad de sólidos solubles totales, acidez titulable y pH; en cambio, la actividad de la enzima polifenol-oxidasa decrece y la cantidad de compuestos fenólicos totales permanece estable (Aquino *et al.*, 2010).

Las proteínas sufren desnaturalización con el aumento de la temperatura de secado, pueden ser susceptibles a oxidación debido a la luz y sufrir degradación enzimática. Además, los lípidos pueden sufrir hidrólisis enzimática en las etapas iniciales de deshidratación y a valores bajos de actividad de agua, puede ocurrir una auto-oxidación de ácidos grasos insaturados causando rancidez. La vitamina A, tiamina, riboflavina y niacina muestran una mínima degradación. Sin embargo, el contenido de fibra, minerales y aporte calórico, permanecen constantes durante la deshidratación de frutas y verduras con aire caliente (Jangam *et al.*, 2010).

3. Estabilidad microbiana de frutas y verduras deshidratadas con aire caliente

La calidad microbiológica de las frutas y verduras deshidratadas depende fundamentalmente de la contaminación inicial proveniente de las frutas y verduras frescas, del método de deshidratación, de las condiciones de operación durante el deshidratado y de los tratamientos especiales realizados en las frutas y verduras antes y después del secado. Normalmente, a pesar de la suma de estos factores, no es probable encontrar una considerable carga microbiana en las frutas y verduras deshidratadas. Aunque durante el proceso de deshidratación se puede producir una reducción notable del número de microorganismos viables de diversas especies

microbiológicas, existen algunas que son altamente resistentes al proceso de deshidratación y son capaces de sobrevivir, aportando una cantidad importante de microorganismos al producto final. En general, los microorganismos más resistentes son las esporas bacterianas y fúngicas, algunos micrococcos y las micobacterias. Es importante tener en cuenta que el uso de la deshidratación como método para preservar las frutas y verduras, está basado en la prevención del desarrollo de microorganismos deteriorativos del producto y de microorganismos patógenos (Fuselli *et al.*, 2004).

Los principales microorganismos que contribuyen a los daños de frutas y verduras y por lo tanto, indicadores del deterioro de las frutas y verduras deshidratadas en general, son una gran variedad de bacterias y hongos (mohos y levaduras). Entre los microorganismos patógenos que se pueden encontrar en frutas y verduras deshidratadas están *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus* y *Salmonella spp.* (Stannard *et al.*, 1997). Cada microorganismo tiene una temperatura óptima para su crecimiento y necesita de una cantidad mínima de agua para su desarrollo. El crecimiento microbiano en frutas y verduras resulta en la pérdida de características sensoriales, nutricionales y daños físicos causando que el alimento pierda su calidad (Jangam *et al.*, 2010).

En un estudio realizado por García *et al.* (2010), se analizó la influencia de la temperatura de secado en la supervivencia de microorganismos en cebolla con diferentes tipos de microorganismos (bacterias aerobias mesofílicas, bacterias aerobias mesofílicas esporuladas, coliformes y mohos y levaduras). Estos microorganismos mostraron comportamientos distintos durante la deshidratación del alimento y en su supervivencia, dependiendo de la temperatura de secado; las bacterias aerobias mesofílicas y los coliformes decrecieron significativamente

con el aumento de la temperatura de deshidratación, sin embargo, a una temperatura de deshidratación de 50°C mostraron un incremento, por lo que a esta temperatura no son inactivadas. Las bacterias aerobias mesofílicas esporuladas y los mohos y levaduras, aunque también mostraron un decremento con el aumento en la temperatura, éste no fue significativamente importante.

La actividad de agua en las frutas y verduras deshidratadas juega un papel muy importante, debido a que ésta es de gran importancia para la estabilidad y para el desarrollo de microorganismos. Existe un valor crítico de actividad de agua a partir del cual los microorganismos no se pueden desarrollar; este valor es de aproximadamente 0.6. La mayoría de las bacterias patógenas dejan de crecer a un valor de actividad de agua de 0.85, mientras la mayoría de mohos y levaduras son más tolerantes a valores más bajos dejando de crecer a valores de actividad de agua de 0.62. Los alimentos deshidratados con una actividad de agua menor a 0.6, son microbiológicamente estables; la vida útil de estos alimentos no está limitada por el deterioro microbiano, siempre y cuando permanezcan secos. Las frutas y verduras mínimamente deshidratadas, así como las de humedad intermedia, normalmente tienen una actividad de agua mayor a 0.6, por lo que es necesario que sean conservadas combinando factores como pH reducido y algún tipo de conservador, debido a que normalmente se almacenan a temperatura ambiente (Rahman, 2009). Como ejemplo de la importancia de la actividad de agua, se realizó un estudio en el que se reportó una actividad de agua de 0.61 a 0.63 en higos deshidratados, lo que está por debajo de los niveles óptimos de crecimiento de *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*. El crecimiento de estos mohos se pudo apreciar en el fruto fresco, mientras que en el producto deshidratado ya no hubo crecimiento (Piga *et al.*, 2004).

Existen otros estudios donde se analiza el comportamiento de la actividad de agua con la deshidratación de frutas y verduras para predecir su estabilidad en cuanto al deterioro microbiológico. Entre ellos están los realizados en dátiles (Chukwu, 2010), chabacano, manzana (Maltini *et al.*, 2003), nopal (Fernández *et al.*, 2006), así como plantas de la especie *Brassica parachinensis* (Cao *et al.*, 2007).

Conclusiones

La deshidratación es una de las técnicas más antiguas y más utilizadas en la conservación de frutas y verduras debido a su amplio consumo, a su producción restringida a ciertas temporadas del año y a su alto contenido de humedad. La deshidratación por aire caliente es la técnica más utilizada para conservar este tipo de alimentos, sin embargo presenta desventajas como la pérdida nutricional del producto y el deterioro físico del mismo. En consecuencia, se han propuesto diversas técnicas de deshidratación complementarias para conservar las frutas y verduras como pre-tratamientos con soluciones osmóticas, deshidratación asistida por microondas o el empleo de ondas ultrasónicas. Aunque estas técnicas complementarias están siendo estudiadas, la deshidratación por aire caliente es el método mayormente utilizado. La calidad de las frutas y verduras deshidratadas se puede medir por la conservación y estabilidad de sus propiedades químicas y físicas durante el proceso de secado. Para obtener frutas y verduras deshidratadas de alta calidad, es necesario minimizar los tiempos de exposición a altas temperaturas de secado, así como utilizar temperaturas y velocidades de aire bajas de forma que se eviten reacciones químicas de degradación de compuestos que a su vez repercuten en cambios físicos indeseables en los productos. Es muy importante tomar en cuenta que el uso de bajas

temperaturas y velocidades de aire puede ocasionar una activación o aceleración de reacciones indeseadas como reacciones enzimáticas o crecimiento microbiano, por lo que es de suma importancia el estudio de las condiciones adecuadas de deshidratación para llegar a un equilibrio donde se puedan obtener productos estables y de alta calidad, dependiendo de las propiedades que se necesiten mantener y la naturaleza del alimento. De la misma forma, se debe considerar la reducción de la actividad de agua en frutas y verduras deshidratadas a un nivel adecuado, para así evitar el deterioro posterior del producto causado por el crecimiento de microorganismos deteriorativos.

Agradecimientos

E. M. Ceballos-Ortiz agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), por el apoyo y financiamiento de sus estudios de posgrado.

Referencias

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. y Hassan-Beygi, S. 2008. Drying and rehydration characteristics of sour cherry (*Prunus Cerasus L.*). *Journal of Food Processing and Preservation*. 34: 351 – 365.
- Aktas, T., Fuji, S., Kawano, Y. y Yamamoto, S. 2007. Effects of pretreatments of sliced vegetables with trehalose on drying characteristics and quality of dried products. *Food and Bioproducts Processing*. 85(C3): 178 – 183.
- Aquino, E., Corona, R., Villegas, A., Reyes, I., Guemes, N., Hernández, y A. Mercado, E. 2010. Effect of storage temperature and time on quality in minimally processed litchi fruit (*Litchi Chinensis Sonn*). *Journal of Food Quality*. 33: 299 – 311.

- Arora, S., Bharti, S. y Sehgal, V. 2006. Convective drying kinetics of red chillies. *Drying Technology*. 24: 189 – 193.
- Askari, G., Emam-Djomeh Z. y Tahmasbi, M. 2009a. Effect of various drying methods on texture and color of tomato halves. *Journal of Texture Studies*. 40: 371 – 389.
- Askari, G., Emam-Djomeh, Z. y Mousavi, S. 2009b. An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air/microwave-assisted dehydration. *Drying Technology*. 27: 831 – 841.
- Benamara, S. y Chekroune, M. 2009. Colour change during hot air and microwave complementary dehydration of naturally dried date (*Phoenix dactylifera* L.) fruits. 2009. *World Journal of Dairy and Food Sciences*. 4(1): 8 – 13.
- Boubekri, A., Benmoussa, H., Courtois, F. y Bonazzi, C. 2010. Softening of overdried “Deglet nour” dates to obtain high-standard fruits: Impact of rehydration and drying processes on quality criteria. *Drying Technology*. 28: 222 – 231.
- Boukouvalas, Ch., Bisharat, G. y Krokida, M. 2010. Structural properties of vegetables during air drying. *International Journal of Food Properties*. 13: 1393 – 1404.
- Cao, H., Zhang, M., Mujumdar, A., Xiao, G. y Sun, J. 2007. Study on reduction of water activity and storage stability for dehydrated *Brassica parachinensis* with intermediate moisture. *Drying Technology*. 25: 669 – 674.
- Chukwu, O. 2010. Moisture-sorption study of dried date fruits. *AU Journal of Technology*. 13(3): 175 – 180.
- Cortés, M. y Chiralt, A. 2008. Cinética de los cambios de color en manzana deshidratada por aire fortificada con vitamina E. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 15(1): 8 – 16.
- Costa, A. y Ferreira, S. 2007. Sistema de secado solar para frutos tropicales. *Información Tecnológica*. 18(5): 49 – 58.
- De Pilli, T., Lovino, R., Maenza, S., Derossi, A. y Severini, C. 2008. Study on operating conditions of orange drying processing: Comparison between conventional and combined treatment. *Journal of Food Processing and Preservation*. 32: 751 – 769.
- Diamante, L., Durand, M., Savage, G. y Vanhanen, L. 2010. Effect of temperatura on the drying characteristics, colour and ascorbic acid content of green and gold kiwifruits. *International Food Research Journal*. 17: 441 – 451.
- Fernandes, F. y Rodrigues, S. 2007. Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons. *Drying Technology*. 25: 1791 – 1796.
- Fernandes, F. y Rodrigues, S. 2008a. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. *Drying Technology*. 26: 1509 – 1516.
- Fernandes, F. y Rodrigues, S. 2008b. Dehydration of sapota (*achras sapota* L.) using ultrasound as pretreatment. *Drying Technology*. 26: 1232 – 1237.
- Fernández, J., Alvarez, C. y Velásquez, M. 2006. Isotermas de sorción de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) deshidratado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 16(3): 34 – 37.
- Fuselli, S., Filsinger, B., Fritz, R. y Yeannes, M. 2004. Estudio microbiológico de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) deshidratados. *Revista Argentina de Microbiología*. 36: 139 – 144.
- García, S., Brumovsky, L., Fretes, R. y Schmalko, M. 2010. Influence of drying temperature on the physical and microbiological parameters and the quality of dried green onion. *Drying Technology*. 28: 1435 – 1444.
- Gómez, M. 2009. Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México. 76 p.
- González-Martínez, C., Cháfer, M., Xue, K. y Chiralt, A. 2006. Effect of the osmotic pre-treatment on the convective air drying kinetics of pear var. blanquilla. *International Journal of Food Properties*. 9: 541 – 549.
- Goula A. y Adamopoulos, K. 2006. Retention of ascorbic acid during drying of tomato halves and tomato pulp. *Drying Technology*. 24: 57 – 64.

- Hassan, N. 2008. Drying kinetics of osmotically-treated tomatoes. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. 25(3): 957 – 979.
- Hassini, L. y Belghith, A. 2004. Estimation of the moisture diffusion coefficient of potato during hot-air drying. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*. Sao Paulo, Brazil. 22 – 25 Agosto 2004.
- Hernández, J., Quinto, P., Flores, F., Acosta, R. y Aguilar, J. 2010. Cinética del secado de productos agrícolas. *Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas*. México Distrito Federal, México. Noviembre 2010.
- Iciek, J. y Krysiak, W. 2009. Effect of air parameters on the quality of dried potato cubes. *Drying Technology*. 27: 1316 – 1324.
- Igual, M., Castelló, M., Roda, E. y Ortolá, M. 2011. Development of hot-air dried cut persimmon. *International Journal of Food Engineering*. 7(5): Art. 9
- Jangam, S. Law, C. y Mujumdar, A. 2010. Drying of Food, Vegetables and Fruits, Volume 1, ISBN: 978-981-08-6759-1.
- Jannot, Y., Talla, A., Nganhon, J. y Puiggali, J. 2004. Modeling of banana convective drying by the drying characteristic curve (DDC) method. *Drying Technology*. 22: 1949 – 1968.
- Juárez, E. 2005. Uso de la energía solar en deshidratación de frutas y verduras. *Memorias del Primer Congreso Regional de Enseñanza y Divulgación de la Ciencia y la Técnica*. Puebla, Puebla, México. 23 – 25 Junio 2005.
- Karmas, E. y Harris, R. 1988. *Nutritional evaluation of food processing*. Tercera edición. The AVI Publishing Company, Inc. Nueva York, Estados Unidos. 786.
- Katekawa, M. y Silva, M. 2007. On the influence of glass transition on shrinkage in convective drying of fruits: a case study of banana drying. *Drying Technology*. 25: 1659 – 1666.
- Kerkhofs, N., Lister, C. y Savage, G. 2005. Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced-air drying. *Plant Foods for Human Nutrition*. 60: 117 – 121.
- Kingsly, R., Goyal, R., Manikantan, M. y Ilyas, S. 2007. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behavior of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*. 42: 65 – 69.
- Kolawole, F. y Olufemi, S. 2010. Effect of pretreatments on air-drying pattern and color of dried pumpkin (cucurbita maxima) slices. *Journal of Food Processing Engineering*. 33: 1129 – 1147.
- Li, L., Wang, Z., Hu, X., Wu, J., Liao, X., Chen, F. y Zhao, G. 2008. Drying effects of two air-drying shelters in a pilot test on sultana grapes. *Journal of Food Process Engineering*. 33: 162 – 178.
- Ling, H., Birch, J. y Lim, M. 2005. The glass transition approach to determination of drying protocols for colour stability in dehydrated pear slices. *International Journal of Food Sciences and Technology*. 40: 921 – 927.
- Madrau, M., Piscopo, A., Sanguinetti, A., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F. y Piga, A. 2009. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology*. 228: 441 – 448.
- Maltini, E., Torreggiani, D., Venir, E. y Bertolo, G. 2003. Water activity and the preservation of plant foods. *Food Chemistry*. 82: 79 – 86.
- Meisami-asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A. y Tabatabaefar, A. 2010. Determination of suitable thin layer drying curve model for apple slices (variety-Golab). *Plant Omics Journal*. 3(3): 103 – 108.
- Mendoza-Medina, J., Martínez-Soto, G., Mercado-Flores, J., López-Orozco, M. y Alcántara-González, M. 2005. Cinética de los parámetros de calidad de chile poblano durante su deshidratación. *Memorias del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos (CIBIA V)*. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 4 – 7 Septiembre 2005.
- Moreira, P., Abbas, A., Valeriano, R., Kurozawa, L., Colato, G., Xidieh, E. y Jin, K. 2009. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International Journal of Food Science and Technology*. 44: 980 – 986.
- Munyaca, A., Makule, E., Oey, I., Van Loey, A. y Hendrickx, M. 2010. Thermal stability of L-ascorbic

- acid and ascorbic acid oxidase in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Journal of Food Science*. 75(4): 336 – 340.
- Nicoletti, J., Telis-Romero, J. y Telis V. 2001. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. *Drying Technology*. 19(9): 2175 – 2191.
- Pandey D., Verma, R. y Chahar, V. 2008. Effect of pretreatments on air drying of papaya cubes. *International Journal of Food Engineering*. 4(5): Art 6.
- Piga, A., Pinna, I., Ozer, K., Agabbio, M. y Aksoy, U. 2004. Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): drying kinetics and quality loss. *International Journal of Food Science and Technology*. 39: 793 – 799.
- Rahman, M. 2009. Food stability beyond water activity and glass transition: macro-micro region concept in the state diagram. *International Journal of Food Properties*. 12: 726 – 740.
- Riva, M., Campolongo, S., Avitabile, A., Maestrelli, A. y Torreggiani, D. 2005. Structure-property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*. 38: 533 – 542.
- Rózek, A., Achaerandio, I., Güell, C., López, F. y Ferrando, M. 2008. Efecto del secado convectivo en la estabilidad de compuestos fenólicos añadidos a alimentos sólidos mediante deshidratación osmótica. *Memorias del II Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria y el V Congreso Español de Ingeniería en Alimentos*. Barcelona, España. 5 – 7 de Noviembre 2008.
- Ruiz-López, I., Huerta-Mora, I., Vivar-Vera, M., Martínez-Sánchez, C. y Herman-Lara, E. 2010. Effect of osmotic dehydration on air-drying characteristics of chayote. *Drying Technology*. 28: 1201 – 1212.
- Stannard, C., Bell, C., Greenwood, M., Hooker, J., Kyriakides, A. y Mills, R. 1997. Development and use of microbiological criteria for foods. *Food Science and Technology Today*. 11(3): 1997.
- Vega, A., Andrés, A. y Fito, M. 2005. Aplicación de un tratamiento osmótico previo al secado por aire caliente del pimiento. *Memorias del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos (CIBIA V)*. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 4 – 7 Septiembre 2005.
- Woodroof, J. y Luh, B. 1975. *Commercial fruit processing*. Westport, Connecticut. The AVI Publishing Company, Inc. California, Estados Unidos. 710.