

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN PROCESOS DE SECADO

EVALUATING THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON DRYING PROCESSES

Keyla Andrea Padilla-Frías¹, *Clemente Granados-Conde¹, Glicerio Leon-Mendez², Yurica Arrieta Pineda², Miladys Torrenegra-Alarcon³

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Grupo de investigación Ingeniería, Innovación, Calidad Alimentaria y Salud (INCAS). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Correo electrónico: cgranadosc@unicartagena.edu.co

² Facultad de Ciencias de la Salud. Corporación Universitaria Rafael Núñez. Programa de Tecnología en Estética y Cosmetología. GITEC, Cartagena, Colombia. Correo electrónico: glicerio.leon@curnvirtual.edu.co

³ Centro de Comercio y Servicios, Regional Bolívar (SENA). Grupo de Investigación de Biotecnología e Innovación (GIBEI). Ternera Km. 1 Vía Turbaco CTG. Cartagena, Bolívar Colombia. Correo electrónico: mtorrenegraa@sena.edu.co

Recibido: Mayo de 2018 ; aprobado: julio de 2018.

RESUMEN

El secado, es uno de los procesos tradicionales de conservación de alimentos de mayor interés en la actualidad; consiste en la remoción del agua libre, para lo cual se utiliza aire caliente como medio desecador. El secado, implica mecanismos complejos y simultáneos de transferencia de calor, masa y momento, siendo la temperatura en una de las

principales variables del proceso, debido a que si no es la adecuada influye en la calidad del producto alterando el sabor, color, olor y otros atributos, disminuye el contenido nutricional.

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia * Clemente Granados-Conde¹. E-mail: cgranadosc@unicartagena.edu.co

Palabras claves: Alimento, propiedades, secado, temperatura.

ABSTRACT

Drying is one of the traditional food preservation processes of greatest interest today; It consists in the removal of free water, for which hot air is used as a desiccator medium. The drying, involves complex and simultaneous mechanisms of transfer of heat, mass and moment, being the temperature in one of the main variables of the process, because if it is not adequate influences the quality of the product altering the flavor, color, smell and other attributes decreases nutritional content.

Keywords: Food, properties, drying, temperature.

INTRODUCCION

El secado es una operación que se encuentra en casi todos los sectores industriales, desde los agrícolas a los farmacéuticos. Es seguramente la operación unitaria más antigua, común, diversa e intensiva energéticamente (Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011). Sin embargo, no todas las tecnologías de secado son necesariamente óptimas en términos de consumo de energía, calidad del producto deshidratado, seguridad de operación, capacidad de controlar el

secador durante posibles fallas en el proceso, o impacto medio ambiental (Kudra y Mujumdar, 2009).

El secado es un proceso de conservación de alimentos que impide cualquier actividad microbiana o enzimática al eliminar una gran cantidad de agua en ellos. Surgió a partir de la necesidad de consumir, fuera de su época de cosecha o producción, alimentos susceptibles a pudrirse debido a su composición química (Pájaro *et al.*, 2017). El secado consiste en separar

pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual. Actualmente, con los diversos avances tecnológicos, se han diseñado equipos industriales que facilitan la deshidratación de los alimentos, en donde los métodos modernos se basan en el secado por aire caliente y secado por liofilización para reducir el contenido de agua (Moreno-Álvarez *et al.*, 2003). Independientemente del método a emplear para deshidratar un alimento, existen variables dentro del proceso que inciden positiva o negativamente sobre la matriz alimentaria, por tanto, influyen en las características del producto final, como el color, la textura, el valor nutricional y la cantidad de agua (Mínguez-Mosquera *et al.*, 1994). Por lo cual, Magdalini & Zacharias, demostraron que el secado de vegetales empleando altas temperaturas puede ocasionar cambios en la composición nutricional de frutas, afectando la textura, color, densidad, porosidad, absorción de materiales, posibilitando el endurecimiento y encogimiento general del fruto. Debido a estos cambios se hace necesario desarrollar cinéticas de secado en los cuales se estandarice las variables tiempo, velocidad de aire caliente y temperatura (Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011). Por lo tanto, este artículo de revisión se enfocó en evaluar la influencia de la temperatura en el proceso de secado.

Definición de la operación

La deshidratación es una de las técnicas más antiguamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia.

Hoy en día la industria de alimentos deshidratados constituye un sector muy importante dentro de la industria alimentaria extendido por todo el mundo. El tamaño de las instalaciones varía desde simples secadores solares hasta grandes y sofisticadas instalaciones de secado. En el mercado puede encontrarse una amplia variedad de productos deshidratados (vegetales, frutas, carnes, pescados, cereales y productos lácteos) o formulados a partir de deshidratados como es el caso de las salsas y sopas en polvo (Muñiz-Becerra *et al.*, 2013).

Generalmente, se entiende por deshidratación la operación mediante la cual se elimina total o parcialmente el agua de la sustancia que la contiene. Esta definición puede ser aplicada a sólidos, líquidos o gases y tal como está expresada puede servir para describir varias operaciones unitarias como la evaporación, la adsorción, etc. Sin embargo, su

tratamiento teórico y la tecnología empleada las diferencian completamente (Espinoza-Saavedra et al., 2011; Soto-Ramos, 2013).

La mayoría de productos agroalimentarios son sólidos por lo que se define mejor la deshidratación como la Operación Básica por la que el agua que contiene un sólido o una disolución (generalmente concentrada) se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases.

Definición del secado

El secado usualmente se define como el proceso de remoción térmica de sustancias volátiles (humedad) hasta obtener un producto seco (Mujumdar, 2006). Es una operación unitaria en la que se da el transporte simultáneo de calor y masa (Fito et al., 2001): La transferencia de energía (principalmente como energía calórica) desde el medio circundante para evaporar la humedad de la superficie y la transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido y su evaporación posterior (Espinoza-Saavedra et al., 2011; Soto-Ramos, 2013).

La remoción de agua en forma de vapor desde la superficie del sólido depende de condiciones externas de temperatura, flujo y humedad del aire, área de la superficie del material expuesta y presión mientras que el

movimiento del agua a través del sólido depende de su composición física, la temperatura y su porcentaje de humedad (Mujumdar, 2006).

La transferencia de energía puede ocurrir por convección, conducción o radiación, o en algunos casos por una combinación de ellos (Mujumdar, 2006). A continuación, se explica brevemente cada mecanismo:

Convección: El calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente (u otro fluido) que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina del sólido (Fito et al., 2001; Espinoza-Saavedra et al., 2011) (Figura 1a).

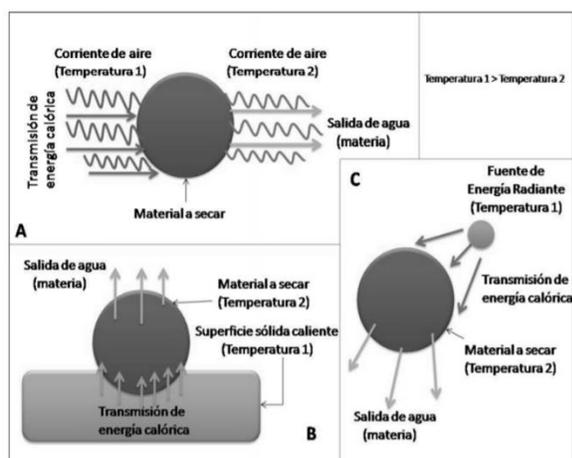
Conducción: El calor de evaporación se proporciona a través de superficies calentadas (en reposo o en movimiento) colocadas directamente con el material a secar. El calentamiento de estas superficies se realiza normalmente mediante vapor. El agua evaporada se elimina mediante una operación de vacío o a través de una corriente de gas cuya función principal es la de eliminar agua (Fito et al., 2001; Espinoza-Saavedra et al., 2011) (Figura 1b).

Radiación: Es la denominación que se da a la transmisión de la energía a través del espacio por medio de ondas

electromagnéticas. Se basa en la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto. La energía es absorbida selectivamente por las moléculas de agua, por ende, mientras el producto se seca, se requiere menos energía. Incluye varias fuentes de radiación electromagnética con longitudes de onda desde el espectro solar hasta microondas (0,2 m –0,2 mm). Dentro de esta categoría se incluye el infrarrojo (Mujumdar, 2006;

conservadas principalmente para reducir o detener deterioros, para mantenerlos disponibles durante un período determinado de tiempo, para mantener propiedades nutricionales por el mayor tiempo posible o para obtener productos con valor agregado. Entre estas causas, el deterioro es la razón principal para el empleo de técnicas de preservación o conservación (Jangam *et al.*, 2010).

El secado es una de las técnicas más antiguamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia (Serna *et al.*, 2017; Fito *et al.*, 2001; Seijas y Pabón, 2017). Es uno de los procesos más rentables para conservar productos alimenticios, el cual se basa en la remoción de agua mediante la aplicación de calor (Jangam *et al.*, 2010). La operación de secado además conlleva una apreciable reducción del peso y volumen de los alimentos que se deshidratan, consiguiéndose así una importante reducción de los costes de transportes y almacenamiento de estos productos (Fito *et al.*, 2001; Barajas-Ortiz *et al.*, 2011; Jun *et al.*, 2018; García *et al.*, 2016).



Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011) (Figura 1c)

Figura 1. Representación conceptual de los mecanismos de transferencia de calor: A. Convección; B. Conducción; C. Radiación (Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011).

Secado de alimentos

Todas las variedades de alimentos necesitan, de alguna forma, ser

La operación de secado involucra una serie de cambios físicos, químicos y sensoriales

en el alimento que dependen de la composición de éste, así como de la severidad del método de secado. Ejemplos de estos cambios son encogimiento, cristalización, despolimerización, variación de color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento (Acevedo Correa D., 2017; Parada *et al.*, 2017 Ramírez, 2016).

Estos factores relacionados con la calidad del producto deben ser analizados cuando se va a diseñar una operación de deshidratación de alimentos, para así provocar un mínimo daño al alimento, sin olvidarse de otros aspectos más tecnológicos relacionados con la eficacia y el coste del proceso (Contreras, 2006).

En el sector alimenticio es necesario mantener la calidad del producto durante el secado además de reducir el costo del proceso. Debido a esto es necesario desarrollar técnicas de secado innovadoras y rentables en este rubro (Jangam *et al.*, 2010)

Métodos de secado usados en la industria de alimentos

La desecación puede llevarse a cabo por diferentes métodos, mecánicos y físico-químicos. Veamos de manera resumida en

qué consiste cada una de ellos (Mujumdar, 2006; Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011).

- **Prensado:** También llamado compresión, es una operación que tiene por finalidad separar un líquido de un sistema de dos fases sólido-líquido, comprimiendo el sistema en condiciones que permitan al líquido fluir y salir mientras el sólido queda retenido entre las superficies compresoras.

- **Centrifugación:** Al aplicar a un material mojado una fuerza centrífuga suficientemente elevada, el líquido contenido en el material se desplaza en la dirección de la fuerza, produciendo así una separación del líquido y del sólido.

- **Evaporación superficial:** Cuando un producto se somete a la acción de una corriente de aire caliente, el líquido que contiene se evapora aumentando su contenido en el aire. Se produce así una desecación. Este es el método más utilizado, también llamado deshidratación por aire caliente.

- **Ósmosis:** Cuando un producto se sumerge en una disolución concentrada de sal o azúcar, se produce un flujo de agua desde el interior de las células del alimento hacia la disolución más concentrada a través de una membrana semipermeable (membrana celular). Este flujo se establece a causa de una diferencia de potencial

químico del agua en el alimento y en la solución que lo rodea.

- **Liofilización:** En esta operación, el líquido a eliminar, previamente congelado, se separa del producto que los contiene por sublimación. De ahí que sea necesario partir del material congelado y trabajar en condiciones de vacío.

- **Absorción:** La absorción es una operación aplicada a gases, en la que uno o varios componentes de una mezcla gaseosa se disuelven en un líquido. En el caso de la desecación, el componente que se solubiliza es el vapor que se quiere eliminar del gas en cuestión. Como ejemplo puede citarse la desecación de gases mediante ácido sulfúrico.

- **Adsorción:** Es difícil una definición simple de adsorción por lo que nos limitaremos a dar un ejemplo: la eliminación del agua contenida en el aire mediante adsorbentes como el gel de sílice.

- **Congelación:** Cuando se congela una sustancia que contiene un líquido, éste se separa paulatinamente en forma sólida produciendo una concentración del material que contenía disuelto o bien, cuando se encuentra en cantidades pequeñas, desecando el material.

De todas estas técnicas, las más utilizadas en la deshidratación de productos

agroalimentarios son la evaporación superficial (secado por aire caliente, secado a vacío, secado solar y secado por microondas), la deshidratación osmótica (convencional, a vacío o por pulsos de vacío) y la liofilización. En ocasiones estas técnicas se combinan para la obtención de un determinado producto (Deshidratación osmótica + secado por aire caliente), o bien constituyen operaciones previas o pretratamientos en un proceso (ej: deshidratación osmótica como pretratamiento para la elaboración de mermeladas) (Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011).

Efecto de la temperatura en el secado de alimentos

Barajas-Ortiz *et al.*, 2011 evaluaron el efecto de la temperatura en el secado de polen apícola procedente de dos zonas de Cundinamarca, sobre las características físicas, químicas, y nutricionales del polen seco. Los resultados confirman que el secado de polen a una temperatura de 45°C es el más adecuado debido a que presenta un menor tiempo de proceso y no se afectan sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales. Los contenidos de proteína, fibra y ceniza del polen no se afectan por la temperatura de secado. El contenido de vitamina C disminuye al aumentar la temperatura de secado, pero no existen diferencias significativas entre zonas.

Hincapié-Llanos *et al.*, 2010, determinaron la cinética de secado del residuo proveniente de la extracción del jugo de naranja. Concluyendo que a 50°C se conservan mejor las propiedades funcionales de la fibra dietaria y que se requieren 19.75 horas para lograr una humedad de 0.12 kg agua/kg Muestra Seca (MS).

Belén-Camacho *et al.*, 2004, evaluaron el efecto de la temperatura de secado sobre el contenido de carotenoides totales del mesocarpio de la coroba. El secado de frutos de coroba maduros se realizó hasta reducir la humedad a 12 ± 2 % utilizando tratamientos a 30, 40, 50, 60, 70 o 80 °C. Evidenciando que no se observaron cambios significativos en el contenido de carotenoides totales hasta 40 °C, por lo que se consideró este valor como el más adecuado para el secado del mesocarpio de la coroba.

Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011, evaluaron la aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtilla (*Ugni molinae* Turcz.). Los resultados obtenidos indican que, al aumentar las temperaturas y potencias de infrarrojo, disminuyen los tiempos de secado (hasta en un 85%), aumenta el valor de las constantes cinéticas de los modelos y aumenta la difusividad efectiva. Sin embargo, la utilización de infrarrojo durante

el proceso de secado permitió mantener mayor cantidad de compuestos fenólicos.

Soto-Ramos 2013, evaluó la influencia de la temperatura en la cinética de secado, difusividad efectiva y calidad de láminas de frutas, resaltando que el proceso de secado convectivo de láminas de fruta presentó dependencia con la temperatura, puesto que al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de secado, concluyendo que la cinética de secado es un método efectivo que permite modelar adecuadamente el proceso de secado bajo distintas condiciones.

Muñiz-Becerá *et al.*, 2013, evaluaron el empleo del método de secado convectivo combinado para la deshidratación de papaya (*Carica papaya* L.), variedad Maradol roja, combinado con la aplicación de pretratamientos de osmosis (DOSC) y escaldado simple (ESSC), mediante el efecto de los factores tecnológicos del secador: temperatura (40 y 60°C) y velocidad del flujo de aire (2,5 y 1,5 m/s) sobre el comportamiento de las propiedades de calidad de la fruta deshidratada y la cinética del proceso. Como principales resultados obtuvieron que en ambos procesos el aumento de la temperatura a 60°C y la reducción de la velocidad del flujo de aire a 1,5 m/s disminuyó el tiempo de secado. Mediante el secado a 40°C con 1,5

m/s se preserva el color y se minimiza la pérdida de peso en la fruta deshidratada.

CONCLUSIÓN

El secado es un proceso de mucha importancia para la conservación de alimentos, que impide cualquier actividad microbiana o enzimática al eliminar una gran cantidad de agua en ellos, en este

proceso se pueden ser controlar variables influentes como la temperatura con el propósito de obtener el grado de secado adecuado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las Corporación Universitaria Rafael Núñez, Universidad de

Cartagena por facilitar espacio, recursos y tiempo de los investigadores.

RREFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acevedo Correa D., Montero Castillo P., Beltrán Cotta L., Gallo García L., Rodríguez Meza J. (2017). Efecto de la fritura al vacío sobre la absorción de aceite en empanadas de maíz (zea mays). Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN:1692-7125. Volumen 15 N°1. Pp. 42 - 49.

Barajas-Ortiz JP., Martínez T., Rodríguez-Sandoval E. (2011). Evaluación del efecto de la temperatura en el secado de polen apícola procedente de dos zonas de Cundinamarca. DYNA, 78(165): 48-57.

Belén-Camacho MJ., Moreno-Álvarez R., Álvarez F. (2004). Efecto de la temperatura de secado sobre la degradación de carotenoides en frutos de

Coroba (*Jessenia polycarpa* Karst), CYTA - Journal of Food. 4(3): 206-210.

Contreras, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas. Politécnica de Valencia. Valencia, España. Recuperado de

Espinoza-Saavedra JL, Puente-Díaz L, Castro-Montero E. (2011). Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (*Ugni molinae* Turcz.). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qf-espinoza_jl/pdfAmont/qf-espinoza_jl.pdf

- Fito P., Andrés A., Barat J., Albors A. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Valencia, editorial U.P.V. 210 p.
- García B., Yulieth P., Caballero P. Luz A. y Maldonado O. Yohanna. (2016). Evaluación del color en el tostado de Haba (Vicia faba). Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 14, N° 2, p. 53 -66.
- Hincapié-Llanos GA., Omaña-Yañez MM., Hincapié-Llanos CA., Arias-Gómez Z, Vélez-Acosta LM. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la Fibra dietaria presente en la citropulpa. Revista Lasallista de Investigación. 7(2): 85-93.
- <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2674/Soto%20Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1932/tesisUPV2345.pdf>
- Jangam SV., Law CL., Mujumdar, AS. (2011). Drying of Foods, Vegetables and Fruits. Vol 2.
- Jun W., Chung-Lim L., Prabhat KN., Jin-Hong Z., Zi-Liang L., Li-Zhen D., Zhen-Jiang G., Hong-Wei X. (2018). Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices, Journal of Food Engineering, 224, (129).
- Kudra T., Mujumdar AS. (2009). Advanced Drying Technologies. 2ª ed. Boca Ratón. CRC Press. 455 p.
- Magdalini KK., Zacharias M. (2001). Structural properties of dehydrated products during rehydration. International Journal of Food Science and Technology. 36(5) :529-538
- Mínguez-Mosquera MI., Jarén-Galán M., Garrido Fernández J. (1994). Competition between the processes of biosynthesis and degradation of carotenoids during the drying of peppers. Journal of Agricultural and Food Chemistry 42(3), 645-648.
- Moreno-Álvarez MJ., Torrez V., Belén DR. (2003). Degradación cinética de carotenoides obtenidos de frutos de lechosa *Carica papaya* L. Revista de la Facultad de Agronomía. 20(2): 232-237.
- Mujumdar A. (2006). Principles, Classification, and Selection of Dryers. Handbook of Industrial Drying. 4 -31.
- Muñiz-Becerá S., Hernández-Gómez A., García-Pereira A., Méndez-Lagunas L. (2013). Empleo del método de secado convectivo combinado para la deshidratación de papaya (*Carica papaya* L.), variedad Maradol roja. Revista

- Ciencias Técnicas Agropecuarias. 22: 31-37).
- Pájaro N., Torrenegra M., Granados C., Leon G., Pajaro E., Osorio M. (2017) Microencapsulation of pulp of *Mangifera indica* L. by spray drying and antioxidant activity. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 9(12): 181-185.
- Parada O. Marisol, Caballero P. Luz A. y Rivera María E. (2017).Características fisicoquímicas de tres variedades de café tostado y molido cultivados en Norte de Santander Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 15 N° 1. Pp:66 – 76.
- Ramírez G. Luz E. (2016). Análisis de las propiedades físicas y químicas de zanahoria deshidratada por ósmosis y secado convectivo. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 14 N° 2. Pp: 42 - 53
- Seijas Ch., Héctor.y Pabón M., Carolina. (2017). Coeficiente de difusión y pérdida de humedad durante el proceso de pre-fritura de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN:1692-7125. Volumen 15 N°1. Pp. 17 – 27.
- Serna F. Tiana, Contreras S.Yucelys, Lozano P. Maria; Salcedo M. Jairo, Hernández R. Jorge, (2017).Variación del método de secado en la fermentación espontanea de almidón nativo de yuca. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 15 N° 1. Pp:50 -65.
- Soto-Ramos R. (2013). Influencia de la temperatura en la cinética de secado, difusividad efectiva y calidad de láminas de frutas. Universidad Nacional del Centro Del Perú. Huancayo, Perú.