

# **Determinación de cambios microestructurales en el secado y distribución espacial de la solución en la rehidratación de manzana a diferentes contenidos de humedad**

<sup>1</sup>Santacruz V. Claudia; <sup>1</sup>Santacruz V. Verónica

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería Química. Ciudad Universitaria.

CP. 72560. Puebla, México. e-mail: [clausanva@yahoo.com.mx](mailto:clausanva@yahoo.com.mx)

## **Resumen**

La manzana por su naturaleza estructural es un material que puede ser impregnado con ingredientes activos previo secado convectivo. Por lo que el objetivo de éste trabajo fue evaluar los cambios microestructurales durante la deshidratación de manzana y su posterior rehidratación utilizando  $\beta$ -caroteno debido a la capacidad de éste caroteno para presentar autofluorescencia. En este trabajo, placas de manzana se deshidrataron a tres contenidos de humedad (0.2, 1 y 2.7 Kg agua/Kg s.s.) y posteriormente se impregnaron con una solución de  $\beta$ -caroteno y agua, cuantificándose la ganancia de peso, agua y  $\beta$ -caroteno. Un modelo exponencial describió la cinética de los procesos. Se analizaron los cambios microestructurales de las placas de manzana sometidas a los diferentes tratamientos a través de microscopía electrónica de barrido (MEB) y se utilizó la dimensión fractal para describir la irregularidad de los cambios debido al secado. Mediante microscopía confocal (CLSM) se determinó la distribución espacial de la solución durante la rehidratación. Se observó que en tejido fresco hay una estructura y arreglo celular bien definidos, las células se encuentran organizadas y muestran un aspecto turgente, durante el secado convectivo se observó la formación de estructuras irregulares y rugosas además de la formación de un encostramiento superficial. La autofluorescencia del caroteno y la reconstrucción 3D de las imágenes permitió observar el perfil de distribución de la solución de este componente en el sólido.

## **Introducción**

El secado con aire caliente, se basa en la eliminación de agua mediante la circulación de aire caliente, y provoca cambios microestructurales que afectan las características macroscópicas del sólido, siendo la difusión y la capilaridad las fuerzas impulsoras que propician la transferencia de masa por lo que resulta de interés realizar el estudio de materiales vegetales parenquimatosos que pueden ser secados e impregnados para ser utilizados como una matriz capaz de ser enriquecida con una solución específica. Por lo que la impregnación de un soluto al rehidratar la matriz sólida, también puede efectuarse [1, 2, 3, 4], considerando ésta como una matriz estructural para obtener un producto enriquecido con  $\beta$ -caroteno, por lo que esto implicará incursionar en una rama de la ciencia y tecnología de los alimentos denominada ingeniería de matrices [5] la cual estudia los procesos de transferencia de masa sólido-líquido, los cambios en las características estructurales del sólido y sus propiedades de transporte y su relación con la funcionalidad del alimento. La transferencia de materia desempeña un papel fundamental en muchas operaciones en alimentos (extracción, destilación, liofilización, deshidratación, etc.). El cálculo de estas operaciones se basa a menudo en datos empíricos, debido a que los fenómenos de transferencia de materia en alimentos con estructura celular porosa son muy complejos. Las dificultades que se plantean al querer aplicar las teorías clásicas de difusión a los procesos alimentarios provienen de la complejidad de la estructura física y de la composición química de los alimentos (tejidos vegetales con estructura celular porosa) y de los cambios que puedan tener durante el almacenamiento y procesado de los mismos [6, 7, 8]. Finalmente en el transporte de masa que tiene lugar en las operaciones sólido-líquido intervienen mecanismos, la mayoría de ellos controlados por las células del tejido vegetal [8]. En este tipo de operaciones son importantes los estudios

cinéticos, el análisis de los perfiles de concentración desarrollados, la descripción del fenómeno de impregnación, la aplicación de la teoría clásica de difusión y su relación con la estructura del alimento sometido a los diferentes procesos de impregnación. Por lo que la aportación del presente trabajo es la contribución en un mayor conocimiento de los tópicos antes mencionados.

## Materiales y Métodos

**Análisis de microestructura.** Para la observación de los cambios microestructurales tanto del producto fresco como en las placas de manzana sometidas a los diferentes tratamientos se usó un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5900LV Scanning Electron Microscopy y aumentos de 100X y 300X.

**Caracterización de la irregularidad superficial.** La irregularidad superficial de las muestras previamente observadas mediante microscopía electrónica de barrido, fueron caracterizadas mediante la dimensión fractal de la textura superficial (DFs), mediante el software Image J obteniendo un plano cartesiano en tres direcciones, siendo los ejes x-y el área de la imagen y el eje z el niveles de gris de 0 a 255. Los tamaños de caja utilizados fueron de 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 32 y 64 píxeles [9, 10].

**Análisis microestructural mediante microscopía confocal.** El análisis de la distribución espacial de la solución a lo largo de la distancia de difusión, se llevó a cabo mediante un microscopio confocal Axioskop2 MOT LSM Pascal Carl Zeiss utilizando un objetivo Plan-neofluar 10 X, además de realizar cortes ópticos a diferentes distancias de profundidad en el espesor de la placa. Iniciando los cortes ópticos a 1  $\mu$  m desde la superficie de la muestra y utilizando un zoom factor de X2, las muestras se iluminaron con una lámpara láser de mercurio a una longitud de excitación de 488 nm. Las imágenes se analizaron mediante el software Carl Zeiss Image Examiner.

## Resultados

Las variables involucradas en el proceso de secado guardan complejas interdependencias y durante la deshidratación su forma geométrica tiende a ser irregular o fractal, por lo que esta herramienta permitió determinar el grado de rugosidad o irregularidad superficial de las placas de manzana deshidratadas con el objeto de explicar fenómenos como el encostramiento superficial y colapso celular. En la Figura 1, se observa que la estructura del sólido varía con el contenido de humedad del producto. Se aprecia que el secado parcial de las placas de manzana hasta contenidos de humedad de 2.7 Kg de agua/Kg s.s., presentan estructura semejante al producto fresco. Mientras que el secado del producto hasta un contenido de humedad de 0.2 Kg agua/Kg s.s., se observa la formación de una cubierta o costra que afecta la estructura del sólido y al mismo tiempo afecta el proceso de rehidratación del tejido parenquimatoso de manzana.

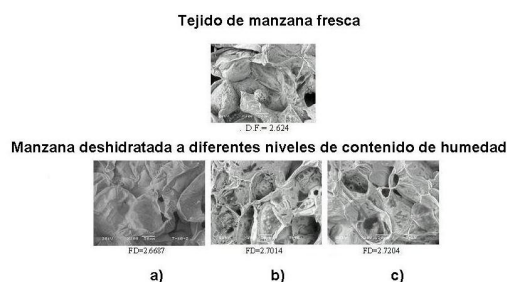


Figura 1. Fotomicrografías (MEB) a 300X y valores de dimensión fractal a diferente contenido de humedad

a) 0.2 Kg agua/Kg s.s. b) 1 Kg agua/Kg s.s. y c) 2.7 Kg agua/Kg s.s.

En la Figura 2, se observa encogimiento en el tejido causado por el secado y a diferencia de lo observado en el en otros procesos como deshidratación osmótica, el  $\beta$  -caroteno resulta estar impregnado únicamente en los espacios intercelulares de células que han sido plasmolizadas por efecto del secado convectivo. De las diferentes secciones ópticas del producto rehidratado se observa que a una humedad de 2.7 Kg de agua/Kg.s.s. la profundidad de la penetración es de 50.4  $\mu$  m, mientras que a humedad de 0.2 Kg de agua/Kg s.s. la profundidad de la penetración es de 39.2  $\mu$  m. Por lo que deshidratar el producto convectivamente hasta contenido de humedad de 2.7 Kg de agua/Kg s.s., resulta ser mejor opción que deshidratar el producto convectivamente a contenidos de humedad de 0.2 y 1 Kg de agua/Kg s.s.

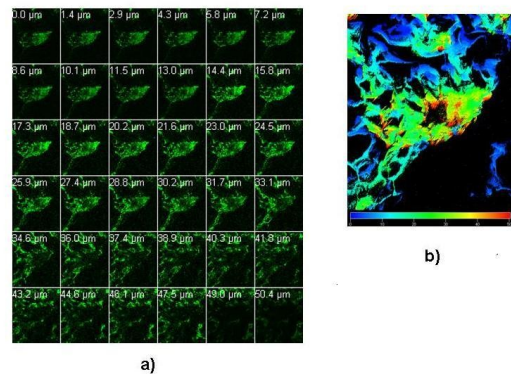


Figura 2. Secciones ópticas (CLSM) de placas de manzana rehidratadas con solución de caroteno y contenido de humedad inicial de 2.7 Kg agua/Kg s.s.

La microscopía confocal, resulta ser una técnica microscópica para determinar las tendencias del frente de difusión a escala microscópica. Este avance en el campo de la microscopía nos posibilita el estudio tridimensional de las muestras incluyendo su interior, o para la colocación de distintos marcadores naturales ( $\beta$  -caroteno) en una región concreta.

### Bibliografía

- [1] Wang y Brennan J. G., Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 24 (1995) 442-450.
- [2] McMinn W. A. y Magee T. R. A., Density, shrinkage and porosity of starch gel during convective drying, presented at the 11 th International Drying Symposium, (1998) 789-795.
- [3] Zogzas N. P., Maroulis, Z. B. y Marinos-Kouris, D., Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, 14 (1996) 225-253.
- [4] Fito P., Chiralt A., Betoret N., Gras M., Chafer M., Martínez-Monzó J., Andrés A., Vidal D., Vacuum impregnation and osmotic dehydration ion matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 46 (2001) 175-183.
- [5] Saravacos, G. D., Mass transfer properties of foods. *Engineering Properties of Food*. M. A. Rao and S.S. H. Rizivi (Eds.), Marcel Dekker, New York, (1986) 89-132.
- [6] Gekas V., González C., Sereno A., Chiralt y Fito P., Mass transfer properties of osmotic solutions. *Water activity and osmotic pressure. International Journal of Food Properties*, 1(1998) 95-112.
- [7] Fito P. y Pastor R., On some non-diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Science*, 21 (1994) 513-519.
- [8] Lewis, D. F., Features of food microscopy. *Food Microstructure*, 5 (1986) 1-18.
- [9] Barletta, B. J., Barbosa C. G. V., Fractal analysis to characterize ruggedness changes in tapped agglomerated. *Food Powder. Journal of Food Science*, 58 (1993) 1030-1035.

[10] Veronica Santacruz-Vázquez, Claudia Santacruz-Vázquez, J. Chanona-Perez, Liliana Alamilla-Beltrán, J. Welti-Chanes; Gustavo Gutierrez-Lopez, Fractal Geometry and Natural Sciences Applications. Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, Marcel Dekker, E.U. A, (2007) 1-13.

**a) Deseo participar en el área**

II. Ciencias biológicas

**b) Datos completos**

**Responsable:** <sup>1</sup>Dr. Santacruz V. Claudia

**Co-autora:** <sup>2</sup>Dr. Santacruz V. Verónica

**Institución:** Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería Química. Ciudad Universitaria. CP. 72560. Puebla, México. Tel: (01-222) 2-64-6627.e-mail: [clausanva@yahoo.com.mx](mailto:clausanva@yahoo.com.mx)

<sup>1</sup>Profesor Investigador

<sup>2</sup>Profesor Investigador

**c) Preferencia entre presentación oral o cartel**

CARTEL