

Análisis de mecanismos de transferencia en alimentos porosos

El presente trabajo analiza el mecanismo de intercambio de materia en un alimento sólido y las diferencias que se presentan en el transporte en función de su microestructura, remarcándose la necesidad de conocer el parámetro porosidad y la naturaleza de los poros.

Típicamente, un sistema alimenticio se considera que es isotrópico, homogéneo y continuo, con solo dos o tres componentes distribuidos en una o dos fases (Crank, 1985). Se generaliza diciendo que los alimentos sólidos son sistemas multifásicos similares a medios porosos, pudiendo aplicar la fluidodinámica de los medios porosos para describir los cambios que sufren durante las diferentes operaciones unitarias o tratamientos de acondicionamiento o preservación.

Utilizando el concepto de continuo ficticio pueden definirse las propiedades que describen el medio poroso, que son la densidad (real y aparente) porosidad (fracción de poros), tortuosidad (relación entre la distancia recta entre dos puntos en un paso curvo) y permeabilidad de las fases. Existen diferentes métodos para lograr medir estas propiedades publicados en Sahin y Sumnu (2006).

A los fines de una caracterización para la modelación más rigurosa conviene describir a los alimentos sólidos como sólidos con características porosas y propiedades resultantes de su textura, contenido de agua, capacidad gelificante, etc. Es decir que su caracterización más general será de un medio poroso, con capacidad de intercambio de materia y energía en toda su superficie, pudiendo su interior conectarse con el medio ambiente a través de los canales porosos o por la misma capa sólida superficial.

Existen antecedentes de distintas teorías del uso de medios porosos para describir los procesos de transporte. La descripción del transporte de flujo en un medio poroso considerando exactamente la geometría interna de la estructura sólida es generalmente intratable (Bear, 1972). Este aspecto, se vuelve más relevante aún, para el caso de los alimentos, ya que tanto los animales que se destinan para consumo

(*)Reinheimer María Agustina (1), Pérez Gustavo (2)

humano, como las frutas y hortalizas, varían en la composición de sus tejidos, dependiendo de la época del año para el caso de cultivos, el clima, el tipo de alimentación para los animales, características del suelo, etc. Esto hace casi imposible generalizar, tanto propiedades físicas, como estructurales. Una manera exacta se refiere a la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes para determinar la distribución de velocidad del fluido en los espacios huecos. Inclusive si podemos describir y resolver tales detalles, las soluciones conducen a valores de poco uso práctico (Datta, 2007). Por esta razón el continuo estándar no puede ser usado en estos casos. Si bien el estudio de mecanismos de transporte en medios porosos es un campo muy activo, las aplicaciones en materiales alimenticios son escasas, tal vez debido a la dificultad de obtener parámetros de procesos, y la complejidad de las formulaciones de las teorías existentes. La intención del trabajo, es marcar algunos conceptos claves para el estudio del transporte en alimentos sólidos, en donde se relacionen aspectos estructurales con propiedades y mecanismos de transporte.

Metodología

Características de los alimentos porosos
Un medio poroso, se refiere a un sólido conteniendo espacios huecos, o poros, los cuales se encuentran llenos de algún fluido (gas o líquido). Para el análisis, los poros de los alimentos son divididos en

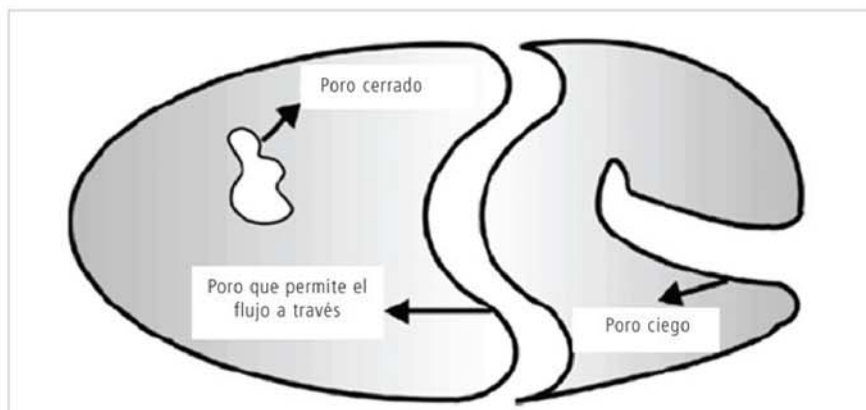


Figura 1.- Clasificación de los diferentes poros (Sahin y Sumnu 2006).

tres grupos: poros cerrados, que tienen todos sus lados cerrados; poros ciegos o tapados, que tienen un extremo cerrado; y los poros que permiten el paso de materia a través de ellos, donde ocurre el flujo de fluidos (Figura 1).

A los fines de la transferencia de cantidad de movimiento, los medios porosos tendrán un comportamiento global como sólido, pero podrán sufrir internamente procesos fluidodinámicos tales como capilaridad, aumento de presión en los canales, etc.

Análisis de mecanismos de transferencia

Los mecanismos de movimiento de humedad dentro de los alimentos sólidos pueden ser resumidos, como transporte de vapor y agua líquida. Los mecanismos de transporte de vapor y en algunos casos aire, consisten de la difusión molecular, difusión de Knudsen, difusión de Stefan, flujo Poiseuille, flujo Darcy y condensación- evaporación. Por otro lado, los mecanismos de transporte de agua líquida dentro de los alimentos sólidos son, flujo capilar, difusión molecular y difusión superficial. A pesar de esto, la difusión es el mecanismo dominante:

- **Difusión molecular:** Los gases como el vapor de agua y el aire en el medio poroso pueden moverse por difusión molecular si los poros son suficientemente grandes.
- **Difusión de Knudsen:** este tipo de difusión ocurre en sólidos con pequeños poros llenos de gases, o a baja presión cuando el principal camino libre de las moléculas es mayor que el tamaño del poro y las moléculas colisionan con las paredes más seguido que entre ellas mismas. En este caso, el flujo de agua es una función de la densidad de vapor y de la difusividad del vapor dentro del producto. El tamaño y cantidad de poros, la tortuosidad y la geometría de la matriz del sólido afectan al flujo de vapor.
- **Difusión de Stefan:** el flujo de agua es función de la presión de vapor, de la pre-

sión total y del coeficiente de difusión de Stefan dentro del producto.

- **Flujo de Poiseuille:** es un flujo de presión inducido en un conducto largo, también llamado flujo de canal. En este caso, está asumido que hay un flujo laminar de un fluido newtoniano incompresible por una diferencia de presión constante.
- **Flujo Darcy:** el transporte de gases y líquidos debido a la presión del gas o de la fase líquida respectivamente puede ser descrito por la ley de Darcy, y dependerá de las propiedades del gas como son densidad, viscosidad y permeabilidad, o de la permeabilidad hidráulica si el fluido es agua en vez de gas, donde el coeficiente de permeabilidad hidráulica dependerá de las propiedades del fluido y de las propiedades de la matriz sólida, como son: distribución del tamaño de poro, forma de los poros, porosidad y tortuosidad.
- **Flujo capilar:** la humedad que está contenida en los intersticios del sólido, como líquido sobre la superficie o como humedad libre en las cavidades de las células, se mueve por capilaridad y gravedad, proveyendo los pasillos para que se produzca el flujo continuo. En secado, el flujo de líquido resultante de la capilaridad, se aplica a líquidos que no estén en solución, y a toda la humedad cercana a la humedad de equilibrio, como en polvos finos o sólidos granulares. La presión capilar debido a la capilaridad y otras fuerzas atractivas es función de la concentración de líquido (contenido de agua) y de la temperatura para un material particular, por lo tanto el flujo capilar podrá describirse como el flujo capilar debido al gradiente de concentración y el flujo capilar debido al gradiente de temperatura, siendo el gradiente de concentración el componente más significativo, suele llamarse a este término difusión líquida por analogía a la ecuación de Fick (Datta 2007).
- **Difusión superficial:** fenómeno observado durante la adsorción de una sustancia que difunde en un sólido. Debido a que la concentración de equilibrio del gas sobre

la superficie, se incrementa con un aumento de la presión parcial de las especies adsorbidas, un gradiente de concentración superficial de la sustancia difusiva aparece en la capa superficial del poro.

Concepto de coeficiente efectivo

Es ampliamente utilizada la descripción de la transferencia de materia mediante un coeficiente de difusión efectivo, pero es necesario tener en cuenta lo que el mismo es capaz de englobar. La difusividad, $Deff$, representa alguna clase de difusividad efectiva para el transporte combinado de líquido y vapor. La ecuación de transferencia de materia con un coeficiente de difusión efectivo para las dos fases combinadas, no puede ser derivada de las leyes fundamentales gobernantes de la conservación de masa de las especies, que son basadas en los bien conocidos mecanismos de transporte. En este caso, la difusividad efectiva es como un factor empírico. La formulación de la difusividad efectiva engloba los diferentes mecanismos de transporte como flujo capilar, flujo por presión, como así también todos los mecanismos posibles; aunque no es fácil relacionar $Deff$ con capilaridad y difusividad del vapor. En la mayoría de los estudios, el valor de difusividad efectiva es obtenido a partir del ajuste de datos experimentales, como son la evolución de la concentración en el tiempo. Todos los posibles procesos alimenticios, incluyendo calentamiento por microondas, secado por microondas y secado combinado convencional y microondas, han sido modelados usando un valor de difusividad efectiva $Deff$.

Resultados y discusión

Durante el procesamiento de los alimentos, varios de estos fenómenos pueden ponerse de manifiesto, en forma simultánea o puede ocurrir que al cambiar las propiedades del sistema multifásico por el procesamiento, cambien las fuerzas impulsoras intervinientes y por ende los mecanismos de transferencia. Sin embargo,

tres grupos: poros cerrados, que tienen todos sus lados cerrados; poros ciegos o tapados, que tienen un extremo cerrado; y los poros que permiten el paso de materia a través de ellos, donde ocurre el flujo de fluidos (Figura 1).

A los fines de la transferencia de cantidad de movimiento, los medios porosos tendrán un comportamiento global como sólido, pero podrán sufrir internamente procesos fluidodinámicos tales como capilaridad, aumento de presión en los canales, etc.

Análisis de mecanismos de transferencia

Los mecanismos de movimiento de humedad dentro de los alimentos sólidos pueden ser resumidos, como transporte de vapor y agua líquida. Los mecanismos de transporte de vapor y en algunos casos aire, consisten de la difusión molecular, difusión de Knudsen, difusión de Stefan, flujo Poiseuille, flujo Darcy y condensación- evaporación. Por otro lado, los mecanismos de transporte de agua líquida dentro de los alimentos sólidos son, flujo capilar, difusión molecular y difusión superficial. A pesar de esto, la difusión es el mecanismo dominante:

- **Difusión molecular:** Los gases como el vapor de agua y el aire en el medio poroso pueden moverse por difusión molecular si los poros son suficientemente grandes.
- **Difusión de Knudsen:** este tipo de difusión ocurre en sólidos con pequeños poros llenos de gases, o a baja presión cuando el principal camino libre de las moléculas es mayor que el tamaño del poro y las moléculas colisionan con las paredes más seguido que entre ellas mismas. En este caso, el flujo de agua es una función de la densidad de vapor y de la difusividad del vapor dentro del producto. El tamaño y cantidad de poros, la tortuosidad y la geometría de la matriz del sólido afectan al flujo de vapor.
- **Difusión de Stefan:** el flujo de agua es función de la presión de vapor, de la pre-

sión total y del coeficiente de difusión de Stefan dentro del producto.

- **Flujo de Poiseuille:** es un flujo de presión inducido en un conducto largo, también llamado flujo de canal. En este caso, está asumido que hay un flujo laminar de un fluido newtoniano incompresible por una diferencia de presión constante.
- **Flujo Darcy:** el transporte de gases y líquidos debido a la presión del gas o de la fase líquida respectivamente puede ser descrito por la ley de Darcy, y dependerá de las propiedades del gas como son densidad, viscosidad y permeabilidad, o de la permeabilidad hidráulica si el fluido es agua en vez de gas, donde el coeficiente de permeabilidad hidráulica dependerá de las propiedades del fluido y de las propiedades de la matriz sólida, como son: distribución del tamaño de poro, forma de los poros, porosidad y tortuosidad.
- **Flujo capilar:** la humedad que está contenida en los intersticios del sólido, como líquido sobre la superficie o como humedad libre en las cavidades de las células, se mueve por capilaridad y gravedad, proveyendo los pasillos para que se produzca el flujo continuo. En secado, el flujo de líquido resultante de la capilaridad, se aplica a líquidos que no estén en solución, y a toda la humedad cercana a la humedad de equilibrio, como en polvos finos o sólidos granulares. La presión capilar debido a la capilaridad y otras fuerzas atractivas es función de la concentración de líquido (contenido de agua) y de la temperatura para un material particular, por lo tanto el flujo capilar podrá describirse como el flujo capilar debido al gradiente de concentración y el flujo capilar debido al gradiente de temperatura, siendo el gradiente de concentración el componente más significativo, suele llamarse a este término difusión líquida por analogía a la ecuación de Fick (Datta 2007).
- **Difusión superficial:** fenómeno observado durante la adsorción de una sustancia que difunde en un sólido. Debido a que la concentración de equilibrio del gas sobre

la superficie, se incrementa con un aumento de la presión parcial de las especies adsorbidas, un gradiente de concentración superficial de la sustancia difusiva aparece en la capa superficial del poro.

Concepto de coeficiente efectivo

Es ampliamente utilizada la descripción de la transferencia de materia mediante un coeficiente de difusión efectivo, pero es necesario tener en cuenta lo que el mismo es capaz de englobar. La difusividad, $Deff$, representa alguna clase de difusividad efectiva para el transporte combinado de líquido y vapor. La ecuación de transferencia de materia con un coeficiente de difusión efectivo para las dos fases combinadas, no puede ser derivada de las leyes fundamentales gobernantes de la conservación de masa de las especies, que son basadas en los bien conocidos mecanismos de transporte. En este caso, la difusividad efectiva es como un factor empírico. La formulación de la difusividad efectiva engloba los diferentes mecanismos de transporte como flujo capilar, flujo por presión, como así también todos los mecanismos posibles; aunque no es fácil relacionar $Deff$ con capilaridad y difusividad del vapor. En la mayoría de los estudios, el valor de difusividad efectiva es obtenido a partir del ajuste de datos experimentales, como son la evolución de la concentración en el tiempo. Todos los posibles procesos alimenticios, incluyendo calentamiento por microondas, secado por microondas y secado combinado convencional y microondas, han sido modelados usando un valor de difusividad efectiva $Deff$.

Resultados y discusión

Durante el procesamiento de los alimentos, varios de estos fenómenos pueden ponerse de manifiesto, en forma simultánea o puede ocurrir que al cambiar las propiedades del sistema multifásico por el procesamiento, cambien las fuerzas impulsoras intervinientes y por ende los mecanismos de transferencia. Sin embargo,

VMC REFRIGERACION S.A.



Profesionalismo y Liderazgo

Más de 250 unidades compresoras Howden para Nh3 instaladas en los últimos años.

55 años de presencia y prestigio en sistemas frigoríficos industriales.



Compresor de Nh3 a tornillos



Enfriadores de Agua a Película Descendente



Enfriadores a Placas

Howden

Representante y montador exclusivo para Latinoamérica.

Placas de intercambio de NH₃

ARAX

powered by
GEA GEA Ecoflex
Arax es marca registrada de Edelflex S.A.



Cristalizadores de Grasas



Certificate of authorization

"The American Society of Mechanical Engineers"

Av. Roque Saenz Peña 729 - S2300JCH - Rafaela - Santa Fe - Argentina Tel.: (54-03492) 432277/432287

Fax: 431951 - e-Mail: ventas@vmc.com.ar

Web-site: www.vmc.com.ar

cuando la intención es modelar un proceso en Ingeniería en Alimentos, conviene ver el mecanismo que prevalecerá en el mismo. Este análisis fue aplicado a la mayoría de los procesos que involucran alimentos sólidos y para una mejor interpretación se describen en la tabla I, la cual lista en qué tipo de operación ocurren flujos de gases (o vapor) y líquidos dependiendo de si la fuerza impulsora es debido a la presión o el gradiente de concentración. En la tabla I, el flujo másico total fue desdoblado por el aporte de flujos convectivos y difusivos de fases líquidas y/o gaseosas.

La tabla I, conduce a una mejor interpretación de los fenómenos presentes en los ali-

mentos sólidos, evidenciando que no solamente, como suele tenerse en cuenta por practicidad, el gradiente de concentración es la única fuerza impulsora en la transferencia de materia.

Importancia del conocimiento de la forma de los poros

Lo mencionado anteriormente es válido en los poros que permiten el flujo a través. Pero es necesario tener en cuenta que los poros restantes tienen efecto en el procesamiento de los alimentos sólidos. Los poros ciegos, no aportan demasiado a la explicación fenomenológica de las operaciones, pero en operaciones de reducción

de humedad pueden llegar a ser contradictorios porque suman resistencia a la transferencia de humedad del interior, además de estar involucrados en los fenómenos de encogimiento en las operaciones de secado. Los poros cerrados que contienen aire en su interior, ponen resistencia al intercambio de calor con el medio ambiente, siendo esta una restricción en operaciones como enfriamiento. Un ejemplo práctico, que es un problema en las industrias de golosinas, es el aire que queda retenido en la masa de caramelo, por lo tanto, cuando el caramelo ya formado es enfriado en el túnel de frío, el aire pone resistencia al enfriamiento, y no se logra extraer todo el calor del interior, lo que causa problemas de deformación en los caramelos, posterior a la envoltura. Estos poros que retienen aire en el interior, influyen también en la densidad aparente del sistema. (Reinheimer y Pérez, 2008). Si bien en este trabajo se ha hecho hincapié en mecanismos de transferencia, por lo tanto, los poros que permiten el flujo a través, es importante analizar la influencia de los restantes poros, por lo que vuelve a destacarse la importancia de incorporar aspectos gráficos reales microestructurales. Se debe resaltar, que es escasa la información real acerca de las propiedades de los alimentos como sistemas porosos, y además pueden observarse cambios entre materias primas y productos, y entre productos obtenidos mediante diferentes operaciones, que se ven reflejado en las propiedades sensoriales detectadas por los consumidores. Para ejemplificar lo dicho anteriormente, los métodos de secado evidencian las diferencias: el proceso de liofilización produce la mayor porosidad, mientras que el secado con aire convencional la menor, comparada con secado osmótico, vacío, microondas de bananas, manzanas, zanahorias y papas (Krokida & Maroulis 1997). Las propiedades mecánicas de los alimentos obtenidos por extrusión se ven afectado por la porosidad

Tabla I.- Mecanismos de transferencia másica en diferentes Operaciones de alimentos sólidos

$n_{gas}^{difusión\ molecular}$	$n_{gas}^{convección}$ (Flujo Darcy)	$n_{líquido}^{difusión\ capilar}$	$n_{líquido}^{convección}$ (Flujo Darcy)
Difusión de vapor en las operaciones de: <ul style="list-style-type: none"> • Secado • Evaporación • Liofilización Efecto secundario, produciéndose difusión de vapor en operaciones de: <ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento • Horneado • Freído 	Efecto secundario de pérdida de humedad en forma de vapor por convección: se produce evaporación interna, el vapor retenido produce aumento de presión, y se produce la convección. Fenómeno apreciado en operaciones de: <ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento por microondas • Calentamiento convectivo • Horneado 	La presión capilar es función de la concentración de líquido y temperatura del material. Fuerza impulsora dominante (gradiente de concentración) durante la operación de Secado de alimentos insaturados. Mecanismo dominante en el secado a baja temperatura, donde la evaporación es débil y la presión no es influyente. Operaciones de: <ul style="list-style-type: none"> • Liofilización • Secado bajo vacío • Secado osmótico, mecanismo presente dentro del alimento También presente en: <ul style="list-style-type: none"> • Operaciones de Extracción Sólido – Líquido: lixiviación • Fenómeno presente en el pretratamiento de blanqueado de alimentos de origen vegetal (solutos solubles en agua) Por capilaridad los alimentos tienden a retener agua en su interior, mecanismo que explica el por qué de la humedad residual en los alimentos secos y/o deshidratados	Mecanismo de transferencia en alimentos de alto contenido de humedad Utilizado para describir operaciones de: <ul style="list-style-type: none"> • Impregnación de solutos bajo vacío • Secado osmótico de frutas, fenómeno presente en la interfase del alimento



tréstudio

Para una solución eficiente de tu proyecto, hay un experto Carrier.

Carrier es la solución superior con los costos operativos más convenientes y la tecnología más eficiente de la industria.

- **Sistemas de agua fría**, con eficiencias entre un 25% y un 40% más altas que el resto del mercado, y niveles sonoros sustancialmente menores*. Los compresores a tornillo más avanzados de la industria que garantizan la máxima eficiencia de mercado y una mayor vida útil, con o sin variador de velocidad.
- **Enfriadoras de condensación por Aire con refrigerantes ecológicos** y Kit hidrónicos de serie que permiten instalación más rápida y económica del mercado.
- **Tecnología VRF (volumen de refrigerante variable)** de gran versatilidad y máxima eficiencia.
- **Unidades de tratamiento de aire** para aplicaciones medicinales.
- **La red de distribución más calificada y capacitada**, para asesorar y proveer servicios de Ingeniería, instalación y posventa para todo tipo de proyectos.
- **Roof Top ecológicos** de máxima resistencia, alta performance y bajo nivel de ruido.

*De acuerdo a certificaciones Eurovent (www.eurovent-certification.com).

MIEMBRO FUNDADOR



CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES ARGENTINA GREEN BUILDING COUNCIL



Carrier®

Turn to the Experts.™

Contacte a su experto Carrier más cercano al **0810 222 CARRIER**
www.carrier.com.ar • proyectos@carrier.utc.com **2277437**

(Guraya & Toledo 1996), y también produce efecto en los productos de panadería, como ser la miga y cáscara de pan (Mandala & Sotirakoglou 2005). También, cabe resaltar que durante el proceso de freído de alimentos, los mismos tomaran mayor aceite a mayor porosidad (Pinthus, Weinberg & Saguy 1995).

Conjunto estructura-propiedades.

Relación con el consumidor

Las propiedades finales de los productos alimenticios son los resultados de los cambios en la materia prima como una consecuencia de las condiciones del proceso. En el caso de coloides o alimentos de origen celular, estos cambios pueden ser observados como diferencias en factores de calidad como composición del alimento, aspectos nutricionales, sabor, aroma, forma y tamaño, color, textura, etc. Estos cambios en las propiedades de los alimentos pueden ser explicadas porque los fenómenos físicos y químicos producidos en línea con el progreso del proceso, como deformaciones en las estructuras, reacciones químicas o enzimáticas, transiciones de fase, etc.

La estructura relaciona la manera en la que la materia y la energía se organizan dentro del volumen del sistema. Como una consecuencia, complejidad se refiere al nivel de estructura como así también funcionalidad refiere a las propiedades del sistema. El conjunto estructura-propiedades refiere al conocimiento de la estructura y propiedades en un sistema como así también el entendimiento o comprensión de las relaciones existentes entre los dos conceptos y, por supuesto, la capacidad de predecir los cambios en las propiedades de los alimentos, producidos cuando ocurre algún cambio en la estructura del alimento.

Como es sabido, algunos alimentos son monofásicos; líquidos (soluciones acuosas como aceite o jugos clarificados) o cristales

(como cloruro de sodio o sucrosa) pero la mayoría de ellos pertenecen a las categorías más complejas: coloides o estructuras celulares o multicelulares. Por lo tanto, en los sistemas alimenticios la estructura relaciona sus complejidades celular, coloidal, polimérica y molecular y consecuentemente, su funcionalidad está relacionada con sus propiedades químicas, físicas, biológicas y sensoriales. Algunas de estas propiedades son usadas por los consumidores para definir la calidad del alimento. Por esta razón, es muy importante ser capaz de analizar y evaluar, en cualquier sistema alimenticio, el conjunto estructura-propiedades y su relación con los factores de calidad y seguridad del alimento, como es apreciado por los consumidores.

Conclusiones

Los modelos obtenidos por una vía simplificada, en los cuales sólo es contemplado como fuerza impulsora el gradiente de concentración, o en aquellos casos que se utilizan las ecuaciones termodinámicas deducidas en condiciones cercanas al equilibrio para modelar alimentos en condiciones alejadas del equilibrio, no pueden predecir con certeza los cambios que se manifiestan debido a los procesos industriales. Se analizó en diferentes operaciones, que el mecanismo de transferencia de materia no se debe solamente al gradiente de concentración. Además se ejemplificó la importancia de la estructura porosa en distintos tipos de alimentos.

Por último, se concluye que conocer el parámetro porosidad solamente no es suficiente para hacer una descripción completa de los fenómenos intervinientes en las distintas operaciones, sino se debe caracterizar la naturaleza de los poros con un conocimiento de la microestructura o hipótesis conducentes a la interpretación de ésta.

Bibliografía

- Bear J. 1972. Dynamics of fluids in porous media. New York: American Elsevier Publishing Company, Inc.
- Crank J. 1985. The mathematics of diffusion. New York: Oxford University Press.
- Datta AK. 2007. Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations. *Journal of Food Engineering*, 80: 80-95.
- Guraya HS, Toledo RT. 1996. Microstructural characteristics and compression resistance as indices of sensory texture in a crunchy snack product. *Journal of Texture Studies*, 27: 687-701.
- Krokida MK, Maroulis, ZB. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15: 2441-2458.
- Mandala IG, Sotirakoglou K. 2005. Effect of frozen storage and microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 19: 709-719.
- Pinthus EJ, Weinberg P, Saguy IS. 1995. Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, 60: 767-769.
- Reinheimer M.A, Pérez GA. 2008. Hard Candies Cooling. Modelling the operations conditions taking into account heat transfer coefficient and experimental values of the physical properties. *Anais do XVII COBEQ*.
- Sahin S, Sumnu SG. 2006. Physical properties of foods. New York: Springer. pags. 20-32. ■

(*)Reinheimer María Agustina (1), Pérez Gustavo (2)

(1) INGAR -Instituto de Desarrollo y Diseño- CONICET-UTN. Santa Fe, Argentina

(2) Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina

mareinheimer@santafe-conicet.gov.ar

Año de realización: 2009