



1

# DEFIENDASE

**IMPULSE SU INMUNIDAD**  
**CON PREMEZCLAS NUTRICIONALES DISEÑADAS.**

Los consumidores están buscando nuevas formas de elevar su poder inmunológico y defenderse de las enfermedades. Para alcanzar éste y otros objetivos de salud, las premezclas nutricionales especialmente diseñadas son la clave. Explore. Descubra. Cree oportunidades. Comience con Fortitech y con la Nutrición Estratégica.

**FORTITECH**<sup>®</sup>  
NUTRICIÓN ESTRATÉGICA

**DESCARGAR**

Obtenga de forma **GRATUITA** el artículo técnico "Nutrientes que Impulsan la Inmunidad", en [fortitech.com/immunity](http://fortitech.com/immunity)

Para obtener más información, llame a un representante de Fortitech:

Argentina +54.11.4798.1500

Brasil +55.19.3765.8900

Chile +56.2.947.3300

Colombia +57.1.360.2300

Costa Rica +506.262.8582

México +52.55.5002.5400

Uruguay +598.2.401.8528

Venezuela +58.243.232.6357

Fortitech es una empresa con certificación ISO 9001:2000. ©2009 Fortitech, Inc. Todos los derechos reservados.

# Ingeniería de Matrices en Alimentos, Uso de la Funcionalidad de la Estructura del Agua en el Desarrollo de Productos Alimenticios Secos

P. Fito\* y A. Chiralt\*

La ingeniería de matrices en alimentos es una rama de la ingeniería de alimentos enfocada en conocer la composición de una matriz de alimentos, estructura y propiedades para promover y controlar cambios adecuados al objetivo final.



Foto: Joan Vicent Canto

Las estructuras de sistemas de alimentos (ej., tejidos celulares) son estructuras disipativas cuya funcionalidad dependen principalmente de sus proteínas (propiedades físico-químicas, químicas y reacciones bioquímicas), interacciones externas con el ambiente (interacciones con microorganismos, trayectorias de las transferencias de masa y energía) y especialmente, sus interacciones con consumidores (valor nutricional, calidad, gusto y sabor, textura, apariencia: tamaño, forma, color). Los procesos de deshidratación y rehidratación incluyen el fenómeno de transferencia de masa y energía (agua, solutos) junto con cambios micro y macroestructurales los cuales producen efectos importantes en la funcionalidad del alimento. El control de estos cambios es el principal interés en el desarrollo de alimentos. Este control se debe aplicar no sólo a los cambios de las propiedades fisicoquímicas sino también a aquellas relacionadas con los consumidores.

La ingeniería de matrices en alimentos es una rama de la ingeniería de alimentos la cual se enfoca en aplicar el conocimiento de la composición de una matriz de alimentos, estructura y propiedades para promover y controlar cambios adecuados los cuales pueden mejorar algunas propiedades sensoriales y/o funcionales en el alimento. Estos cambios, que son causados por algunas operaciones básicas, se relacionan con el fenómeno de transferencia de masa y energía, vaporización-condensación, liberación de gas o líquido interno, deformación-relajación de la estructura y fases de transición en los componentes de la matriz, las cuales generalmente se conectan dentro del progreso de la operación. El producto final puede ser un producto nuevo con composición y propiedades sensoriales mejoradas y/o mayor estabilidad. Todos estos conceptos se discuten en este artículo usando varios ejemplos relacionados con la aplicación de técnicas de deshidratación de alimentos combinados.

## Introducción

En los últimos años, se han desarrollado varias propuestas sobre los principios de deshidratación de alimentos (aplicadas para combinar las

tecnologías de secado o de deshidratación osmótica), especialmente en lo que respecta al caso de los tejidos celulares estructurados de alimentos (frutas y vegetales, pescado y carne, etc) y alimentos coloides (crema, queso, etc). Los puntos principales incluidos en estas propuestas son (Lazarides et al., 1998; 2001):

- Reconocimiento del papel de la estructura de los alimentos en la transferencia de masa y energía y el fenómeno de deformación-relajación (Fito et al., 1996; Yao y Le Maguer, 1996; Shi y Le Maguer, 1997, 1997; Salvatori et al., 1998).
- Una descripción termodinámica más precisa de sistemas de alimentos (fases y componentes, fuerzas de transmisión, mecanismos de transferencia, fase de transición y etapas de pseudo-equilibrio)(Barat et al., 1998, 1999; Gekas et al., 1998).
- Mayor atención en el desarrollo del perfil composicional y estructural y los efectos en la viabilidad de las células de tejidos (Salvatori et al., 1999 a, b; González-Martínez et al., 2002).
- El análisis de características micro y macroestructurales y las rela-

\*Departamento de Tecnología de alimentos, Instituto de Ingeniería de Alimento para el Desarrollo (IAD) Universidad Politécnica de Valencia.

ciones entre la funcionalidad de los alimentos (especialmente con respecto a los cambios en textura, desarrollo de forma y tamaño y fenómeno de encogimiento/expansión) (Barat et al., 2001<sup>a</sup>; Bilbao, 2002).

- Más modelos matemáticos detallados que incluyan balance de materia, masa y energía y ecuaciones cinéticas adecuadas. Estos modelos deben incluir no sólo las ecuaciones de transferencia de masa y energía sino también predecir la funcionalidad y cambios de calidad (Le Maguer y Yao, 1995; Yao y Le Maguer, 1996; Fito y Chiralt, 1997; Salvatori et al., 1999a,b; Escriche et al., 2000).

Se ha renovado la atención para mejorar las tecnologías en los procesos de deshidratación, de manera que se promueva el uso del concepto "agua-estructura-funcionalidad en conjunto" en el desarrollo de productos alimenticios secos.

La calidad del alimento se incluye en este concepto como parte de la funcionalidad del alimento evaluada por los consumidores. Algunos ejemplos de estas tecnologías son:

- Nuevos pre-tratamientos para mejorar los procesos de deshidratación de alimentos y productos (impregnación al vacío, deshidratación osmótica...).
- Nuevas tecnologías en la deshidratación de alimentos (campos eléctricos, goteo sucesivo a presión, uso de membranas, deshidratación osmótica al vacío...).
- Procesos combinados de formulación-deshidratación (impregnación al vacío, deshidratación osmótica, deshidratación osmótica al vacío...).
- Procesos combinados de secado (combinación de secado con aire,

secado al vacío, microondas, deshidratación osmótica).

- Nuevos objetivos para aplicar la deshidratación (ingeniería de producto).
- Aplicaciones en ingeniería de matrices en alimentos (FME) como la desarrollada para alimentos frescos enriquecidos.

La posibilidad de controlar los efectos del fenómeno de transferencia de masa y energía en la deformación-relajación que ocurren en la matriz de un alimento sólido (y viceversa) mejora la efectividad al desarrollar ingeniería en alimentos nuevos con características de funcionalidad/calidad definidas.

### **Ingeniería de Matrices en Alimentos**

Entonces, la ingeniería de matrices en alimentos se puede definir como una rama de la ingeniería de alimentos dirigida a aplicar el conocimiento de la composición de la matriz de un alimento, estructura y propiedades para promover y controlar los cambios adecuados que mejoran algunas propiedades sensoriales y/o funcionales de un alimento. Estos cambios incluyen el fenómeno de transferencia de masa y energía, vaporización, condensación, gas interno o liberación de líquido, estructura de deformación-relajación y fases de transición en los componentes de la matriz, generalmente ajustadas en línea con el progreso de la operación (Fito et al., 2001a,b). El producto final puede ser un nuevo producto con composición y propiedades sensoriales y/o estabilidad mejoradas.

Ejemplos actuales de FME en productos formulados son: pre-tratamientos de desestructuración, coloides: geles y emulsiones (ingeniería estructural), extrusión, freído intenso, horneado y esponjado.

Las tendencias futuras de la ingeniería de matrices de alimentos estructurados (por ej., tejidos celulares) pueden ser: impregnación al vacío, proceso de secado combinados (deshidratación osmótica, aire caliente, vacío, microondas, IR) películas comestibles (ingeniería de estructuras como "célula en coloide" o "coloide en célula") e ingeniería de alimentos naturales.

Este artículo proporciona una descripción preliminar sobre algunas posibilidades de ingeniería de matrices para ciertos alimentos y se analizan las diferentes tecnologías incluidas en este tema con algunos ejemplos de sus aplicaciones en el secado de alimentos.

### **Sistemas de Alimentos: Complejidad y Funcionalidad**

Las principales características de los sistemas de alimentos es su nivel más alto de complejidad (Figura 1). Los alimentos generalmente pertenecen a una categoría denominada "materia condensada suave" basada en una organización celular. Además, se deben añadir una gran cantidad de alimentos procesados a la categoría de sistemas coloidales, ambos grupos muestran los niveles más altos de complejidad. La complejidad de los sistemas de alimentos giran en torno a su composición química (una gran cantidad de compuestos, algunos de ellos biopolímeros) y su estructura (tejidos celulares compartidos o coloides), lo cual implica, desde el punto de vista termodinámico, que son sistemas multi-componentes y polifásicos.

En los últimos años, ha habido un progreso significativo en el análisis de sistemas de alimentos:

- i) Mayor conocimiento de la estructura "materia condensada suave"

- (biopolímeros, coloides, tejidos celulares...).
  - ii) Nuevas técnicas para la observación de la estructura de la materia (microscopía de escaneo electrónico, imagen NMR, luz sincrotrón)
  - iii) Reconocimiento del papel de la estructura en los sistemas de alimentos: relaciones proceso-estructura-funcionalidad.
  - iv) Mejor definición termodinámica de los sistemas: fases, componentes, fases de transición, etc.
  - v) Mejor conocimiento del papel de la estructura en situaciones de pseudo-equilibrio y su influencia en la trayectoria de los sistemas hacia un equilibrio termodinámico.
  - vi) Mayor entendimiento del papel de la estructura en las propiedades físicas y sensoriales del alimento.
  - vii) Mayor entendimiento del papel de la estructura en el fenómeno de transporte: mecanismos y cinética.
- La complejidad de los sistemas de alimentos es coherente con su funcionalidad específica. Prigogine definió a los sistemas biológicos como estructuras disipadas, lejos del equi-

librio termodinámico, que interactúan con sus alrededores mientras ocurre el fenómeno de transporte y el consumo de energía.

Su actividad biológica y la fase de transición que ocurre en sus componentes durante el proceso de los alimentos afecta mayormente su comportamiento durante la transferencia de masa y el fenómeno de deformación-relajación involucrado. En estas situaciones, los cambios en la funcionalidad del alimento implica cambios en la calidad del alimento. La funcionalidad de los sistemas de alimentos estructurados involucran:

- i) Su funcionalidad interna: propiedades físicas, reacciones bioquímicas, propiedades de equilibrio de la transferencia de masa y etapas de pseudo-equilibrio, cambios en la micro y macroestructura, viabilidad celular.
- ii) Funcionalidad externa, apariencia (tamaño, forma, color...), transferencia de masa (agua, solutos...), interacciones con microorganismos.

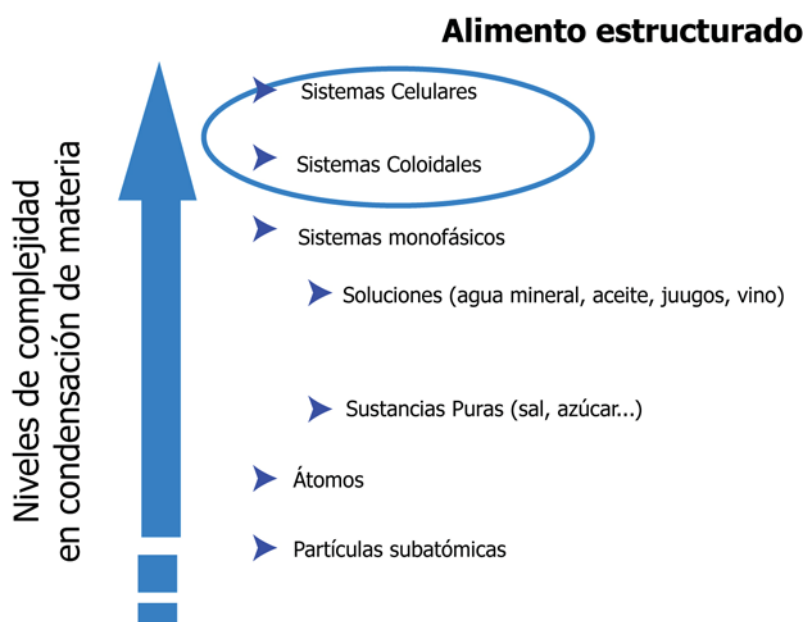
- iii) Calidad de alimentos (interacciones con consumidores).

### Modelado de las Operaciones de Deshidratación-Hidratación

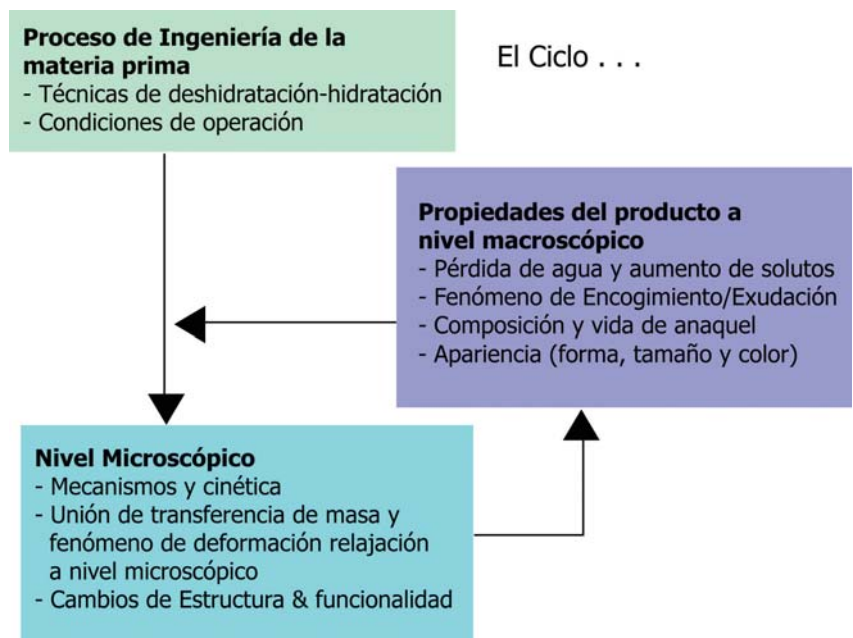
Desde el punto de vista de desarrollo de productos alimenticios, queda claro que los modelos de operación afectan no sólo la cinética del secado y el consumo de energía sino también la calidad del producto final. Las características de calidad del alimento se relacionan con los cambios en la composición, color, sabor, textura, volumen, tamaño y forma en línea con el proceso de deshidratación-hidratación. La limitación principal se deberá a la complejidad estructural y funcional de los tejidos celulares y a la falta de conocimiento de su papel en los mecanismos de transferencia de masa y energía junto con el fenómeno de deformación-relajación a nivel (celular) microscópico. Estos mecanismos microscópicos en conjunto, junto con la fase del fenómeno de transición, producirá un encogimiento del producto y exudación a nivel macroscópico (Figura 2). Por el momento esta relación no está totalmente entendida, sin embargo, en los últimos años se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La importancia del reconocimiento de diferentes mecanismos de transferencia de masa en tejidos celulares (Tyree, 1976; Fito et al., 1996; Yao y Le Maguer, 1996): simplasto (célula a célula a través del plasmodesmo) apoplasto (a través de la membrana celular y espacios intracelulares) flujos transmembrana (endocitosis de fluidos externos, vesiculación de la membrana plasmática como respuesta al estrés osmótico), mecanismo hidrodinámico (HDM), etc.
- Los mecanismos hidrodinámicos generalmente actúan en conjunto con el fenómeno de deformación-relajación de la matriz sólida en

**Figura 1. Niveles de complejidad en la condensación de materia. Los sistemas de alimentos pertenecen al nivel más alto de complejidad (sistemas coloidales y celulares).**



**Figura 2. El diagrama muestra la retroalimentación producida en la línea con un proceso de deshidratación ó hidratación. El fenómeno de la transferencia de masa ( una eventual transferencia de energía) produce cambios a nivel microscópico y macroscópico y consecuentemente variaciones en las propiedades físicas del alimento. Estos cambios producen también cambios en los mecanismos cinéticos en el fenómeno de transporte.**



diferentes grados (Fito et al., 1998; Barat et al., 2001b).

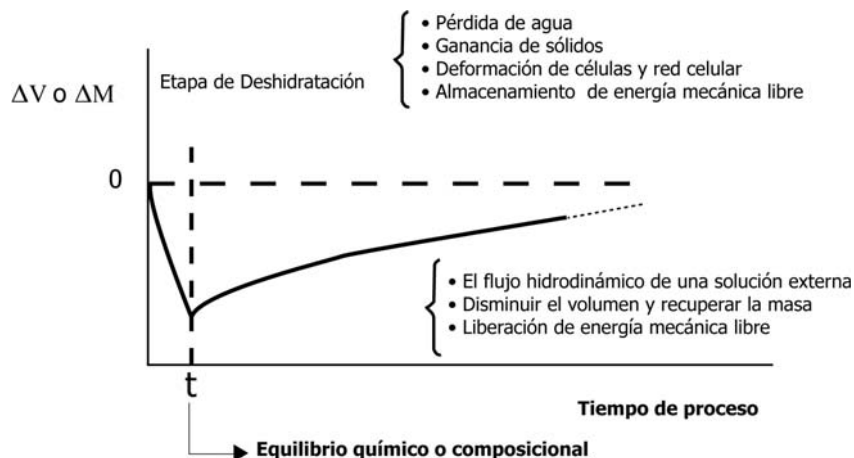
- El mecanismo de difusión de Fick por si solo no es suficiente para describir adecuadamente el fenómeno de transferencia de masa en dichos sistemas complejos (Salvatori et al., 1999a,b).
- La porosidad en matrices sólidas se debe predecir por el efecto del tiempo y distancia hacia la interface (Albors, 2002; Bilbao, 2002).
- Se deben calcular los balances de volumen, incluyendo la fase gaseosa, en cualquier modelo utilizado para predecir los cambios en el tamaño, la forma y el volumen (Barat et al., 2001c).
- Los perfiles de los cambios en la estructura, junto con los perfiles de concentración, juegan un papel importante en el desarrollo de modelos matemáticos (Salvatori et al., 1999a,b; Albors, 2002; Bilbao, 2002).

Los próximos dos casos son muestra de las situaciones en donde se analizaron en conjunto la transferencia de masa y el fenómeno de deformación-relajación.

## Caso del Proceso de Deshidratación Osmótica en Tejidos de Alimentos

La Figura 3 ilustra una trayectoria típica de un proceso continuo de deshidratación osmótica, en donde se observan dos etapas principales (Barat et al., 2001). Durante las primeras horas, la pérdida de agua provocó fuertes deformaciones (pérdida de masa y volumen y encogimiento) y algunas veces el endurecimiento superficial hasta que la actividad del agua y los solutos alcanzan valores iguales a los de la solución osmótica. Después del pseudo-equilibrio, la masa y volumen de la muestra vuelve a aumentar. El estrés mecánico almacenado en la matriz del alimento durante el secado debido al encogimiento, se libera como exudación. Este fenómeno produce gradientes de presión en la matriz del alimento, lo que promueve el flujo del líquido externo dentro de la estructura. Esta transferencia de masa se procede por el HDM a través de los espacios y algunas veces a través de la pared celular. La cinética de este flujo de masa del HDM en el proceso osmótico continuo después que el equilibrio composicional se ha alcanzado y modelado al relacionar los flujos de masa a la presión de goteo

**Figura 3. Trayectoria típica en un proceso de deshidratación osmótica continuo. Los valores de volumen ( $\Delta V$ ) y masa ( $\Delta M$ ) de la muestra cambian en la línea con el tiempo de proceso. Se pueden observar dos etapas: la etapa de deshidratación para  $0 < t < t_c$  y la etapa de relajación  $t_c$ .**



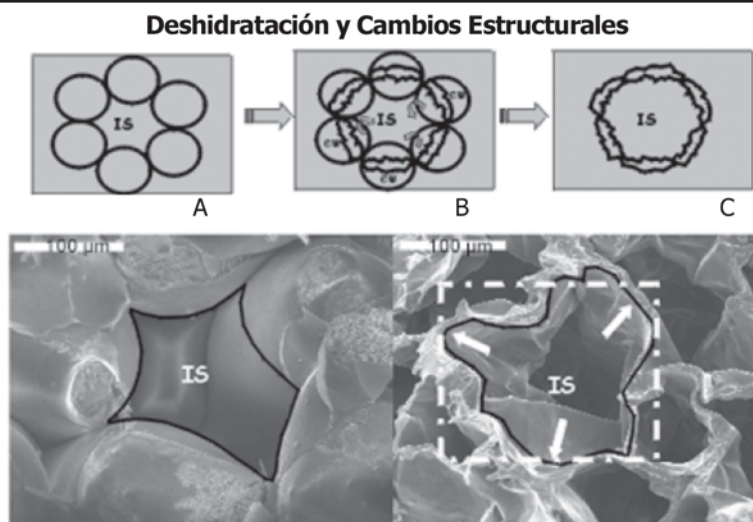
en los elementos estructurales usando la ecuación de Peleg (Fito et al., 2000). Este conocimiento se ha utilizado para mejorar los procesos de dulces de fruta así como en las operaciones de salado de pescado.

### El Caso de Procesos Combinados de Deshidratación en Tejidos de Alimentos

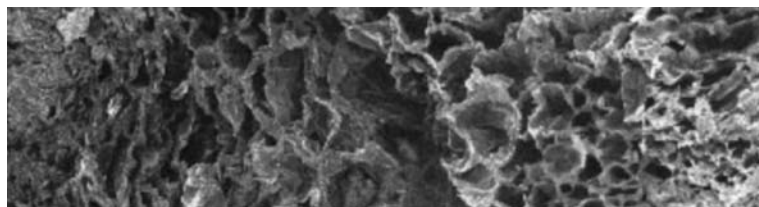
En los procesos combinados de deshidratación (secado con aire, microondas, deshidratación osmótica,

impregnación al vacío, etc.) los efectos de vaporización de agua interna y la transición de la matriz de vidrio promovida por fuertes flujos de calor (inherente para la aplicación de microondas) juegan un papel importante en los cambios dramáticos, usualmente irreversible y heterogéneos que ocurren en la estructura. Estos mecanismos junto con el fenómeno de deformación-relajación arriba mencionado, acontece por el fenómeno de transferencia de masa. En este caso, el índice de calor generado por microondas, como se comparó con el transporte convectivo de calor, es una herramienta efectiva para alcanzar productos finales que difieren enormemente en textura, estructura, tamaño y forma (Bilbao, 2002; Martín, 2002). También el efecto combinado de estos fenómenos afecta la porosidad del alimento. Los cambios estructurales en las células de una muestra de manzana (Granny Smith) secada por dos horas a 70°C con aire a 2m/s (Figura 4) provoca un arreglo típico de seis células del parénquima de la manzana, definiendo un espacio celular (IS) y la pérdida de agua promueve el colapso celular y un aumento en el volumen IS (Bilbao, 2002). Entonces, la porosidad aumenta, como se observa en la Figura 5, en donde el perfil estructural de la misma muestra se ha sometido a un análisis de imagen para determinar el perfil de porosidad (Albors, 2002). El valor de porosidad es máximo cerca de la interfase, con un decremento abrupto en la interface por el endurecimiento superficial y una ligera disminución en la parte interior de la muestra, siguiendo el perfil del contenido de la muestra de agua.

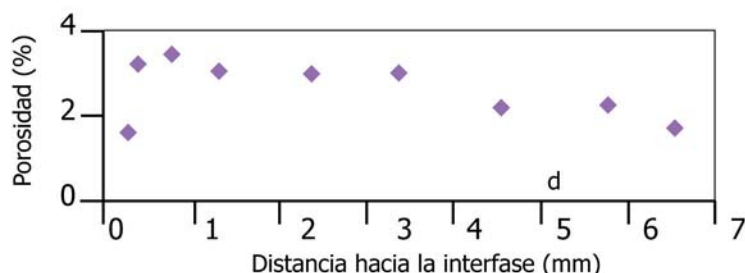
**Figura 4. Cambios estructurales en las células de muestras de manzana (Granny Smith) seca por dos horas a 70°C en aire a 2m/s. Un conjunto de seis células con un espacio intracelular (IS). A: Pérdida de agua y colapso celular. B: Obtención de un mayor espacio intercelular (ew= agua evaporada). C: La observación Cryo-SEM de un conjunto de células-IS antes del secado (izquierda) y después del secado (derecha) confirma el encogimiento. En la foto del lado derecho, el cuadro blanco representa aproximadamente la misma área de la foto entera del lado izquierdo.**



**Figura 5. Perfil estructural (Cryo-SEM) de células de muestras de manzana secada (Granny Smith) por dos horas a 70°C con aire a 2 m/s. Los valores de porosidad calculados por el análisis de imagen muestra la trayectoria de deformación de una interfase sólido-gas (lado izquierdo) a la parte central de la muestra (lado derecho).**



Perfil Estructural del tejido de manzana seca



**Fuente:**

Food Sci Tech Int, 2003.

Traducción: I.A. Violeta Morales V.