



Revista Chilena de Nutrición

ISSN: 0716-1549

sochinut@tie.cl

Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y
Toxicología
Chile

Marín B., Eduardo; Lemus M., Roberto; Flores M., Verónica; Vega G., Antonio
LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS
Revista Chilena de Nutrición, vol. 33, núm. 3, diciembre, 2006
Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46914636009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS

THE REHYDRATION OF DEHYDRATED FOODS

Eduardo Marín B. (1), Roberto Lemus M. (2), Verónica Flores M. (2), Antonio Vega G. (2)

(1) Departamento de Química, Universidad de La Serena, La Serena, Chile.

(2) Departamento de Ingeniería en Alimentos, Universidad de La Serena, La Serena, Chile.

ABSTRACT

Dehydrated food has always been used for direct consumption when food is scarce. However, nowadays this kind of food is being used to formulate other kinds of food, either as ingredients for functional food, snacks, dairy products, whole-grain breakfast, cereal bars, or as part of food with prebiotics or probiotics components. However, most of dehydrated food must be rehydrated in determined solutions such as water, sweetened water and saline, among others, before being consumed. This research presents a bibliographical review on food rehydration, and the importance of studying in depth the phenomena of matter transfer, the changes of nutritional and sensorial attributes occurred during rehydration of dehydrated products and the factors that influence this process, all analyzed through concrete examples.

Key words: dehydration, rehydration, factors, models, microstructure.

RESUMEN

Los alimentos deshidratados siempre han sido utilizados para consumo directo en épocas de escasez, sin embargo actualmente están siendo muy utilizados para la formulación de otros tipos de alimentos, ya sea como ingredientes de alimentos funcionales, bocadillos, productos lácteos, desayunos integrales, barras de cereales o como parte de alimentos con componentes prebióticos o probióticos. No obstante, gran parte de los alimentos deshidratados se deben rehidratar en soluciones determinadas como agua, azucaradas, salinas, entre otras, antes de ser consumidos. Este trabajo presenta una revisión bibliográfica de la rehidratación de alimentos y se analiza con ejemplos concretos la importancia de estudiar en profundidad los fenómenos de transferencia de materia, los cambios en las propiedades nutricionales y sensoriales ocurridos durante la rehidratación de alimentos deshidratados, como asimismo los factores que influyen en este proceso.

Palabras claves: deshidratación, rehidratación, factores, modelos, microestructura.

Importancia de los alimentos deshidratados

El agua es el principal componente de los alimentos, ayudándoles a mantener su frescura, sabor, textura y color. Además de conocer el contenido de agua o humedad de un alimento, es imprescindible conocer si ésta está disponible para ciertas reacciones bioquímicas, enzimáticas, microbianas, o bien interactuando con otros solutos presentes en el alimento, como son, proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas (1).

La deshidratación a través de la historia es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para la conservación de los alimentos. Ya en la era paleolítica, hace unos 400.000 años, se secaban al sol alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, aprendiendo mediante ensayos y errores, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos, no solo necesarios sino que también nutritivos (2). Esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua (aw) mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento. Para ello se pueden utilizar varios métodos de deshidratación o combinación de los mismos, tales como secado solar, aire caliente, microondas, liofilización, atomización, deshidratación osmótica, entre otros. (3). No obstante, para obtener alimentos deshidratados de buena calidad es imprescindible estudiar en detalle los fenómenos de transferencia de materia y energía involucrados en el proceso, como los cambios producidos a nivel estructural (porosidad, firmeza, encogimiento, densidad) y las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en el momento del proceso (oxidación, enzimáticas, no enzimáticas, desnaturalización).

Desde el punto de vista comercial una importante ventaja de utilizar esta técnica, es que al convertir un alimento fresco en uno procesado (deshidratado) se añade valor agregado a la materia prima utilizada. Además se reducen los costos de transporte, distribución y almacenaje debido a la reducción de peso y volumen del producto en fresco (4).

Hoy en día, muchos alimentos deshidratados sirven de base para el desarrollo y formulación de nuevos productos, ya que estos al ser fuentes de proteínas, vitaminas, minerales, fibra dietética y antioxidantes, por esta razón es que son considerados como componentes o ingredientes de alimentos funcionales, debido a su fácil incorporación en productos lácteos (leches, postres, yogurt, helados), galletas, pasteles, sopas instantáneas y en platos preparados (3).

Antecedentes generales de la rehidratación de alimentos

Algunos alimentos deshidratados enteros, en trozos o pulverizados, deben ser rehidratados para su consumo o uso posterior en diferentes procesos. Es por ello que el estudio de la transferencia de materia ocurrida durante el fenómeno de rehidratación es importante, por ejemplo para el caso de la leche en polvo, ésta no solo debe disolverse rápidamente, sino que también se debe formar una solución uniforme de características lo más parecida posible a la leche fresca (5).

Es importante considerar que la rehidratación no es el proceso inverso a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen diferentes mecanismos de transferencia de materia y dependen de factores distintos. Las operaciones previas a la deshidratación, llamadas pretratamientos, tienen marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente

rehidratado. Aquellos pretratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos permiten evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación (6). Ya durante el escaldado de vegetales, existen pérdidas por difusión de sólidos: vitaminas, azúcares, aminoácidos, minerales; adicionalmente una cantidad importante de sólidos solubles puede migrar a la solución durante la rehidratación, afectando la calidad nutricional del producto y su capacidad de imbibición de agua (7). Los pretratamientos que emplean altas presiones, previos a la deshidratación osmótica provocan cambios en la estructura de los tejidos, la compactación de las estructuras celulares y transformaciones de los geles de la pectina, modificando negativamente la posterior rehidratación del producto (8). Por otra parte la deshidratación a altas temperaturas provoca cambios que son irreversibles en el alimento: pérdida de textura, disminución de vitaminas, color y aroma, entre otros.

Varios autores proponen que la rehidratación se puede considerar como una medida del daño en el alimento ocurrido durante la deshidratación, considerándose como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco, anteriormente deshidratado con o sin pretratamientos al secado (5). En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado, siendo los alimentos deshidratados en condiciones óptimas, los que se deterioran menos y se rehidratan de forma normal (9).

Los alimentos deshidratados deben en lo posible rehidratarse lo mas rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco, como también sus propiedades nutricionales y sensoriales (10). Para ello se han propuesto nuevas tecnología de secado además de combinaciones de las ya existentes, pero de altos costos, no resultando rentables a nivel industrial. Por ejemplo, se han realizado experimentos de rehidratación aplicando vacío y ultrasonidos (11). No obstante, el aumentar la temperatura de la solución rehidratante sigue siendo el método más utilizado para reducir el tiempo de rehidratación sin incurrir en mayores costos de operación.

Dentro de los medios de rehidratación mas utilizados en alimentos se encuentran, la inmersión en agua como la mas simple, en soluciones azucaradas (glucosa, sacarosa, trehalosa), leche, yogur, jugos de frutas y verduras, entre otras, donde los períodos de inmersión, deben ser breves, y estos medios de rehidratación ayuden a conseguir un producto de características similares al producto fresco (12).

En cuanto a la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación (figura 1), se puede mencionar que el agua (o solución hidratante) es absorbida más rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio, es decir, que todos los espacios inter o intracelulares queden saturados con agua o con solución hidratante. De esta manera la absorción de agua por parte de los tejidos del alimento deshidratado aumenta sucesivamente el volumen del mismo, junto con una salida de los sólidos desde el interior de estos tejidos (13).

En resumen, en el fenómeno de la rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) la absorción de agua dentro del material deshidratado, b) la lixiviación de solutos y c) el hinchamiento del material (14), donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a las cantidad de agua absorbida, aumentado o recuperando su tamaño y volumen inicial. Las variables operacionales del secado (temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo) afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, por lo que es común utilizar índices numéricos para observar este efecto, entre estos indicadores destacan la capacidad de rehidratación (ecuación 1) y la capacidad de retención de agua (ecuación 2), que tienen que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento. Estos índices pueden disminuir o aumentar,

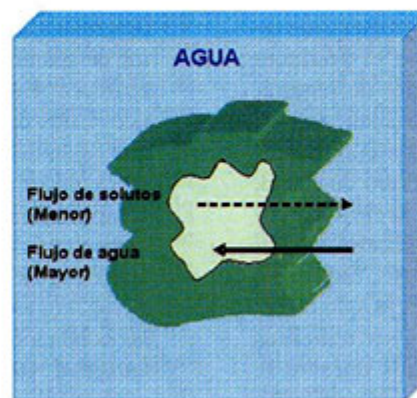
ya sea por una desnaturalización y/o agregación de proteínas bajo el efecto calor, concentración de sales, desorción de agua, destrucción de pectinas y membranas celulares (15).

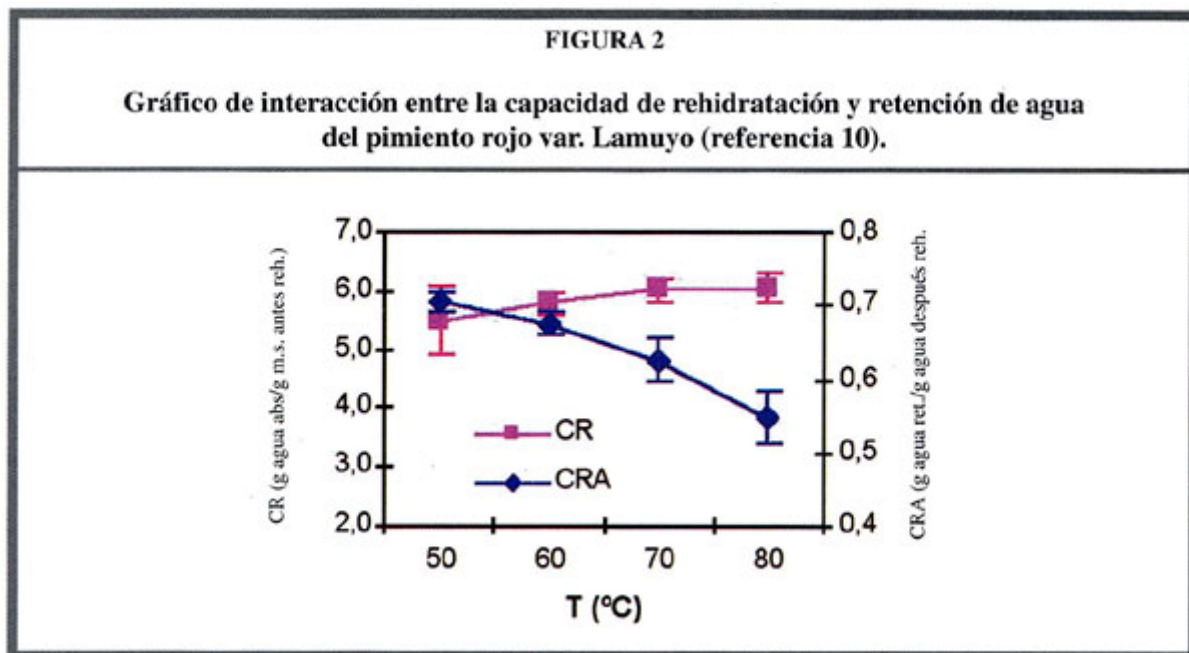
$$CR = \frac{\text{contenido de agua absorbida}}{\text{masa de la muestra deshidratada}} \quad (\text{ecuación 1})$$

$$CRA = \frac{\text{contenido de agua retenida}}{\text{materia seca de la muestra deshidratada}} \quad (\text{ecuación 2})$$

FIGURA 1

Representación de la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación de un alimento deshidratado.





En la figura 2 se puede observar el gráfico de interacción entre la capacidad de rehidratación (CR) y la capacidad de retención de agua (CRA) del pimiento rojo, donde se demuestra que a medida que aumenta la temperatura de secado se produce el mayor daño de los tejidos vegetales (membrana y pared celular), lo que implica en una mayor capacidad de rehidratación y una menor capacidad de retención de agua, es decir, que los tejidos al estar mas dañados son capaces de absorber mas agua pero no pueden retenerla (10).

Factores que influyen sobre el proceso de rehidratación

Dentro de los factores que influyen en los mecanismos de transferencia de materia ocurridos durante el fenómeno de rehidratación de alimentos, están los factores propios del proceso de deshidratación (pretratamiento, método de secado, temperatura y velocidad de secado, almacenamiento) y las condiciones de rehidratación a utilizar (6).

Factores extrínsecos del proceso de rehidratación

- **Pretratamiento al secado:** todo pretratamiento de secado tiene cierta influencia sobre el producto deshidratado en el proceso posterior de rehidratación. Estos pretratamientos se pueden citar de acuerdo a tratamientos químicos con compuestos inorgánicos (dióxido de azufre, cloruro de calcio, metabisulfito de potasio, cloruro de sodio, bicarbonato de sodio), orgánicos (sacarosa, glicerol, dextranos, almidón) o no químicos (osmosis, escaldado, congelado, altas presiones) (6). Por ejemplo la tecnología con altas presiones pueden ser utilizados para reducir la pérdida de solutos durante la rehidratación, una posible razón se puede atribuir a los cambios estructurales por las altas presiones: compactación de la estructura celular y la formación de una re-gel con iones ligados a pectina de-esterificada (8).

- **Método de secado:** los diferentes tipos o sistemas de secado son la principal causa que pudiese afectar la rehidratación del producto deshidratado. También se pueden hacer combinaciones de los sistemas de secado, por ejemplo aire caliente con microondas, irradiación previa o al mismo tiempo; igualmente se debe considerar el tipo de secado que

menor daño provoque a la estructura del producto, y sobre sus propiedades sensoriales y nutricionales (15). Por ejemplo, la combinación de deshidratación osmótica y aire caliente mantiene de mejor manera el color superficial del pimiento que el secado solo por aire caliente (10). Alimentos con alto contenido de almidón (papas) secados con microondas retienen dos veces más vitamina C que por secado convectivo (5). Recientemente, pretratamientos con campos de pulsos eléctricos, ultrasonidos e infrarrojo en combinación con secado convectivo permiten una mejor permeabilización de las membranas celulares, menos cambios estructurales y una mayor retención de sólidos luego de la rehidratación (16).

- Temperatura y velocidad de secado: se ha observado que altas temperatura de secado implican un menor tiempo de rehidratación, pero los índices de calidad del producto final presentan cambios muy variables con respecto al producto fresco, como son la textura y el color, dejando ver que la temperatura de secado es uno de los principales factores que influyen sobre la calidad del producto rehidratado (14). El aumento de la velocidad de secado provoca un menor tiempo de secado, pero también presenta la misma tendencia que la temperatura de secado, un mayor daño celular (6).

- Temperatura de almacenamiento: durante el almacenamiento se va perdiendo calidad de los productos deshidratados (color, aroma, textura), además aparecen reacciones de pardeamiento no-enzimático. Estos daños se hacen más severos a medida que se aumenta la temperatura de almacenaje, ya que a mayor temperatura mayores son los cambios composicionales y estructurales de los polisacáridos de la pared celular y menor la capacidad de absorción de agua, reflejándose esto último en la rehidratación. Por todo lo anterior es que se debe optimizar las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, oxígeno, ventilación, condiciones higiénicas, equipos, entre otros(9).

Factores intrínsecos del proceso de rehidratación

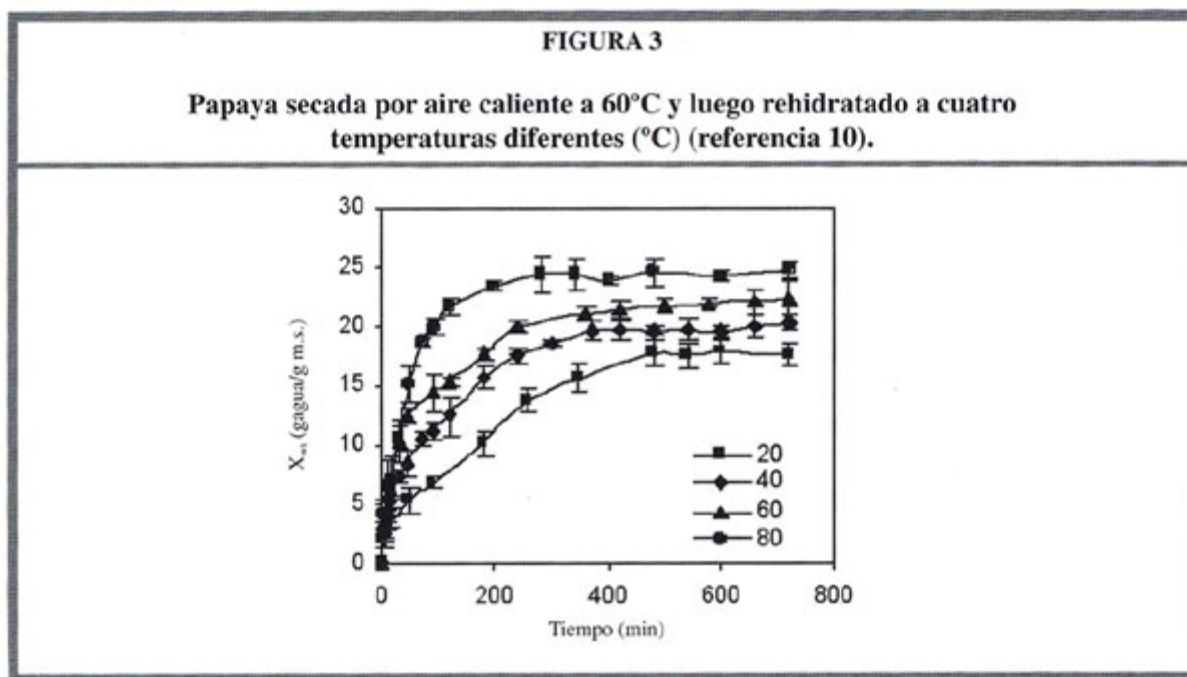
- Líquido de rehidratación: como se comentó, los alimentos deshidratados generalmente se rehidratan con agua, pero en algunos procesos se utilizan medios de rehidratación tales como leche, yogur, disoluciones azucaradas o salinas, entre otros, siempre con el fin de mejorar las características finales del producto rehidratado, como son la textura, retención de color y aroma, aumento de la viscosidad, disminución de la actividad de agua (a_w), reducción de tiempos de proceso, entre otros(6). La velocidad de rehidratación es mayor en un medio como el agua, en cambio es menor por ejemplo en soluciones azucaradas, leche o yogurt, debido a la elevada viscosidad que presentan éstas, sin embargo, estas últimas pueden transportar sólidos de importancia nutritiva al producto como vitaminas, proteínas, minerales, entre otros (6).

- La temperatura de la solución de rehidratación: Un alimento deshidratado a una temperatura constante, y luego rehidratado a diferentes temperaturas en un medio rehidratante, aumenta su contenido de humedad de equilibrio cuanto mayor sea la temperatura de rehidratación (figura 3), debido al gradiente de calor entre el interior del alimento y el líquido de inmersión, además la alta presión que se ejerce sobre los gases que pudiesen estar atrapados entre los espacios intercelulares, permite que se mueven por difusión o capilaridad, tomando ese lugar el líquido rehidratante (13, 16).

Como se observa en la figura 3, con el aumento de la temperatura del medio de rehidratación se incrementó la velocidad del proceso, debido principalmente al aumento de la difusividad de agua y de solutos, otorgando así una reducción sustancial del tiempo de rehidratación.

Esto influye sobre ciertas características del producto, como son la estructura de la pared celular, produciendo la pérdida de nutrientes y colorantes, no obstante con algunos pretratamientos al secado se pueden evitar en parte estos problemas. Se ha demostrado que rehidratar con temperaturas menores a 40°C mantiene la estructura original las pectinas presentes en la pared celular mejorando la capacidad de absorción de agua por el tejido. En otras investigaciones se ha logrado acelerar el proceso de rehidratación por medio de técnicas combinadas, destacándose la rehidratación con impregnación al vacío, uso de ultrasonido, adición de aditivos en el agua de rehidratación, etc., aunque estas técnicas son de elevado costo operacional (10, 14).

- Agitación durante la rehidratación: la generación de turbulencia en el medio de rehidratación logra una mayor homogenización, aumentado la entropía del sistema y la facilidad del intercambio de materia (agua y solutos), siempre teniendo en cuenta la velocidad de agitación (17).
- Características del producto: antes de aplicar rehidratación a alimentos deshidratados, se deben conocer las características del alimento en su estado fresco y deshidratado, ya que las propiedades físico-químicas, mecánicas (microestructurales), sensoriales y nutricionales, cambian considerablemente de un producto fresco a deshidratado, de tal manera que estos factores determinan el comportamiento de los alimentos en el proceso de rehidratación (19, 20).



Modelado matemático de la cinética de rehidratación

Para el modelado matemático de la transferencia de materia (agua) ocurrida durante el proceso de rehidratación de un alimento deshidratado existen varias ecuaciones empíricas que ajustan los datos experimentales de humedad en función del tiempo. Dentro de las más

utilizadas están: el modelo difusional, el cual utiliza la segunda ley de Fick (ecuación 3), el modelo empírico de Peleg (ecuación 4) y el modelo probabilístico de Weibull (ecuación 5), las cuales se ha demostrado que simulan correctamente el proceso, además de describir ciertos mecanismos y variables existentes durante el mismo (18). En la mayoría de los estudios realizados sobre la rehidratación de los alimentos, los modelos de Fick y Peleg son los más usados por presentar parámetros de importancia para la optimización de los procesos (19).

$$\text{Fick} \quad \frac{\partial X_{wt}}{\partial t} = D_{we} \frac{\partial^2 X_{wt}}{\partial z^2} \quad (\text{ecuación 3})$$

$$\text{Peleg} \quad X_{wt} = X_o + \left[\frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \right] \quad (\text{ecuación 4})$$

$$\text{Weibull} \quad X_{wt} = \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde: X_{wt} es el contenido de agua a un determinado tiempo (g agua/g materia seca); t es el tiempo (minutos), X_o es el contenido inicial de agua (g agua/g materia seca); D_{we} es el coeficiente efectivo de transferencia difusional ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$); z es la distancia unidireccional del centro a la superficie del producto (m); k_1 , k_2 , α y β son constantes de cada modelo (18).

La figura 4 muestra el modelado de la cinética de rehidratación de la papaya deshidratada utilizando los tres modelos mencionados (Fick, Peleg y Weibull), donde se utilizaron cuatro temperaturas de rehidratación (20, 40, 60 y 80°C). Se observa que a mayor temperatura de rehidratación se alcanza un mayor contenido de humedad debido al gradiente de temperatura; además se puede distinguir que los tres modelos proporcionan una buena simulación del proceso de rehidratación (10, 15, 18).

Otro método que se puede considerar para el modelado matemático de la rehidratación de alimentos, es el método de los Elementos Finitos, en el cual considera la difusión a través de una lámina infinita, donde la D_{we} esta en función de la humedad del producto en un momento dado, suponiendo una variación de la difusividad de carácter exponencial, descrita por la ecuación 6 (14).

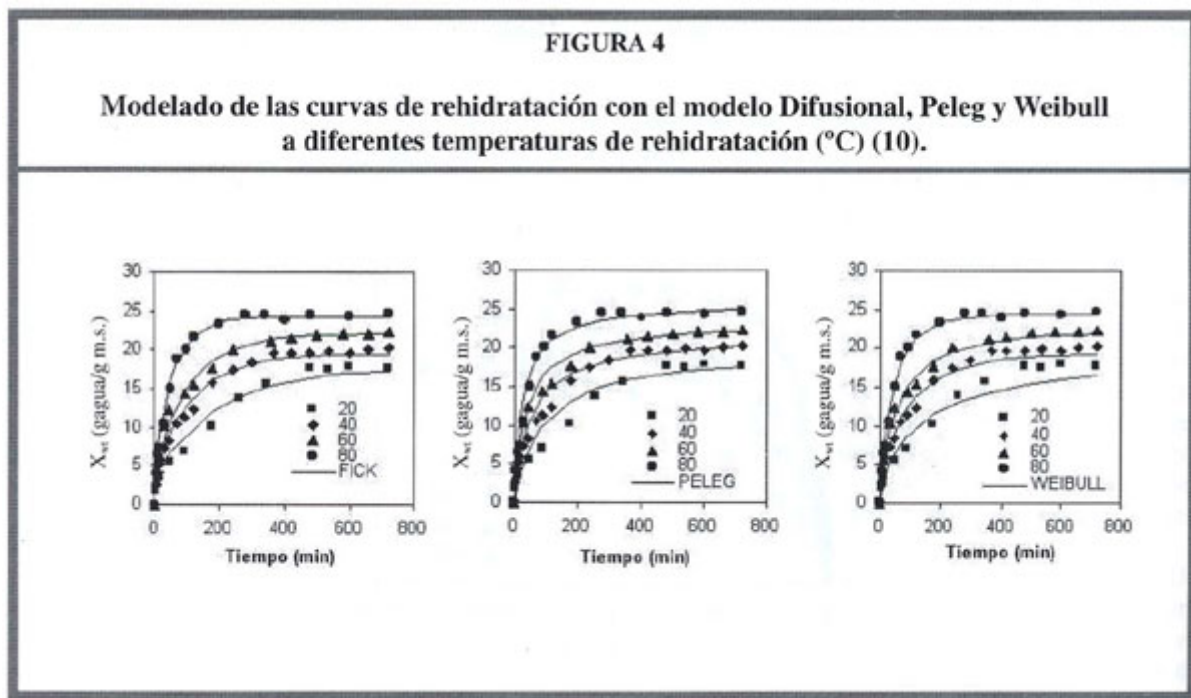
$$D_{we} = e^{(a+b \cdot Y)} \quad (\text{ecuación 6})$$

Donde: a y b son constantes del modelo, e y Y es la fuerza impulsora reducida que relaciona el gradiente de la humedad de la muestra a tiempo real con la humedad inicial y la humedad de equilibrio.

Algunos autores proponen el modelar la cinética de ganancia de masa durante la rehidratación, considerando las curvas de rehidratación o la capacidad de rehidratación, para lo cual se utiliza la ecuación propuesta por Langmuir (ecuación 7) (10).

$$\frac{m}{m_o} = \frac{C \cdot t}{K + t} \quad (\text{ecuación 7})$$

Donde: C (g/g) sería la masa relativa en el equilibrio que depende únicamente de las características propias del tejido que rehidrata. La constante K (min.) es un parámetro cinético relacionado con la resistencia que opone el tejido a la rehidratación y equivale al tiempo de rehidratación necesario para alcanzar el 50% del peso adimensional en equilibrio.



Cambios en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de los alimentos durante la rehidratación.

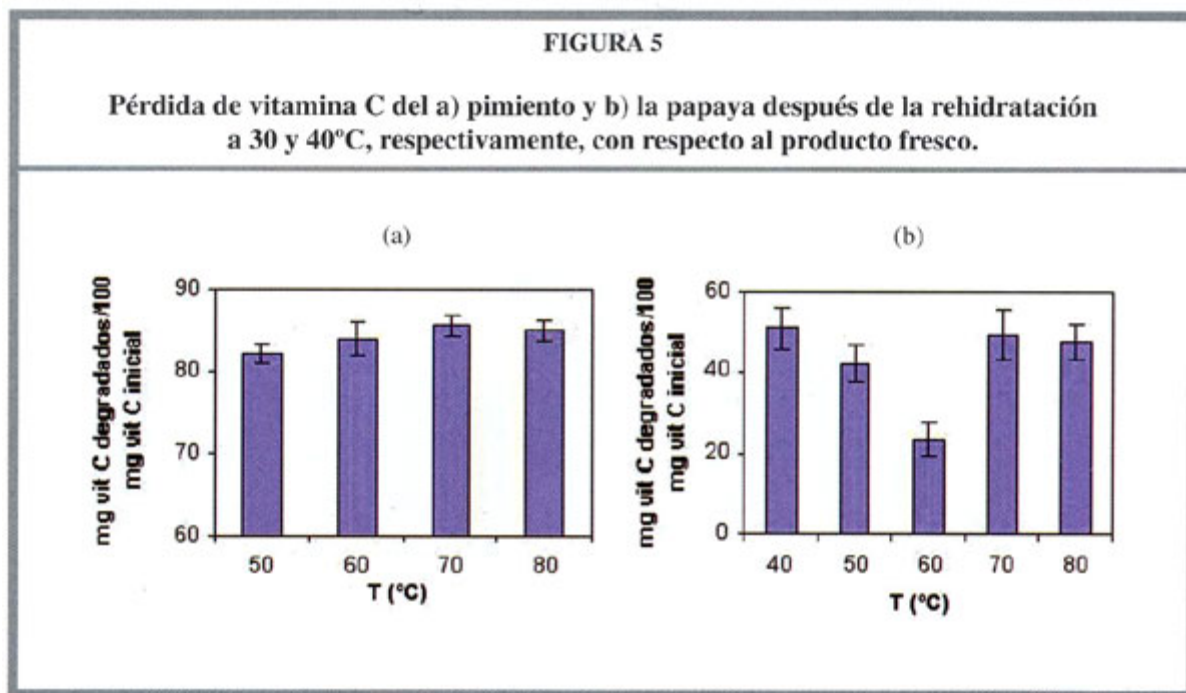
Entre las propiedades de calidad más importantes de un alimento deshidratado que ha sido rehidratado, están las propiedades estructurales (densidad, porosidad, tamaño poro, volumen específico), ópticas (color y apariencia), texturales (fuerza de compresión, relajación, tensión), mecánicas (estado del producto: cristalino, elástico, vítreo), propiedades sensoriales (aroma, sabor, color) y propiedades nutricionales (contenido de vitaminas, proteínas, azúcares, entre otras). La evaluación de todas o alguna de estas propiedades depende de los parámetros a considerar para un mercado específico (10, 20). Las características de calidad de un alimento deshidratado que ha sido rehidratado pueden mejorarse aplicando pretratamientos antes del proceso de secado, por ejemplo inmersión en soluciones azucaradas, salinas (NaCl) o ácidas (ácido cítrico y/o ascórbico), escaldado, deshidratación osmótica, microondas, entre otros.

En la figura 5a y 5b se muestra el contenido de vitamina C del pimiento rojo var. Lamuyo y la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*), ambos productos han sido rehidratados a 30 y 40°C, respectivamente y han sido deshidratados a diferentes temperaturas de secado. Se puede observar que la papaya (figura 5b) presenta una mayor pérdida de vitamina C cuando ha sido deshidratada a 40 y 80 °C, lo cual se debe principalmente al prolongado tiempo de secado cuando se usa una temperatura de 40°C (660 minutos), y obviamente al daño

causado en su estructura cuando la temperatura es excesiva (80°C), por ser esta vitamina muy termosensible.

Una propiedad estructural muy importante en frutas y verduras, frescas y procesadas, es la firmeza, la que puede ser analizada en productos rehidratados. En la figura 6a y 6b se puede observar el comportamiento de la firmeza del pimiento rojo y papaya, respectivamente, los cuales fueron deshidratados a distintas temperaturas (desde 40 a 80°C) y luego rehidratados a 30 y 40°C, respectivamente. Para ambos productos se observa la misma tendencia, es decir a medida que aumentó la temperatura de secado aumentó la pérdida de la firmeza, con respecto al producto fresco (3, 10).

El color visual o superficial de los alimentos representa un parámetro de calidad muy importante y esta dentro de las propiedades ópticas a evaluar en productos rehidratados. En la figura 7 (a y b) se muestra un gráfico de interacción entre las coordenadas cromáticas L* (luminosidad), a* (rojo (a+) y verde (a-)), y b* (amarillo (b+) y azul (b-)), de acuerdo a la técnica de colorimetría por triestímulo (Sistema CIE Lab), para observar la variación que se produjo durante el secado por aire caliente de la papaya, que luego se rehidrató (40°C). En esta misma figura, se observa la variación de la coordenada cromática L*, a* y b* (rojo-verde), la primera disminuye notablemente debido a la formación de los compuestos del pardeamiento no enzimático durante el secado, y para a* y b*, también presentaron un aumento debido a la formación de compuestos pardos producidos al aumentar la temperatura de secado (degradación azúcares, aminoácidos, vitaminas, entre otros) y la posterior salida de éstos al agua de rehidratación.



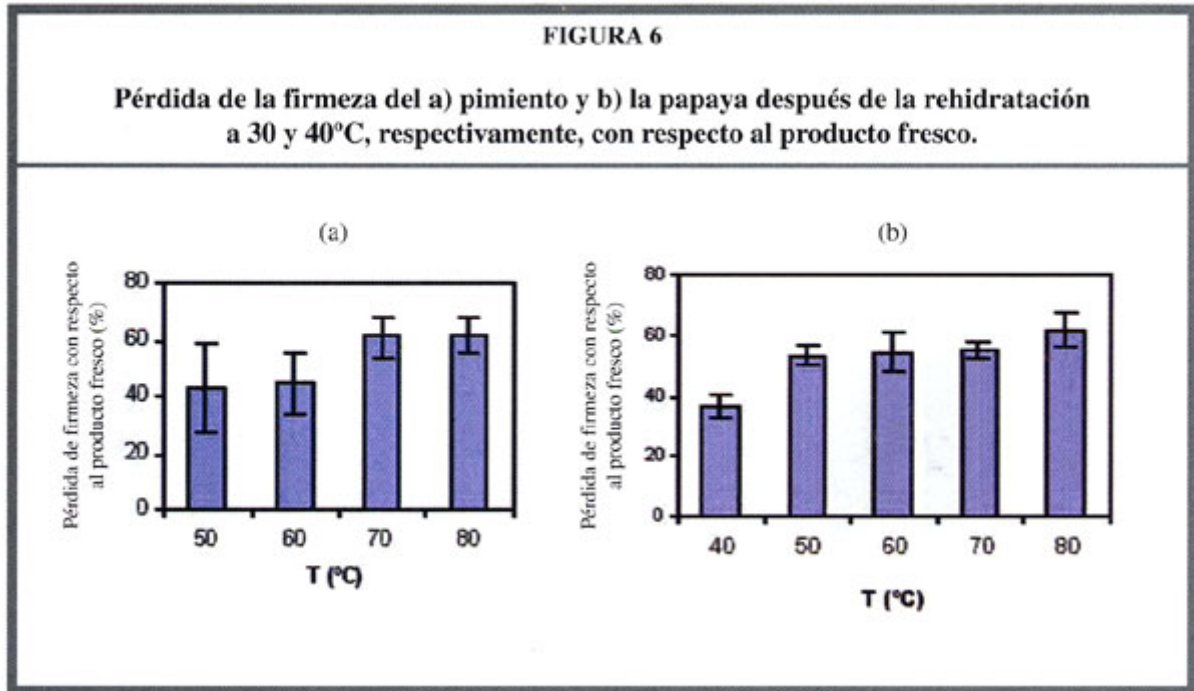
Un objetivo fundamental de una correcta rehidratación de un producto deshidratado, es poder reconstituir el alimento lo más parecido posible a su estado en fresco, pero no son sólo los criterios de calidad los que se deben tener en cuenta, sino también el método de secado

utilizado y las condiciones operacionales elegidas. Por ejemplo, los productos liofilizados se rehidratan a mayor velocidad que los sometidos a secado por aire caliente, debido a diferencias de tamaño, distribución y volumen de los espacios en los cuales se ocluye el gas (6, 14). Por otra parte, ciertos azúcares presentan un comportamiento protector sobre la estructura celular durante la deshidratación y posterior rehidratación, al modificar las condiciones de transición de fase de los lípidos de la membrana, responsables de la rotura de la bicapa lipídica (6, 20).

Los productos liofilizados o atomizados suelen tener un contenido de humedad muy bajo, cercano al 5%, pero estas técnicas son muy costosas y generalmente son utilizadas para leche infantil, setas, sopas, café, té e infusiones. Sin embargo, al rehidratar estos productos (liofilizados y atomizados) se obtienen productos muy parecidos a los originales, con un mayor valor nutritivo y cualidades sensoriales similares a las del alimento fresco, si se comparan con otras técnicas de secado (2).

Cambios microestructurales durante la rehidratación

La rehidratación de alimentos también está siendo estudiada observando la microestructura del alimento fresco y comparándolo con el alimento rehidratado. Actualmente el uso de diferentes técnicas de microscopía (light microscopy, transmission electron microscopy, scanning electron microscopy) como herramientas para la observación de los cambios provocados por los procesos de conservación en los alimentos, proporciona una visión imperceptible al ojo humano lo que ayuda para observar el verdadero daño provocado por el proceso (20). Con esta técnica de imagen se pueden observar daños en la pared celular y en la membrana citoplasmática, existencia de macromoléculas, estructura de la matriz celular y otros, con el fin de optimizar y mejorar el proceso de secado (10). Es muy interesante el análisis de los espacios intra e intercelulares, por donde se produce la transferencia de materia (líquidos y sólidos) durante las operaciones de secado y rehidratación (11, 13).



En la figura 8 se observan células epidérmicas de pimiento fresco y rehidratado que fue secado a 50°C, la estructura celular del pimiento rehidratado (figura 8b) se mantiene organizada y con un espesor de lámina media similar al producto fresco (figura 8a). La pared celular de las células parenquimáticas se mantiene rígida, gruesa y bien estructurada, lo cual probablemente se deba al poco daño causado a sus componentes (polisacáridos) por la baja temperatura de secado (10, 16).

FIGURA 7

Gráfico de interacción entre las coordenadas cromáticas a) L^* - a^* y b) L^* - b^* (Sistema CIELAB) de la papaya secada a diferentes temperaturas y luego rehidratada a 40°C, con respecto al fruto fresco.

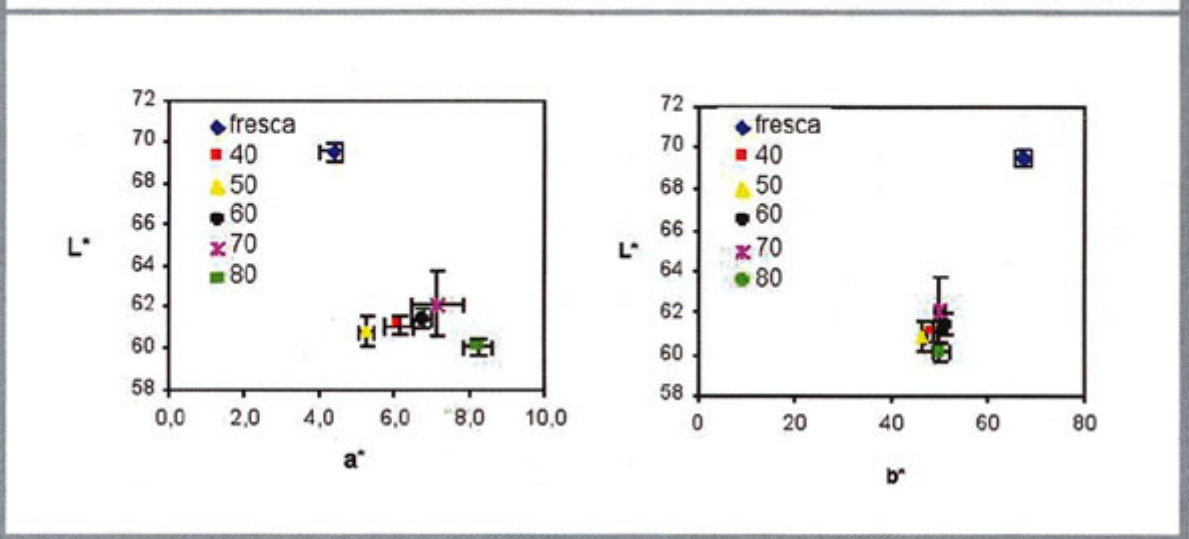
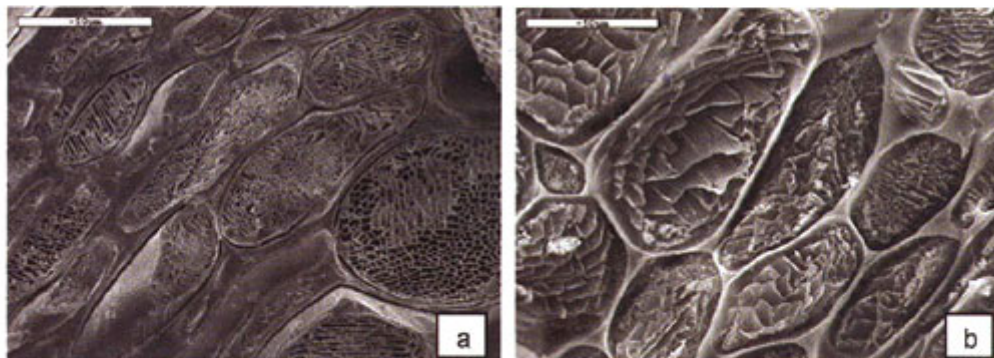


FIGURA 8

a) Células del parénquima central de pimiento fresco (pared celular) (x 750) y b) del pimiento rojo rehidratado a 30°C previamente secado a 50°C (x 750).



En la figura 9 se observa un perfil de células epidérmicas y parenquimáticas de tejido de pimiento fresco (9a) y del rehidratado (9b) que ha sido secado a una temperatura de 80°C. En general se produce bastante daño celular ya que existe una deformación de la estructura o matriz

celular, probablemente debido en parte al daño en la pared celular, el cual puede ser causa de una destrucción y solubilización de sus componentes por la elevada temperatura de secado. Prácticamente no se observa la membrana citoplasmática y el volumen intracelular se ve muy reducido, lo mismo ocurre con la lámina media y la cutícula cerosa de las células epidérmicas.

FIGURA 9

- a) Células del parénquima central de pimiento fresco (pared celular) (x 750) y
b) del pimiento rojo rehidratado a 30°C previamente secado a 80°C (x 500).**

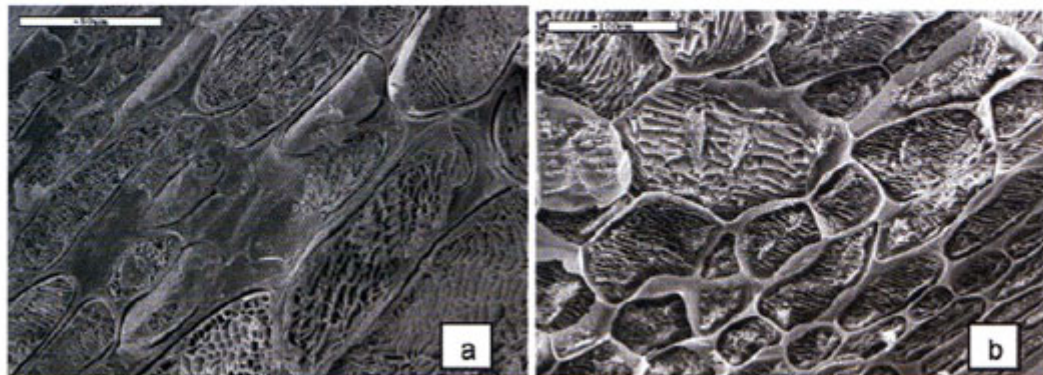
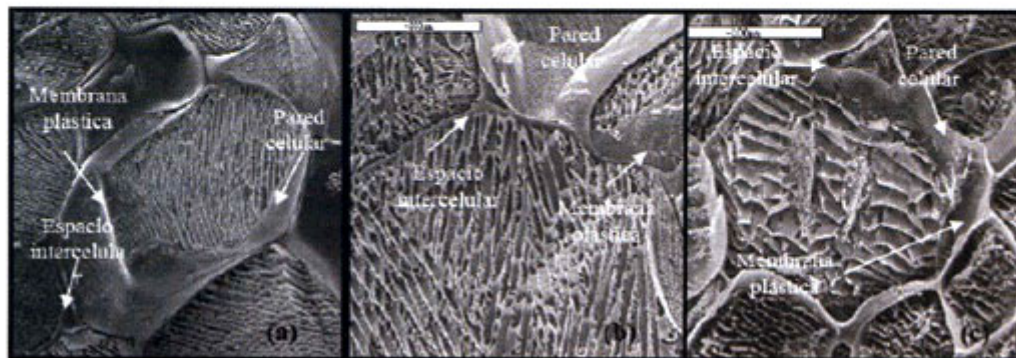


FIGURA 10

(a) Fotografía Cryo-SEM de tejido fresco de pimiento (x 500),
(b) tejido de pimiento deshidratado por deshidratación osmótica (x 350) y
(c) tejido de pimiento deshidratado por aire caliente a 80°C y luego rehidratado a 30°C (x 350).

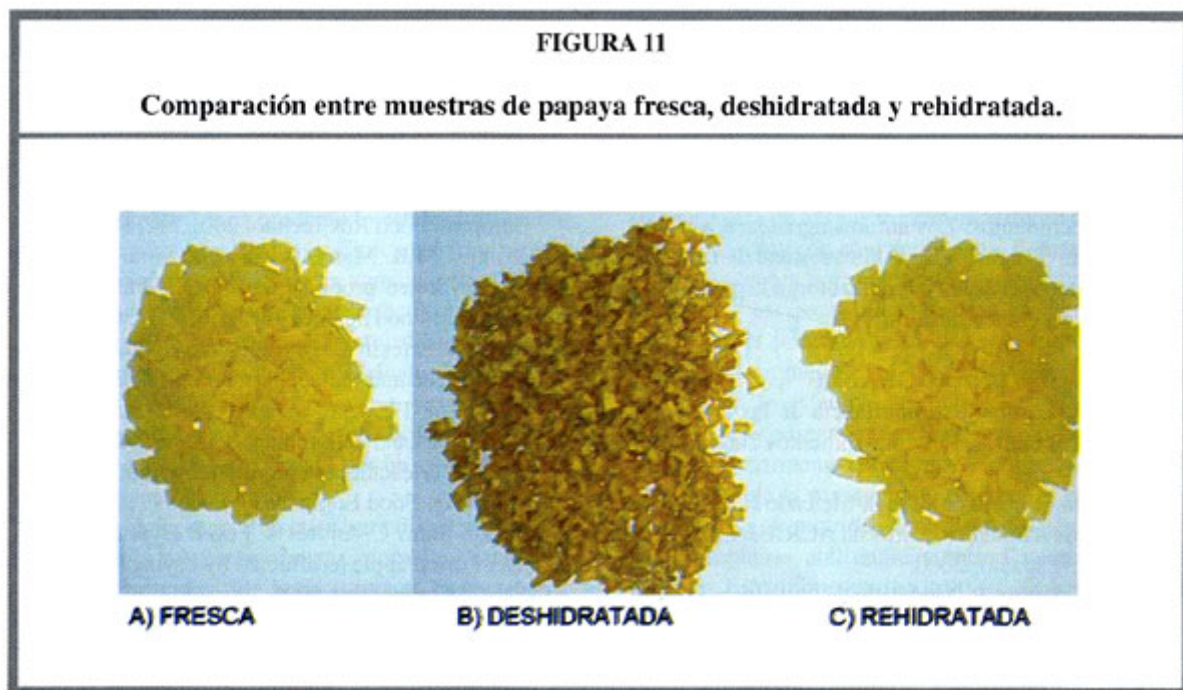


En la figura 10 (a, b y c) se observa la microestructura de pimiento fresco, deshidratado osmóticamente (DO) y secado solo con aire caliente, respectivamente. Para el primer caso las células están bien compactadas, presentan una pared celular integrada y con pequeños espacios intercelulares. Por su parte el pimiento con DO (figura 10b) y secado con aire caliente (figura 10c) presentan células más deformadas y con menor tamaño, lo cual puede ser explicado por la pérdida de líquido intracelular, pero este efecto es menos severo en la célula con DO, conservando la pared celular casi intacta, ya que generalmente en la DO se utilizan temperaturas de trabajo más bajas, por ende la solubilización de las pectinas de la pared celular y lámina media es menor (10). En el secado con aire caliente (figura 10c) se produce una destrucción de la membrana plasmática, además aumentan los espacios intercelulares en comparación con el vegetal fresco, principalmente a causa del fuerte encogimiento celular asociado con la pérdida de agua. En cambio con la DO los espacios intercelulares también aumentaron su tamaño, sin embargo fueron más pequeños en comparación con el secado por aire caliente, en ambos tratamiento estos espacios fueron irregulares y de forma triangular. Según algunos estudios la lámina media se mantiene más intacta en el vegetal tratado osmóticamente, además de presentar cierta similitud al vegetal fresco, mientras que el vegetal tratado por aire caliente no presenta estas características, sino mas bien se ve bastante afectada, siendo separada de la pared celular, producto de las altas temperaturas de trabajo (10, 20).

En la figura 11, se puede apreciar una comparación entre las muestras frescas, deshidratadas y rehidratadas de papaya, observando claramente la gran similitud entre el producto fresco y el rehidratado, en el volumen, tamaño y apariencia. Sin embargo, ésta última no representa la calidad total del producto rehidratado, ya que, como se mencionó anteriormente, son muchas las propiedades que se deben tomar en cuenta para determinar la verdadera calidad de los alimentos rehidratados, como la microestructura, color superficial, textura, contenido de nutrientes, capacidad de rehidratación, entre otras.

Conclusiones

La deshidratación y rehidratación de alimentos son operaciones unitarias complejas que proporcionan una gran diversidad de productos, los cuales, presentan cambios a nivel microestructural, de carácter sensorial y de mayor importancia nutricional; es por ello, que el campo de la ciencia, tecnología e ingeniería de alimentos deben encontrar las combinaciones necesarias de tratamientos térmicos o no, para mejorar las características funcionales y estructurales, junto con la estabilización y calidad final de los alimentos. A lo anterior se debe sumar las nuevas tecnologías (ultrasonidos, pulsos eléctricos, altas presiones) emergentes que otorgan alimentos de mejor calidad nutricional, y nuevos instrumentos que sirven para medir estas características como la microscopía, análisis de imagen, modelos matemáticos, entre otras.



Agradecimientos: Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de La Serena (DIULS), por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación.

Bibliografía

1. Vega A. Lemus. R. Importancia de las Isotermas en los Alimentos, *Rev Indualimentos* 2005;8 (35): 71-74.
2. Barbosa-Cánovas G.V. Vega-Mercado H. *Deshidratación de Alimentos*. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza (España), 2000.
3. Vega A. Lemus R. Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*), *Rev Información Tecnol* 2006; 27(3): 23-31.
4. Toledo R.T. *Dehydration. Fundamentals of Food Process Engineering*. 2nd Edition. Editorial Chapman & Hall, New York · London, 1994, p 456-506.
5. Hoge Kamp S. Schubert H. Rehydration of food powders, *J Food Science and Technol Internat* 2003; 9 (3): 223-235.
6. Lewicki PP. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue propertie: a review, *Internat J Food Properties* 1998; 1: 1-22.
7. Marabi A. Dilak C. Shah J. Saguy I.S. Kinetic of solids leaching during rehydration of particulate dry vegetables, *J Food Science* 2004; 69: 3.
8. Rastogi N.K. Niranjana K. Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple, *J Food Science* 1998; 63 (3): 508-511.
9. Weerts A.H. Martin D.R. Lian G. Melrose J.R. Modelling the hydration of foodstuffs, *Simulation Modelling Practice and Theory* 2006; 13: 119-128.
10. Vega A. Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (*Capsicum Annuum* L.) var. Lamuyo. (Tesis Doctoral) Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España, 2003.
11. Lee K.T. Farid M. Nguang S.K. The mathematical modelling of the Rehydration characteristics of fruits, *J Food Engineering* 2006; 72: 16-23.
12. Rastogi N.K. Nayak C.A. Raghavarao M.S. Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots, *J Food Engineering* 2004; 65: 287-292.
13. Krokida M.K. Marinos-Kouris D. Rehydration kinetics of dehydrated products, *J Food Engineering* 2003; 57: 1-7.
14. Lewicki P.P. Some remarks on Rehydration of dried foods, *J Food Engineering* 1998; 36: 81-87.

15. Sanjuán N. Andrés J. Clemente G. Mulet A. Modeling of the Rehydration process of broccoli florets, *European Food Res Technol* 2001; 212: 449-453.
16. Krokida M.K. Maroulis Z.B. Structural properties of dehydrated products during rehydration, *International J Food Science Technol* 2001; 36: 529-538.
17. Kaymak-Ertekin E. Drying and rehydration kinetics of green and red peppers, *J Food Science* 2000; 67(1): 168-175.
18. Garcia-Pascual P. Sanjuan N. Melis R. Mulet A. Morchella esculenta (morel) rehydration process modeling, *Food Engineering* 2006; 72: 346-353.
19. Bilbao-Sáinz C. Andrés A. Fito P. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions, *J Food Engineering* 2005; 68: 369-376.
20. Aguilera J.M. Stanley D.W. Simultaneous Heat and Mass Transfer: Dehydration. *Microstructural Principles Food Proc Engineering* 2001; 9: 373-407.

Este trabajo fue recibido el 4 de Septiembre de 2006 y aceptado para ser publicado el 8 de Octubre de 2006.

Dirigir la correspondencia a:

Dr. Ing. Antonio Vega G.
Departamento Ingeniería en Alimentos
Universidad de La Serena
La Serena
Teléfono 56-51-204305
E-mail: avegag@userena.cl