

## CONOCIMIENTOS ACTUALES SOBRE EL SECADO POR ASPERSIÓN DE LA MIEL

*Jorge A. Pino\**, *Madai Bringas-Lantigua* y *Yojhansel Aragüez-Fortes*  
*Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. La Habana CP 19200, Cuba.*  
*E-mail: jpino@iia.edu.cu*

### RESUMEN

La miel deshidratada tiene un buen potencial comercial, ya sea para facilitar su manipulación, mezclar con otros ingredientes secos o alargar su vida de anaquel. El secado por atomización puede ser usado para obtener productos con buenas características sensoriales y nutricionales. La calidad de la miel deshidratada por esta tecnología es muy dependiente de los parámetros operacionales y por tanto, se requiere conocer los factores que afectan las propiedades del producto para lograr la optimización del proceso. Esta reseña aborda los principios fundamentales del secado por atomización de la miel, así como los principales factores que influyen en este proceso y las características del producto seco.

**Palabras clave:** miel, secado por aspersión.

### ABSTRACT

#### **Current knowledge on the spray drying of honey**

The dehydrated honey has a good commercial potential, either to facilitate its manipulation, to mix with other dry ingredients or to increase its shelf life. Spray drying could be used to obtain products with good sensory and nutritional characteristic. The quality of the dehydrated honey by this technology is very dependent of the operational parameters and therefore, it is required to know the factors that affect the properties of the product to achieve the optimization of the process. This review approaches the fundamental principles of the spray drying of honey, as well as the main factors that influence this process and the characteristics of the dehydrated products.

**Keywords:** honey, spray drying.

### INTRODUCCIÓN

La miel se define como "la sustancia dulce y natural, producida por las abejas melíferas a partir del néctar de las plantas o de las secreciones de las partes vivas de plantas o excreciones de insectos libadores sobre las partes vivas de las plantas, que las abejas colectan, transforman por combinación con sustancias específicas propias, depositan, deshidratan, almacenan y dejan en panales para madurar" (1).

La miel es un producto natural apreciado por su aroma y sabor únicos, así como por los beneficios a la salud (2). Su dulzor, características funcionales, estimulantes, terapéuticas y valor nutricional han alentado su uso en una amplia variedad de productos alimenticios haciéndola de gran demanda en el mercado internacional (2-4). Sin embargo, el uso de la miel en varias ramas de la industria alimentaria está limitado por su alta viscosidad que dificulta su manipulación y comercialización (5, 6).

---

*\*Jorge A. Pino: Investigador titular del Dpto. de Aromas del IIIA. Es Doctor en Ciencias Técnicas (CNIC, La Habana, 1980) y Doctor en Ciencias (IFAL, La Habana, 2011). Investiga en la química y tecnología del aroma de los alimentos y aceites esenciales.*

La miel está constituida mayoritariamente por glucosa, fructosa, maltosa, sacarosa y agua, así como otros componentes minoritarios que incluyen proteínas, ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas, flavonoides y acetilcolina. En general, la miel pura contiene materias extrañas, tales como polen, ceras, cantidades variables de levaduras tolerantes a los azúcares y cristales de hidratos de dextrosa (7).

La obtención de un producto seco, caracterizado por una buena fluidez, facilidad de manipulación y pesaje, envase reducido y mayor estabilidad física y química pudiera ser un buen sustituto de la miel fluida (8, 9). La miel deshidratada puede ser usada para consumo directo, aunque también puede adicionarse a diferentes mezclas secas, productos de panadería y repostería, suplementos nutricionales, entre otros (9-11). Sin embargo, el secado de la miel es un proceso difícil por su alto contenido de azúcares (8, 12).

El secado por atomización es particularmente aplicable al secado de materiales que son sensibles al calor, pues hay menos probabilidad de colorear, oxidar o que sufran pérdida de aroma o degradación (13, 14). El material secado se recupera como un polvo dividido finamente, con partículas bastante uniformes esféricas o en parte esféricas, en un rango estrecho de tamaños, con propiedades físicas, características y densidad a granel (15).

El propósito principal de la encapsulación es atrapar ingredientes sensibles, tales como los compuestos volátiles de los aromas, en un soporte sólido para incrementar su protección, reducir su evaporación, facilitar su manipulación y controlar su liberación durante la conservación y aplicación (12, 16).

Esta reseña aborda los principios fundamentales del secado por atomización de la miel, así como los principales factores que influyen en este proceso y las características del producto seco.

### **Conocimientos generales del secado por atomización**

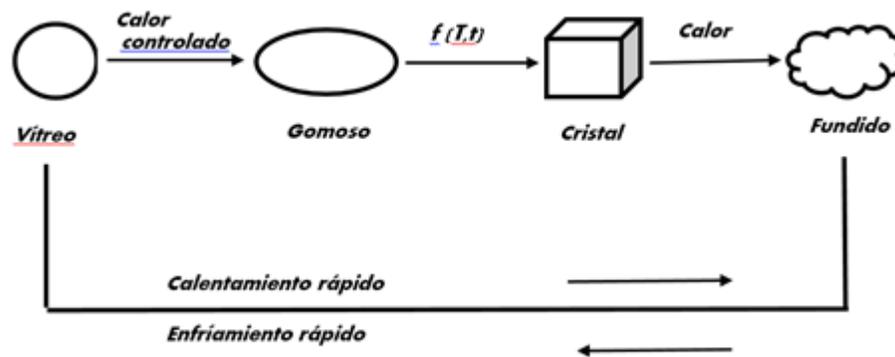
La industria alimentaria tiene un gran interés en los aditivos en forma de polvo, particularmente con respecto a la estabilidad (física, química y microbiológica), reducción de costos en transportación y envase, así como para preparar productos secos (17, 18).

El secado por aspersión es uno de los métodos más simples y comercialmente usados para transformar una amplia variedad de productos alimenticios líquidos en polvos (19). El secado por atomización emplea aire caliente y pueden usarse temperaturas relativamente altas debido a que la temperatura de secado disminuye drásticamente en la medida que el agua se evapora en el producto líquido. El proceso de secado puede ser completado en un corto período de tiempo, lo que permite preparar productos secos sin degradación térmica aun a temperaturas comparativamente altas (12, 14).

De la misma forma que en el secado convencional, el secado por atomización ocurre en dos fases: la velocidad constante y la velocidad decreciente. Debido a que las partículas son finamente divididas en el secador, el elemento tiempo involucrado en cada una de estas fases es muy pequeño. En el período de velocidad constante, la evaporación tiene lugar en la superficie de la partícula y la velocidad de evaporación es controlada por la velocidad de difusión del vapor a través de la película de aire circundante. En el período de velocidad decreciente, la velocidad de difusión del agua a través de la partícula es capaz de ser mayor que la velocidad de evaporación (20).

El secado de productos ricos en azúcares, como la miel, es un proceso difícil (12). Las propiedades físicas de los azúcares en los alimentos influyen las características del producto seco. Algunas de las propiedades importantes de las que pueden ser responsables son la higroscopicidad, solubilidad, punto de fusión y temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ). La  $T_g$  es una propiedad específica de un material amorfo. Un alimento amorfo es formado en condiciones de no-equilibrio ya sea por remoción del medio dispersante (por ej. agua) o desde el estado fundido por enfriamiento o rápida congelación. Este material no está en equilibrio termodinámico y por tanto, es inestable con respecto a la forma cristalina (21). La Fig. 1 representa un diagrama simple de los cambios de estructura física y forma de un material.

Las sustancias de bajo peso molecular, como por ejemplo, fructosa y glucosa en su forma pura, tienen bajas  $T_g$  (5 y 31 °C, respectivamente), mientras que las moléculas de cadena larga poseen altas  $T_g$  (12). Durante el secado por atomización, la temperatura del aire de salida fluctúa entre 60 y 100 °C (muy superiores a las  $T_g$ )



**Fig. 1. Estado físico de un vidrio amorfo al estado cristalino a través del estado gomoso. T = temperatura, t = tiempo (Bhandari y Howes, 1999).**

de estos monosacáridos, lo que causa la pegajosidad del producto. Esto se debe a que el material en una forma gomosa amorfa no es transformado en polvo, debido a la cohesión partícula-partícula y adhesión partícula-pared. El material de forma similar a un líquido, se desliza por las paredes lo cual causa una aglomeración indeseada en la cámara del secador y sistemas conductores. Esto causará bajos rendimientos de producto y problemas de operación (6, 22).

Existen diferentes vías para eliminar el problema de la pegajosidad: (1) selección de parámetros de operación apropiados, (2) empleo de secadores especialmente construidos y (3) adición de soportes como agentes desecantes (23).

Dentro de los parámetros de operación más importantes a controlar durante el secado por atomización se encuentran: las temperaturas de entrada y salida del aire de secado, velocidad de flujo del aire de entrada, velocidad del disco centrífugo, velocidad del flujo de alimentación del material a secar y el acondicionamiento de la materia prima (19).

Con respecto a las temperaturas de entrada y salida del aire, es favorable que la temperatura del aire de entrada sea alta para lograr la formación rápida de una membrana semipermeable alrededor de la gota durante su secado; sin embargo, no puede ser tan alta que cause daño térmico al producto seco (24).

Las temperaturas del aire controlan el contenido de humedad del producto en polvo. En la medida que se incremente la temperatura de entrada y disminuya la diferencia de temperatura del aire en el secador

(Tentrada-salida), disminuirá la humedad en el producto. Esto es debido a la humedad relativa del aire de salida en el secador. Al incrementar la temperatura del aire (a un Tentrada-salida fijo), tomará una mayor humedad y por consiguiente el producto quedará con menos humedad. El Tentrada-salida (a una temperatura de aire de entrada fija) actúa de forma similar. Al disminuir Tentrada-salida significa que se está alimentando menos emulsión, por tanto, habrá menor humedad, disminuirá la humedad relativa del aire y por consiguiente, se obtendrá un producto más seco. La mayoría de los productos secados por atomización contienen de 1 a 6 % de humedad (14).

La mayoría de los estudios reportados sobre el efecto de las temperaturas de entrada y salida se han basado en combinaciones puntuales de estas sin considerar su interacción (25-27). Las técnicas de superficie de respuesta son una metodología estadística que permiten determinar, experimentalmente, aquellos niveles de los factores en investigación que producen una respuesta óptima bajo la consideración de los factores principales (temperaturas del aire) y sus interacciones.

Un buen contacto entre el aire y la mezcla de alimentación favorecerá la retención de volátiles, debido a un calentamiento y transferencia de masa más rápidos, lo que conduce a un secado más rápido. Este factor está limitado por el diseño del secador y también por los parámetros de operación (14).

Durante el proceso, el material de alimentación es atomizado, dentro de un aire turbulento que facilita la transferencia de masa desde el material, en gotas finas (gran área superficial) y ocurre un mezclado de todo el

material (baja la concentración de volátiles en la interfase alimentación/aire), todo lo cual en su conjunto favorece la pérdida de volátiles. Por esta razón, el secado debe ser optimizado con relación a la retención de compuestos volátiles (28). Al utilizar altas velocidades de rotación del disco puede mejorarse la retención de volátiles en los secadores por atomización (14). En un trabajo se demostró la incidencia de la velocidad de rotación en las propiedades del jugo deshidratado de naranja (29). Con el aumento de la velocidad se producirán gotas más pequeñas y una mejor evaporación por el incremento de la superficie de contacto, lo que lleva a la disminución de la humedad residual en el polvo. Por tanto, lo más recomendable es el diseño de un secador que maximice la turbulencia y el contacto con el material de alimentación.

El factor más importante que determina la retención de volátiles durante el secado es el contenido de sólidos de la matriz de alimentación (14). Altos valores de sólidos incrementan la retención debido a una reducción del tiempo necesario para formar una membrana semipermeable en la superficie de la partícula al secarse. La mayoría de los estudios sugieren que debe usarse la concentración de sólidos más alta posible, mientras que otros trabajos sugieren que existe un contenido de sólidos óptimo para cada sistema de soportes (14). El valor óptimo de sólidos está dado por dos motivos. Generalmente se usa una relación constante del material a secar con respecto a los sólidos del soporte. Para un valor determinado de contenido de sólidos, la adición de más soporte puede sobrepasar su solubilidad. Aun cuando sea posible bombear y atomizar esta matriz con alto contenido de sólidos, el soporte sin disolver no proporciona ningún efecto encapsulante efectivo durante el secado. Una segunda razón está relacionada con la viscosidad del material de alimentación, pues viscosidades muy altas retrasan la formación de la partícula durante la atomización, lo que favorece la pérdida de volátiles durante el proceso. Es evidente que cada soporte tiene su propio contenido óptimo en sólidos de alimentación para una retención de volátiles, la cual se basa en la solubilidad y viscosidad en solución. Debe señalarse que la influencia del contenido de sólidos en la alimentación no es igual para todos los compuestos volátiles, pues aquellos que son más susceptibles a volatilizarse (de bajo peso molecular) son más influenciados por el contenido de sólidos y poseen el óptimo más pronunciado en la retención (25).

Con relación al diseño del secador, existen dos tipos diferentes de fondos: plano y cónico. La forma cónica es la más adecuada para productos termoplásticos y un flujo de co-corriente es preferido para productos con riesgo de pegajosidad (21).

La adición de soportes es el método más comúnmente usado en la industria para eliminar el problema de la pegajosidad y en general, se utilizan biomoléculas, las cuales son derivadas de varios orígenes, tales como plantas, animales, microorganismos, entre otros y son clasificadas en tres categorías: polímeros de carbohidratos, proteínas y lípidos. Los polímeros de carbohidratos son los soportes más usados en comparación con los otros dos. Estos se clasifican en cinco clases: derivados del almidón, derivados de celulosa, exudados y extractos de plantas, extractos marinos, así como polisacáridos microbianos y animales (16, 30). Las maltodextrinas y goma arábiga, pertenecientes a los polímeros de carbohidratos, son los más usados (31). Los polímeros de carbohidratos tales como los almidones son modificados química, bioquímica y físicamente para lograr soportes con características específicas (32-34). En el mercado se comercializan distintos derivados funcionales del almidón, tales como entrecruzado, oxidado, acetilado, hidroxipropilado y moléculas parcialmente hidrolizadas. Las maltodextrinas son un ejemplo de esta clase y se obtiene por hidrólisis del almidón mediante un proceso químico y bioquímico. De acuerdo al grado de hidrólisis, a los derivados se les asigna un valor equivalente en dextrosa (DE). A mayor valor de DE es más corta la cadena de glucosa, mayor el dulzor y la solubilidad, y una menor  $T_g$  (16).

### **Estudios con relación al secado de miel**

La miel deshidratada es producida a partir de la miel fluida mediante un proceso de secado y la adición de algún material que favorezca el proceso. Los procesos de secado más comúnmente usados han sido: por tambor, estera, atomización, vacío y liofilización (8).

Se estudió el secado a vacío con la incorporación de tres aditivos: maltodextrina como agente deshidratante, monoesterato de glicerilo para aumentar la fluidez y fosfato tricálcico para evitar el endurecimiento del polvo (9). El secado se hizo entre 94,6 y 100 kPa (710 a 750 mm Hg) a 70 °C en una capa de 3 mm de espesor. La optimización del proceso aportó un producto deshidratado con índices de calidad adecuados.

En otra investigación se experimentó el secado a vacío con microondas en una capa de 8 mm de espesor y se logró obtener una miel deshidratada con 3 % de humedad y alta calidad (5).

En los trabajos anteriores no se especificó la apariencia física de los productos, pero debido al secado por capas, debe ser asumido que la forma final de los mismos es similar a bloques duros en lugar de polvos, lo cual resulta poco práctico para posteriores manipulaciones.

La primera patente registrada de secado por atomización de miel se debe a Takashi (35). En ella se adicionó un almidón ceroso (1,2 a 1,4 veces) a la miel y la mezcla fue diluida con agua hasta 20 a 25 % m/m. Las temperaturas del aire de entrada y salida usadas fueron 140 a 150 °C y 90 a 95 °C, respectivamente. El polvo obtenido tuvo una tendencia a la deliquesencia al exponerse al aire, por lo que se necesitan envases de películas de aluminio. El contenido de miel en el producto final fue menor al 50 %.

Años después, se reportó un proceso donde la miel se mezcló con fibra dietética hidrosoluble para secarse por atomización con temperaturas del aire de entrada y salida de 100 a 180 °C y 70 a 100 °C, respectivamente (36). El contenido de fibra en el polvo fue superior al 23 % en términos de sólidos. El producto obtenido se consideró funcional, pero el alto contenido de humedad (72 %) de la alimentación incrementó los costos del secado.

En otra patente (37) se disminuyó el pH de la mezcla de alimentación entre 6,5 y 7,5 para reducir la termoplaticidad del material durante el secado por atomización. Las temperaturas del aire de entrada y salida usadas fueron 120 a 200 °C y 70 a 120 °C, respectivamente. El contenido de miel en el polvo fue alrededor de 50 % en base a los sólidos de la miel. El producto tuvo una baja higroscopicidad y buena calidad sensorial; sin embargo, el bajo contenido de sólidos (25 %) en la alimentación incrementó los costos energéticos.

Una mejora a los procedimientos anteriores permitió eliminar algunas deficiencias (8). La miel fue mezclada con aditivos tales como dextrina, maltosa y agente antiendurecedor, y secada por atomización con temperaturas del aire de entrada y salida de 115 a 125 °C y 80 a 85 °C, respectivamente.

El producto tuvo un mayor contenido de miel (~52 %), sabor característico a miel, color aceptable con matiz amarillo y buena fluidez.

El secado por atomización fue utilizado para obtener miel deshidratada para la confección de panes (11). Se preparó una mezcla de miel-almidón de maíz retrogradado-agua al 20:30:50 % m/m que se secó en un secador de boquilla a 200 °C.

Los cambios en las propiedades de la miel por el secado a vacío y por atomización fueron reportados (38). Se evaluaron mezclas en relación de sólidos 1:1, con miel-maltodextrina DE 17,8 y miel-goma arábica en ambos métodos de secado. Los parámetros del secado por atomización fueron temperatura del aire de entrada: 180 °C y temperatura del aire de salida: 80 °C. Los rendimientos en producto del secado a vacío (73,0 % con maltodextrina y 73,8 % con goma arábica) fue superior al secado por atomización (9,7 % con maltodextrina y 36,6 % con goma arábica). Llama la atención que el contenido de hidroximetilfurfural (HMF) de la miel disminuyó durante el secado, en lugar de mantenerse o elevarse. La adición de goma arábica incrementó la higroscopicidad del polvo en comparación con la adición de maltodextrina. Además, la goma arábica aumentó la humectabilidad y tiempo de dispersión del polvo. Los catadores prefirieron los polvos producidos por el secado a vacío. Estos autores pasaron por alto que para la elección de un soporte u otro es necesario tener en cuenta también sus precios, pues la goma arábica es mucho más costosa.

Las propiedades de la miel deshidratada mediante secado por atomización y liofilización fueron evaluadas (39). Se estudió la adición de maltodextrina al 20 y 30 %, lográndose productos con menor humedad (0,9 % en secado por atomización a 180 °C y 2,0 % en liofilización) a la más baja concentración. Los polvos obtenidos fueron caracterizados por una capacidad de fluido media y excelente humectabilidad.

La eficiencia de los aislados de proteínas de la leche y la maltodextrina, solos o en combinación, en el secado por atomización de la miel fue estudiada (6). No se obtuvo polvo cuando se intentó secar la miel pura. Se obtuvieron rendimientos superiores al 50 % con la adición de maltodextrina (miel-maltodextrina 40:60) o aislado de proteínas (miel-aislado de proteínas 70:30) con temperaturas del aire de entrada y salida de 150 y 85 °C,

respectivamente. La combinación de ambos soportes funcionó efectivamente en el secado. El mecanismo del aislado de proteína de la leche en el secado por atomización de la miel se atribuyó a la migración de la proteína a la interfase gota-aire junto con sus buenas propiedades formadoras de paredes. El contenido de humedad, actividad de agua, higroscopicidad y parámetros de color no fueron afectados significativamente para los diferentes soportes. La densidad aparente y el tamaño de partícula variaron con el contenido de maltodextrina.

En los últimos años, la investigadora polaca Samborska ha publicado varios trabajos relacionados con el secado de miel. En el primero de ellos se caracterizaron las propiedades físicas y químicas de miel secada por atomización, así como sus cambios durante el almacenamiento (40). Se evaluaron temperaturas del aire de entrada (160 y 200 °C), velocidad del disco centrifugo (32 000 y 38 000 min<sup>-1</sup>) y dos tipos de soportes (dextrina y maltodextrina). Los polvos obtenidos con dextrina tuvieron mayor higroscopicidad y menor solubilidad, mientras que los obtenidos con la menor velocidad de rotación fueron los más estables en términos absorción de agua y cambios de la higroscopicidad durante su almacenamiento. Los autores comentaron la inconsistencia de evaluar la actividad diastásica antes y después del secado, cuando el producto seco contiene derivados del almidón (dextrina y maltodextrina) que también son sustratos de las enzimas amilolíticas.

En otro estudio se evaluó la influencia del tratamiento térmico de la miel (50, 70 y 90 °C) y del secado por atomización con la adición de goma arábica (temperatura del aire de entrada y salida: 180 y 70 °C, respectivamente) sobre la actividad diastásica y el contenido de HMF (41). Durante el tratamiento térmico, la actividad diastásica fue el indicador más sensible. Los polvos se caracterizaron por un bajo contenido de humedad (7,1 a 7,3 %) y la actividad diastásica se mantuvo al mismo nivel que en la miel fluida, mientras que el contenido de HMF se incrementó hasta 26 veces por lo que se excedió al máximo permitido (40 mg/kg).

Se investigó la adición de maltodextrina y goma arábica en el secado por atomización (concentración en sólidos al 30 % m/m, a 180 °C y 39 000 min<sup>-1</sup>) de la miel (42). Con el empleo de la goma arábica se obtuvo un producto con mayor contenido de miel (67 % m/m en sólidos) que con maltodextrina (50 % m/m en sólidos).

Sin embargo, el producto obtenido con goma arábica tuvo la más alta higroscopicidad y cohesión, así como mayor tiempo de humectabilidad. En otro trabajo se estudió la adición de goma arábica (relación de sólidos goma arábica: miel 1:1) y en combinación con caseinato de sodio (1 y 2 % m/m), todos con una concentración final de 30 % m/m en sólidos (43). El rendimiento estuvo entre 66,2 y 75,8 %, con los valores significativamente más altos con el caseinato de sodio. Los polvos se caracterizaron por una buena capacidad de fluido; la adición de caseinato de sodio tuvo un efecto positivo en este factor. Sin embargo, la higroscopicidad de los polvos obtenidos con la proteína fue mayor, en particular los obtenidos con 2 % de caseinato de sodio. La adición de 1 % de caseinato de sodio y goma arábica fue la combinación más favorable para el secado de la miel.

El almacenamiento de polvos de miel obtenidos con caseinato de sodio y goma arábica influyó en sus propiedades físicas (44). Después de 12 meses, el tamaño de partícula decreció (excepto en los polvos con goma arábica), el contenido de humedad y la actividad de agua se incrementaron, y la higroscopicidad disminuyó. Cambios en la densidad a granel, tamaño de partícula y contenido de humedad causaron el aumento de la relación de Hausner; sin embargo, los polvos aún se caracterizaron por una buena capacidad de fluido y baja cohesividad. El color de los polvos reconstituidos se afectó, pues la mayoría de las muestras oscurecieron y redujeron rojo y amarillo. Los parámetros de color fueron más estables en los polvos obtenidos con 2 % m/m de caseinato de sodio.

En un estudio realizado en Cuba (45) se optimizaron las temperaturas de secado para la obtención de la miel en polvo mediante un diseño factorial de superficie de respuesta. Se logró un óptimo con temperaturas del aire de entrada y salida de 148 y 85 °C, respectivamente, para la deshidratación de la miel mediante secado por atomización. Los mejores resultados de acuerdo a los modelos fueron 15,7 % de rendimiento; 0,49 kg/h de velocidad de evaporación; 57,7 s tiempo de disolución y 15,6 mg/kg de HMF. El producto se evaluó mediante una prueba sensorial de aceptación. Se determinó que la miel deshidratada según los parámetros optimizados se considera como un producto excelente para cremas en galletas dulces.

La optimización del secado por aspersión de la miel de abeja melipona (*Melipona beecheii* Beneth) fue estudiada mediante diseño de superficie de respuesta (46).

Las variables independientes fueron temperatura del aire de entrada (110 a 150 °C) y contenido de maltodextrina 10 DE (50 a 70 % base seca). El contenido de humedad, tiempo de disolución, higroscopicidad y densidad a granel del polvo fueron afectados negativamente por la temperatura del aire de entrada, mientras que la retención de volátiles y contenido de HMF fueron directamente relacionados. El rendimiento, retención de volátiles y tiempo de disolución se incrementaron con el aumento del contenido de maltodextrina, mientras el contenido de humedad, higroscopicidad, densidad a granel y contenido de HMF fueron negativamente afectados por el contenido de soporte. La optimización múltiple indicó que una temperatura del aire de entrada de 150 °C y 61 % bs de maltodextrina arrojaron 40 % de rendimiento; 4,9 % bs de humedad; 71 % de retención de volátiles; 242 s de tiempo de disolución y 232 mg/kg de HMF.

En otro estudio (47), se evaluó la influencia de tres soportes: concentrado de proteína de suero de leche (CPS), goma arábica (GA) y maltodextrina (MD) en las características físico-químicas, funcionales y morfológicas del polvo de miel secado por aspersión y enriquecido con amla (*Emblica officinalis* Gaertn) y extracto de albahaca (*Ocimum sanctum*) para mejorar la actividad antioxidante y contenido de vitamina C. Los tres soportes aumentaron las propiedades antioxidantes y afectaron la capacidad de fluido del polvo. El rendimiento del polvo fue de 65 % con CPS. La densidad real, higroscopicidad y fuerza de conglomeración disminuyeron significativamente en el orden CPS<GA<MD. Las más altas capacidades antioxidantes (82,7 %), contenido de fenoles totales (63,2 mg/100 g) y contenido de vitamina C (94,9 mg/100 g) se lograron con CPS. El polvo de miel enriquecido

nutricionalmente puede ser usado en las industrias de panadería y cárnica para mejorar la estabilidad oxidativa. El mismo grupo de investigación estudió el efecto del contenido de goma arábica (35, 40 y 45 %) y la temperatura del aire de entrada (160, 170 y 180 °C) en las propiedades físico-químicas, funcionales y térmicas de la miel deshidratada y enriquecida con amla y extracto de albahaca (47). El rendimiento y la  $T_g$  se incrementaron significativamente con el aumento de la temperatura de entrada, mientras que la higroscopicidad, densidad real, contenido de fenoles totales, actividad antioxidante y contenido de vitamina C disminuyeron con el incremento de este factor. El rendimiento, la  $T_g$ , contenido de fenoles totales, actividad antioxidante y contenido de vitamina C se incrementaron con el aumento del contenido de goma arábica. El polvo obtenido con 45 % de goma arábica y 170 °C de temperatura del aire de entrada fue el menos higroscópico, de mayor rendimiento y propiedades antioxidantes.

De la evaluación de los trabajos publicados de secado por atomización se puede concluir que existe una creciente demanda de diversificación de los productos de la miel, lo que le da un valor adicional a la miel. El secado por atomización es un proceso comercial con potencialidades para secar la miel para su empleo en mezclas secas en las industrias de panadería y repostería, así como en suplementos nutricionales. La miel líquida posee un alto contenido de azúcares que dificulta su secado por lo que es necesaria la adición de algún soporte de alto peso molecular que incremente su  $T_g$  y reduzca su pegajosidad. Con la optimización del secado y contenido del soporte, así como del envase adecuado para el polvo se puede lograr un producto de buena calidad y aceptable vida de anaquel.

## REFERENCIAS

1. Codex Alimentarius Commission Standards. *Draft revised standard for honey*. (33rd session), Geneva, Switzerland, 5-7 July 2010. pp. 19-26.
2. Bogdanov, S.; Jurendic, T.; Sieber, R. y Gallmann, P. J. *Am. Coll. Nutr.* 27(6):677-689, 2008.
3. Schramm, D.D.; Karim, M.; Scradler, H.R.; Holt, R.R.; Cardetti, M. y Keen, C.L. *J. Agric. Food Chem.* 51:1732-1735, 2003.
4. Hebbar, H.U.; Nandin, K.E; Lakshmi, C.H. y Subramanian, R. *Food Sci. Technol. Res.* 9(1):49-53, 2003.
5. Cui, Z.W.; Sun, L.J.; Chen, W. y Sun, D.W. *J. Food Eng.* 84:582-590, 2008.
6. Shi, Q.; Fang, Z. y Bhandari, B. *Drying Technol.* 31:1681-1692, 2013.
7. Wang, J. y Li, Q.X. *Adv. Food Nutr. Res.* 62:89-137, 2011.
8. Hebbar, H.U.; Rastogi, N.K. y Subramanian, R. *Int. J. Food Prop.* 11:804-819, 2008.
9. Sahu, J.K. *Int. J. Food Eng.* 4(8), Article 9, 2008. DOI: 10.2202/1556-3758.1356.
10. Antony, S.; Rieck, J.R.; Acton, J.; Han, I.Y.; Halpin, E.L. y Dawson, P.L. *Poultry Sci.* 85:1811-1820, 2006.

11. Ram, A.K. *Production of spray-dried honey powder and its application in bread*. (tesis de maestría, Louisiana State University, United States) 2011.
12. Gharsallaoui, A.; Roudaut, G.; Chambin, O.; Voilley, A. y Saurel, R. *Food Res. Int.* 40:1107-1121, 2007.
13. Vega-Mercado, H.; Góngora-Nieto, M.M. y Barbosa-Cánovas, G.V. *J. Food Eng.* 49:271-289, 2001.
14. Reineccius, G.A. *Flavor Chemistry and Technology*. Boca Raton, FL., Taylor & Francis Group. CRC Press, 2006, pp. 351-389.
15. Augustin, M.A.; Sanguansri, L.; Margetts, C. y Young, B. *Food Australia* 56(6):200-223, 2001.
16. Murugesan, R. y Orsat, V. *Food Bioprocess. Technol.* 5:3-14, 2012.
17. Forny, L.; Marabi, A. y Palzer, S. *Powder technol.* 206:72-78, 2011.
18. Schmitz-Schug, I.; Gianfrancesco, A.; Kulozik, U. y Foerst, P. *Food Res. Int.* 53:268-277, 2013.
19. Phisut, N. *Int. Food Res. J.* 19(4):1297-1306, 2012.
20. Mani, S.; Jaya, S. y Das, H. *Sticky issues on spray drying fruit juices*. 2002 ASAE/CSAE North-Central Intersectoral Meeting, September 27-28, 2002. Saskatoon, Canada. Paper No. MBSK 02-201, 2002.
21. Bhandari, B.R. y Howes, T. *J. Food Eng.* 40:71-79, 1999.
22. Truong, V.; Bhandari, B.R. y Howes, T. *J. Food Eng.* 71:55-65, 2005.
23. Bhandari, B.R.; Datta, N. y Howes, T. *Drying Technol.* 15:671-684, 1997.
24. Shiga, H.; Yoshii, H.; Nishiyama, T.; Furuta, T.; Forssele, P.; Poutanen, K. y Linko, P. *Drying Technol.* 19:1385-1395, 2004.
25. Reineccius, G.A. *Drying Technol.* 22:1289-1324, 2004.
26. Roustapour, O.R.; Azad, N.M. y Sarshar, M. *Drying Technol.* 30:1906-1917, 2012.
27. Santhalakshmy, S.; Bosco, S.J.D.; Francis, S. y Sabeena, M. *Powder Technol.* 274:37-43, 2015.
28. Jafari, S.M.; Assadpoor, E.; He, Y. y Bhandari, B. *Drying Technol.* 26:816-835, 2008.
29. Chegini, R.G. y Ghobadian, B. *Drying Technol.* 23:657-668, 2005.
30. Nesterenko, A.; Alric, I.; Silvestre, F. y Durrieu, V. *Ind. Crops Prod.* 42:469-479, 2013.
31. Fazaeli, M.; Emam-Djoimeh, Z.; Ashtari, A.K. y Omid M. *Food Bioprod. Process.* 90:667-675, 2012.
32. Porzio, M. *Perfumer & Flavorist* 32:34-39, 2007.
33. Wandrey, C.; Bartkowiak, A. y Harding, S.E. Materials for encapsulation. En *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, N.J. Zuidam y V. Nedovic (Eds.). New York, Springer, 2010, pp. 31-100.
34. Fang, Z. y Bhandari, B. *Food Res. Int.* 48:478-483, 2012.
35. Takashi, I. *Preparation of powder of honey or honey containing liquid food*. Japanese Patent, JP59085262, 1984.
36. Nobuhiko, A.; Katsuya, N. y Nagataka, Y. *Honey containing powder and its production*. Japanese Patent, JP4148654, 1992.
37. Yoshihide, H. y Hideaki, H. *Production of honey powder*. Japanese Patent, JP5049417, 1993.
38. Nurhady, B.; Andoyo, R.; Mahani, J. y Rossi, I. *Int. Food Res. J.* 19(3):907-912, 2012.
39. Jedlinska, A.; Samborska, K. y Witrowa-Rajchert, D. *Acta Agrophysica* 19(3):563-574, 2012.
40. Samborska, K. y Bienkowska, B. *Zeszyty Problemowe Postępsów Nauk Rolniczych* 575:91-105, 2013.
41. Samborska, K. y Czelejewska, M.J. *Food Process. Pres.* 38:413-419, 2014.
42. Samborska, K.; Gajek, P. y Kaminska-Dwórznicza, A. *Polish J. Food Nutr. Sci.* 65(2), 2015. DOI: 10.2478/pjfn-2013-0012.
43. Samborska, K.; Langa, E.; Kaminska-Dwórznicza, A. y Witrowa-Rajchert, D. *Int. J. Food Sci. Technol.* 50:256-262, 2015.
44. Samborska, K.; Langa, E. y Bakier, E. *Int. J. Food Sci. Technol.* 50(6):1359-1365, 2015.
45. Aragüez-Fortes, Y.; Pino, J.A. Bringas-Lantigua, M. y Roncal, E. *Cienc. Tecnol. Alim.* 25(3):6-13, 2015.
46. Cuevas-Glory, L.F.; Pino, J.A.; Sosa-Moguel, O.; Sauri-Duch, E. y Bringas-Lantigua, M. *Int. J. Food Eng.* (aceptado) 2016.
47. Suhag, Y.; Nayik, G.A. y Nanda, V. *Food Measure* 10:350-356, 2016.