

# Secado en espuma de jugo de camu-camu (*Myrciaria dubia*) y plátano (*Musa sp.*)

Silvia Andrea Valverde Ruiz, David Amurrio Derpic

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana San Pablo, calle M. Marquez s/n esq. Parque J. Trigo, Tupuraya, Cochabamba

e-mail: amurrio@ucbcba.edu.bo

## Resumen

Se determinó las condiciones adecuadas para espumar pulpa de camu-camu y de plátano. Las espumas fueron secadas en un horno de convección, determinándose la cinética del proceso, el efecto de variables como la temperatura del aire, el espesor de la espuma y el tipo de aditivo así como constantes como la difusividad aparente y su energía de activación. Se encontraron condiciones que permiten incrementar la eficiencia energética en un factor 8, disminuir los tiempos de secado a menos de la mitad e incrementar la capacidad productiva en un 44,9%. Ensayos organolépticos arrojaron resultados entre buenos y excelentes mientras que la preservación de la vitamina C en el camu-camu fue excelente.

Palabras clave: secado en espuma, *foam-mat drying*, camu-camu, plátano, eficiencia energética

## 1 Introducción

El secado en espuma (*foam-mat drying*) es un proceso por el cual líquidos o semi-líquidos son batidos para formar una espuma relativamente estable que luego puede ser secada ya sea por convección, por liofilización o por aplicación de microondas.

Esta tecnología fue desarrollada hace más de 50 años [5, 6] y aunque sus efectos positivos relativos a la reducción de los tiempos de secado ya eran conocidos, es sólo recientemente que sus otras virtudes comenzaron a ser descubiertas y debidamente caracterizadas. Estudios recientes apuntan por ejemplo a una mayor capacidad para secar materiales típicamente difíciles de secar [4, 7, 11], a la obtención de productos secos con propiedades particulares [8], a una mejor retención de aromas en alimentos [3] [9], a una mayor eficiencia energética [4], etc.

Estudios realizados sobre la cinética de secado encontraron que el mecanismo depende de la materia a ser secada. Al comparar procesos de secado con y sin

espumado, se encontró que el material espumado secaba más rápidamente aunque por distintos motivos. En algunos casos, la cinética era más rápida al comienzo (en la etapa de velocidad constante) probablemente debido a un mecanismo activo de transferencia de agua, por efecto capilar, hasta la superficie. En otros materiales se encontró que la parte final es relativamente más rápida, donde la cinética decrece exponencialmente y el secado es controlado por la difusión del agua. El efecto del espumado sobre el mecanismo de secado todavía no ha sido debidamente estudiado. En el curso del secado, la espuma evoluciona de manera compleja, a menudo perdiendo su capacidad de retención del líquido y el consiguiente escurrimiento del mismo. Además, las burbujas muestran fenómenos de coalescencia y ruptura, modificando así de manera compleja la estructura del sólido e incidiendo sobre la cinética del secado.

Para lograr el espumado de un líquido o semi-líquido, a menudo es necesario añadir un agente espumante. Los principales espumantes descritos en la literatura técnica y científica son el monoestearato de gliceril, proteínas de soya solubilizadas y albúmina de huevo. La espuma obtenida al batir el líquido y el espumante es una estructura intrínsecamente inestable que, al cabo de un tiempo suficiente, colapsa y el aire incorporado escapa. Para un proceso exitoso de secado en espuma se necesita que la espuma dure el tiempo del secado. Se considera que las ventajas de una estructura espumada para el proceso de secado son múltiples: se tiene un mayor área interfacial, las fuerzas capilares pueden transportar activamente el agua hacia el frente de evaporación, se limita la formación de costras en el producto y finalmente se obtiene un producto seco, poroso, crocante y fácilmente rehidratable.

Una ventaja adicional que presenta el secado por espuma reside en el equipo utilizado ya que el proceso no requiere de equipo especial como en el caso del secado por aspersión o liofilización que, dicho sea de paso, constituyen las tres únicas tecnologías de secado existentes que pueden transformar un líquido en un sólido poroso. El secado por espuma se realiza en un secador por convección convencional lo que implica que no se requiere inversiones adicionales. Resta considerar su efecto sobre la capacidad productiva. Ya se comentó que en el proceso de secado la cinética se incrementa cuando el material está espumado, constituyéndose así en un factor de incremento productivo. Al mismo tiempo, es necesario considerar el incremento en volumen que incide negativamente sobre la capacidad productiva. La relación entre incremento en la velocidad de secado y el incremento en volumen del material espumado depende del producto a ser secado, de manera que no se puede dar una respuesta general. Sin embargo, en el presente trabajo se estudiará esta relación para los casos del camu-camu y del licuado de plátano.

Los primeros estudios publicados sobre el camu-camu (*Myrciaria dubia*) datan de 1959 y fueron realizados en Perú, generando aparentemente poco o ningún interés. Después de un largo silencio, la comunidad científica reanudó su interés en este fruto en la década de 1990 como atestigua el centenar de investigaciones publicadas en ese período. El principal atributo conocido del Camu-camu es su alto contenido de ácido

ascórbico (vitamina C, 2–3% del peso fresco). Actualmente se está estudiando otras propiedades nutritivas y beneficiosas para la salud. En cuanto a sus propiedades fisico-químicas, de interés para el desarrollo de tecnologías de procesamiento y de productos derivados, se conoce muy poco, razón de nuestro interés en evaluar la facilidad de secar su jugo por medio del proceso de secado en espuma.

En contraposición al camu-camu, el plátano es ampliamente conocido y representa una importante fuente de ingresos para muchas familias en los trópicos. Después de cosechado, el deterioro del fruto es relativamente rápido y no existen mucho productos derivados que además presenten valores agregados interesantes. Procesos tradicionales de secado han tropezado con dificultades cuando han intentado reducir la humedad a un mínimo, debido a la formación de costras impermeables a la humedad, una disminución de las propiedades nutritivas causada por los tiempos largos de secado, además de problemas de pardeamiento que llevan a productos estéticamente poco deseables.

## 2 Materiales y métodos

Para preparar la espuma se licuó la fruta fresca (por lotes de aprox. 300 g) con diferentes cantidades de agente espumante en una licuadora doméstica (Magefesa, Blenda de 500 W). Los agentes espumantes utilizados fueron albúmina de huevo, aislado proteico de soya y Emustab®<sup>1</sup>, además de un estabilizante para la espuma: la Liga Neutra Extra Industrial®<sup>2</sup>, todos ellos adquiridos en el comercio local. Las espumas se consideraron estables si no colapsaban ni perdían líquido al cabo de 5 horas.

El peso seco de las frutas fue determinado por medio de un secador Memmert a 80 °C y 0,75 atmósferas durante 3 horas y luego enfriados en un desecador con silicagel activado antes de ser pesados en una balanza Mettler Toledo AB204-5 de 0,1 mg de precisión.

En el caso del camu-camu, se tituló la vitamina C por el método del 2,6 dicloro indofenol antes y después del secado [2]

El secador fue construido en los laboratorios de la Universidad Católica [10]. Mide 0,6 m de alto, 1,70 m de largo y 0,45 m de ancho, con opción para variar la tasa de recirculación del aire por medio de unas celosías ubicadas en el extremo de salida del aire. Cuenta con 2 ventiladores y 2 resistencias. La velocidad promedio del aire es de 4 m/s. Las dos resistencias están conectadas individualmente a 2 potenciómetros para regular la temperatura del aire (entre 30 y 100 °C). Las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo a la entrada y salida de la cámara de secado fueron medidas con termocuplas y la información capturada en tiempo real por un ordenador. La cámara de

---

<sup>1</sup> Emustab ® está compuesto por monoglicéridos destilados SIN 471, monoestearato de sorbitán SIN 491 y polisorbato 60 SIN435.

<sup>2</sup> Liga Neutra Extra Industrial está compuesta por fécula de yuca, carboximetilcelulosa SIN E466, goma Guar y monoglicéridos SIN 471.

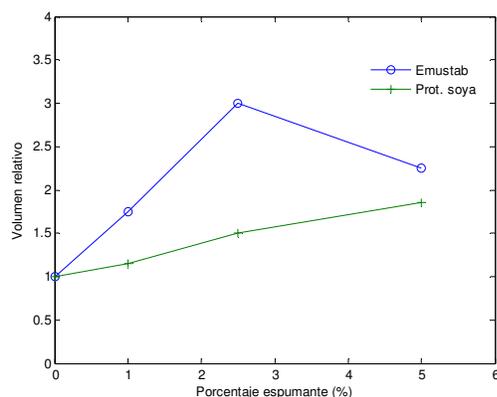
secado mide 0,16 m<sup>2</sup> y la espuma ocupaba típicamente 0,03 m<sup>2</sup>. Para determinar la cinética del proceso, se pesó a intervalos prudentes la espuma depositada sobre su placa con una balanza Electronic Balance HX5025 de 500 g de capacidad y 0,01 g de sensibilidad. La velocidad del aire fue medida con un anemómetro Europe Supplies EA3000.

Previo a cada experimento, el secador fue estabilizado térmicamente durante 1 hora a la temperatura y velocidad de circulación de aire deseada. En un experimento realizado sin material se determinaron las pérdidas térmicas del secador y los valores obtenidos fueron tomados en cuenta para los balances energéticos.

### 3 Resultados y discusión

#### 3.1 Espumado

En el caso del plátano se obtuvo espumas con Emustab® y con el aislado proteico de soya (APS). Los efectos de la concentración del agente espumante sobre el volumen estable obtenido se muestran en la figura 1. En todos los casos se buscó adecuar el tiempo de batido para obtener una espuma que sea estable por unas 5 horas, tiempo necesario para completar el secado.



**Figura 1:** Incremento estable del volumen relativo en relación al aditivo y el porcentaje del mismo

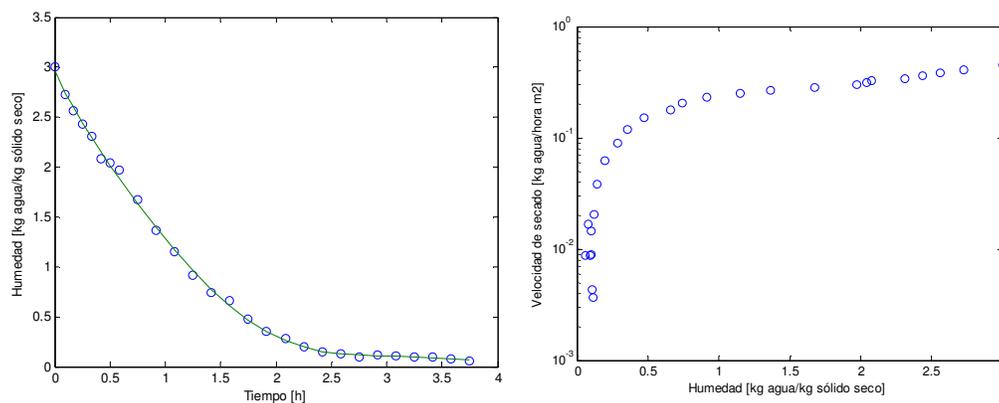
Para contrarrestar los efectos del pardeamiento típico del plátano se ensayó licuar los frutos bajo atmósfera de nitrógeno y también añadiendo una mezcla de ácido ascórbico (0,1-1%) y ácido cítrico (0,2 - 2%) obteniendo productos secos entre rosado suave y ligeramente rojizo. Combinado con pruebas de degustación se optó por 0,1% de ácido ascórbico y 0,2% de ácido cítrico.

En el caso del camu-camu se obtuvo espumas con Emustab®, con el aislado proteico de soya y con la albúmina de huevo. Las espumas formadas con Emustab®

resultaron ser muy inestables (probablemente a causa de la acidez del fruto que presenta un pH de 2) colapsando a los pocos minutos de formadas, de manera que dicho aditivo fue descartado. Con el aislado proteico de soya se logró duplicar el volumen original y con la albúmina se logró cuadruplicarlo. Sin embargo, en ambos casos fue necesario añadir un estabilizante (Liga neutra) para retardar el colapso de la estructura porosa.

### 3.2 Cinética de secado.

Para estudiar la cinética del proceso, se graficó la fracción de humedad libre contra el tiempo de secado bajo condiciones constantes de secado. Los datos fueron analizados para discriminar entre zonas de velocidad de secado constante, linealmente decreciente y exponencialmente decreciente. La transición entre los diferentes mecanismos fue identificada en base a una correlación ponderada según la cantidad variable de puntos comprendidos en cada mecanismo.

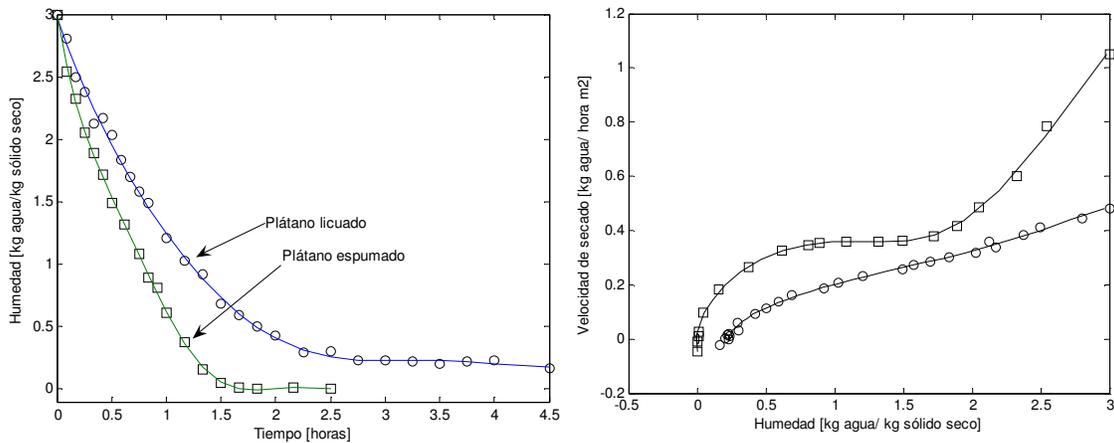


**Figura 2:** Curva típica de secado y curva típica de velocidad de secado. La escala logarítmica de la ordenada pone en evidencia 2 mecanismos diferentes pero oculta la secuencia de curvatura cóncava-convexa reproducida en la figura 3.

La existencia de una estructura espumada sin embargo tiene un efecto perturbador sobre las características convencionales de la cinética del proceso de secado. La correlación entre los puntos experimentales y los modelos presentaban serias inconsistencias llevándonos finalmente a optar por aproximar los datos experimentales por una relación polinómica. Las relaciones de velocidad de secado derivadas de los datos experimentales exhiben una secuencia de curvatura cóncava seguida de una curvatura convexa, característica que ya fue observada anteriormente (figuras 2 y 3).

### 3.3 Impacto del espumado

Para evaluar el beneficio del espumado se compararon los resultados obtenidos al secar el licuado de cada fruta con y sin agente espumante. Para la comparación se mantuvo constante la temperatura y el flujo del aire así como el área y espesor del producto fresco. Los resultados típicos obtenidos están reproducidos en la figura 3.



**Figura 3:** Curvas de secado para plátano licuado(○) y plátano espumado(□) con Emustab® ambos a 65 °C y 2,5 mm de espesor.

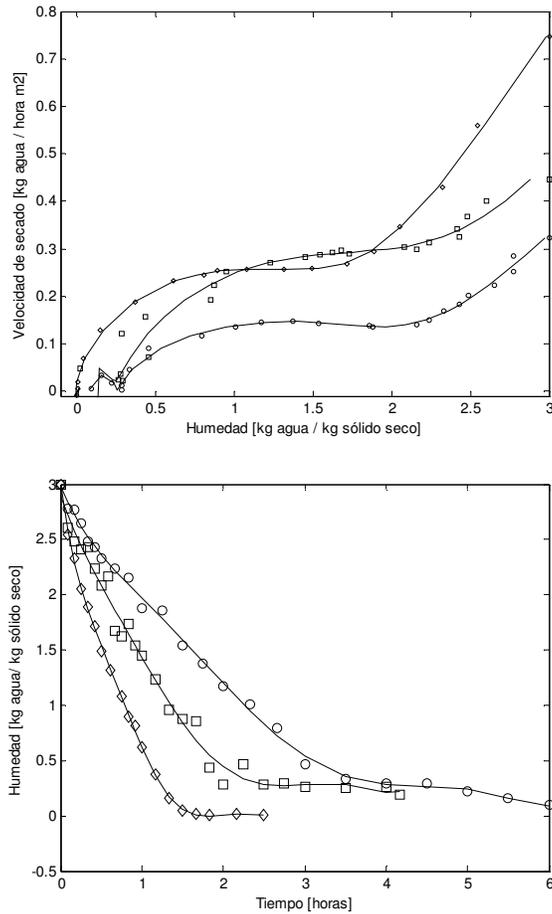
La curva de secado muestra que el plátano espumado no solamente pierde su agua más rápidamente que el plátano licuado sino que además, el producto espumado converge hacia un producto más seco que el producto licuado.

### 3.4 Efecto de variables

Al estudiar el proceso de secado por espuma, estamos buscando elucidar el mecanismo de secado, determinar la cinética del mismo así como identificar las condiciones finales que podamos alcanzar. Las variables que hemos modificado para este estudio fueron la temperatura del aire, el espesor de la placa espumada y la naturaleza del aditivo.

#### 3.4.1 Efecto de la temperatura

Los estudios realizados sobre el efecto de diferentes variables sobre el proceso de secado confirmaron que la temperatura tiene un efecto positivo sobre la cinética del proceso (figura 4).

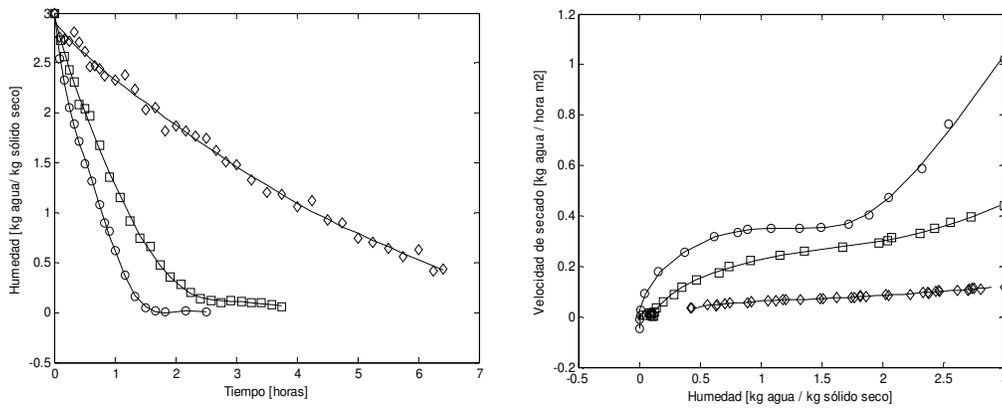


**Figura 4:** Efecto de la temperatura sobre la cinética del secado de plátano con Emustab® de 2,5 mm de espesor a 65 °C (◇), 55 °C (□) y 45 °C (○)

Aparentemente, las temperaturas más altas no solamente aceleran el proceso de secado sino que además permiten alcanzar productos más secos que las temperaturas más bajas, probablemente por efecto del tiempo de vida limitado de la estructura espumada la cual, mientras persiste, facilita la eliminación de la humedad restante.

### 3.4.2 Efecto del espesor de la placa espumada

Las mediciones de secado bajo condiciones constantes, salvo el espesor del producto espumado, mostraron (figura 5) que las placas más delgadas secaban más rápidamente. Se puede observar que probablemente existe un espesor óptimo ya que la placa de 2,5 mm secaba aproximadamente en la mitad del tiempo que la placa de 5 mm de espesor (lo que implica una igual capacidad productiva) pero que la placa de 7,5 mm tardaba más de 6 veces, a pesar de representar solamente el triple de masa que la primera.

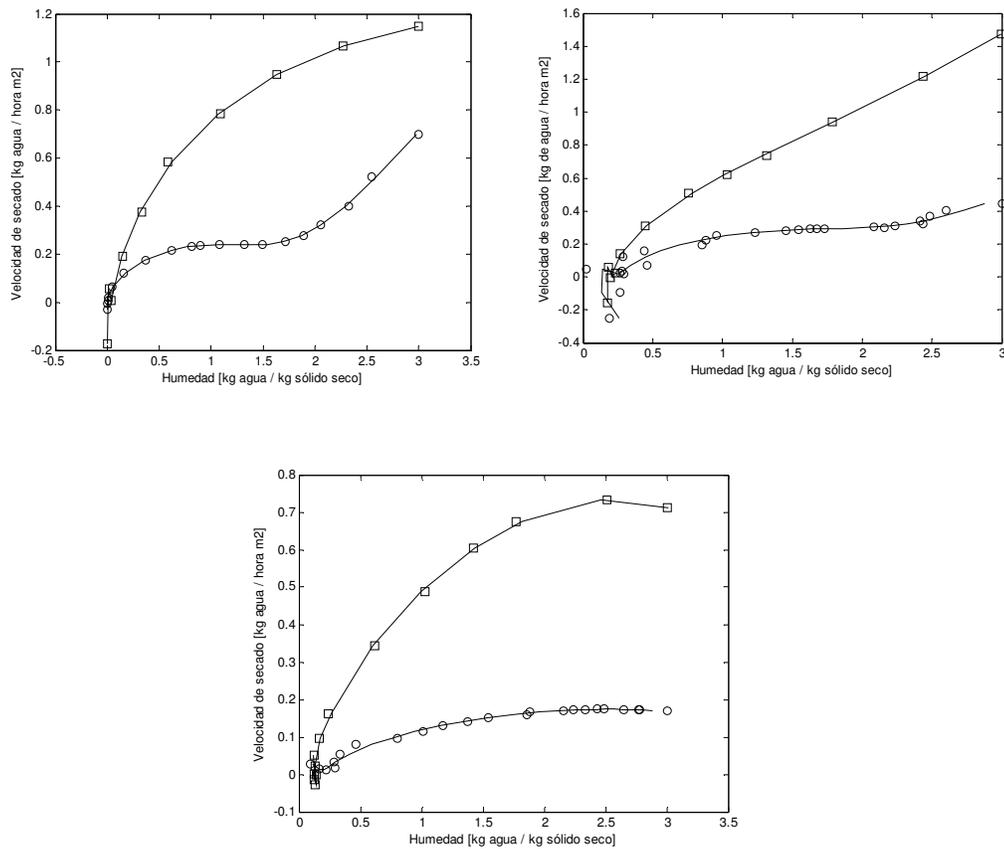


**Figura 5:** Efecto del espesor  $\Delta z = 2,5$  mm ( $\circ$ ), 5 mm ( $\square$ ) y 7,5 mm ( $\diamond$ ) de la placa espumada para plátano con Emustab® secado a 65 °C.

Los resultados obtenidos también traducen el mayor impacto que tiene el espesor de la placa espumada sobre la velocidad de secado cuando se lo compara con el efecto de la temperatura del aire.

### 3.4.3 Efecto del aditivo

Las pruebas de secado utilizando el aislado proteico de soya (APS) como espumante del plátano indicaron que también existe un efecto acelerador relativo al secado del plátano licuado. La principal diferencia que se encontró estaba en la forma adoptada por las curvas de velocidad de secado que por un lado no exhibían la característica secuencia de curvatura convexa-cóncava sino, al contrario, adoptaban una forma cóncava y además reflejaban sistemáticamente velocidades más altas comparadas con las espumas con Emustab® (figura 6).



**Figura 6:** Comparación de velocidades de secado utilizando Enustab® (○) y APS (□) en placas de 2,5 mm de espesor y temperaturas de 65 °C (arriba izquierda), 55 °C (arriba derecha) y 45 °C (abajo)

Resta por determinar si la diferencia entre los tipos de curvas de secado se debe a un comportamiento diferente en la espuma según el tipo de aditivo.

### 3.5 Difusividad

Comparado con el secado del plátano licuado, las elevadas velocidades de secado observadas al inicio del proceso pueden ser explicadas invocando un mecanismo capilar. Sin embargo, cuando el proceso de secado está llegando a su término, la difusión pura es el único mecanismo posible.

Cuando se consideran fenómenos de difusión sobre tiempos relativamente "largos", se puede estimar el valor de una constante difusiva aparente  $D_{app}$  por medio de la relación:

$$D_{app} = -\frac{4\Delta z^2}{\pi_f} \ln \frac{\pi^2 x_f}{8x_c} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde  $\Delta z$  es el espesor de la placa,  $t_f$  es el tiempo transcurrido desde el inicio del proceso controlado por difusión hasta el final del mismo,  $x_f$  es la humedad al final del proceso y  $x_c$  la humedad al inicio de la etapa controlada por difusión.

Los resultados obtenidos indican que el plátano espumado con Emustab® exhibe una constante de difusión de un orden de magnitud más elevado que el plátano licuado (Tabla 1).

**Tabla 1.** Constantes de difusión aparentes [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] para placas de 2,5 mm de espesor

	45 °C	55 °C	65 °C
Plátano licuado	----	----	$3,47 \cdot 10^{-10}$
Emustab®	$1,022 \cdot 10^{-9}$	$1,33 \cdot 10^{-9}$	$5,2869 \cdot 10^{-9}$
APS	$3,94 \cdot 10^{-11}$	$1,02 \cdot 10^{-10}$	$6,558 \cdot 10^{-9}$

El aislado proteico de soya por su lado exhibe constantes difusivas pequeñas a temperaturas menores que corroboran así la observación anteriormente realizada que mostraba un efecto capilar más pronunciado.

Estos resultados nos permiten asegurar que ambos espumantes exhiben efectos capilares importantes respecto al licuado, siendo los del APS más importantes mientras que en la etapa final, controlada por difusión, el espumante Emustab® permite una mayor difusividad del agua que el APS o el licuado de plátano

Analizando los resultados con Emustab® para diferentes espesores de placa, hemos encontrado a 65 °C valores de  $5,2869 \times 10^{-9}$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] para 2,5 mm.,  $5,672 \times 10^{-9}$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] para un espesor de 5 mm y  $5,692 \times 10^{-9}$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] para un espesor de 7,5 mm. Lo anterior nos permite concluir que la difusividad no varía significativamente con el espesor de la espuma.

Basándonos en los valores medidos para la difusividad del agua en el plátano espumado, podemos calcular la energía de activación necesaria para retirar el agua a través de una relación tipo Arrhenius entre la difusividad y la temperatura del secado donde  $D_o$  es una constante [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],  $E_a$  es la energía de activación [ $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{mol}$ ],  $R$  es la constante universal de gases  $8,314$  [ $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{mol}\cdot\text{K}$ ] y  $T$  es la temperatura absoluta.

$$D_{app} = D_o \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Nuestras mediciones encontraron que la energía de activación en el caso del plátano espumado con Emustab® era de  $78,07$  [ $\text{kJ}/\text{mol}$ ] mientras que en el caso del espumado

con APS la energía de activación llegaba a 213,8 [kJ/mol] confirmando así el efecto de mayor difusividad en el espumado con Emustab®.

#### 4 Eficiencia energética

En un proceso de secado la eficiencia energética se entiende como aquella fracción de la energía introducida que es utilizada para pagar el costo energético necesario para que el agua líquida se transforme en vapor. Dicho concepto, aunque útil, es bastante simplista puesto que no considera aspectos como relación entre el sólido y el agua (energía de adsorción, fenómenos capilares, calentamiento del sólido húmedo y seco, cambios estructurales en el sólido, etc.). En su determinación experimental, la eficiencia energética es función tanto de las propiedades del material secado (porosidad, higroscopicidad, tamaño, etc.) como del diseño del secador (tipo, configuración, modo de calentamiento, longitud de la bandeja puesta a secar, etc.), sin olvidar las condiciones operativas (temperatura de secado, reciclado del aire, flujo del aire, etc.). Datos de eficiencia globales reportados en la literatura son de escasa utilidad por que no permiten diferenciar los efectos del material a secar de aspectos propios al diseño del secador y sus condiciones operativas. Tampoco permiten estudiar la variación de la eficiencia durante el desarrollo del proceso de secado.

En consideración a lo anteriormente expuesto, hemos intentado caracterizar una eficiencia de secado instantánea a lo largo del proceso. Para desconsiderar efectos propios del equipo y las condiciones operativas, determinaremos la relación existente entre las eficiencias instantáneas para el producto espumado en contraposición al producto no espumado.

En este trabajo definimos la eficiencia energética instantánea  $\epsilon_E$  como:

$$\epsilon_E = \frac{-\lambda \cdot L_s \cdot dx}{R \cdot I^2 \cdot dt} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

donde:  $\lambda$  [J/kg] es el calor latente de vaporización a la temperatura de la espuma

$L_s$  [kg sólido seco] es la masa seca de la espuma

$x$  [kg agua / kg sólido seco]

$R$  [ohm] es la resistencia del elemento calefactor

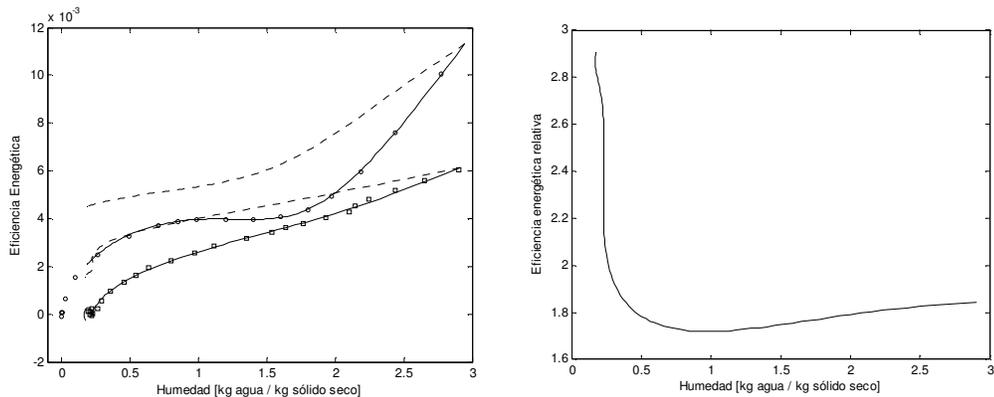
$I$  [amp] es la corriente eléctrica aplicada a la resistencia

$t$  [s] es el tiempo

Si se integra la eficiencia energética instantánea desde el tiempo inicial hasta un tiempo  $t$  cualquiera, se puede obtener la eficiencia acumulada:

$$E = \frac{-\int_{x_0}^x \lambda \cdot Ls \cdot dx}{\int_0^t R \cdot I^2 \cdot dt} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

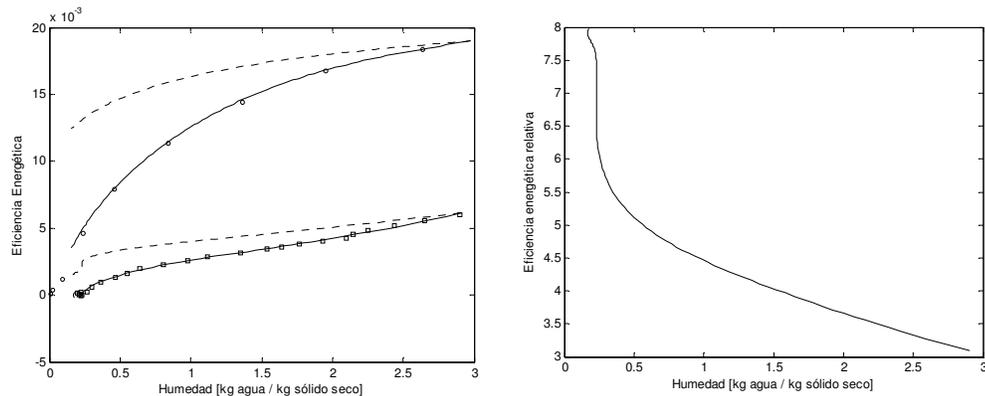
Las eficiencias energéticas instantáneas y acumuladas han sido medidas y los resultados graficados para el plátano licuado y el espumado con Emustab®. Para lograr una mejor comparación, hemos graficado también la relación de sus energías acumuladas (figura 7)



**Figura 7:** (Izquierda) Eficiencias energéticas instantáneas (trazo continuo) y acumuladas (trazo punteado) en el secado del plátano licuado(□) y del plátano espumado con Emustab® (○). (Derecha) Relación entre eficiencias acumuladas para espumado en relación al licuado.

La figura 7 ilustra la mayor eficiencia térmica en el secado del producto espumado. El gráfico a la derecha de la misma figura reproduce la relación que existe entre las eficiencias energéticas acumuladas y nos permite resaltar 2 grandes tendencias: al disminuir la humedad de 3 a 0,7 [kg agua / kg sólido seco], la eficiencia energética del secado pasa de 1,8 a 1,7 veces más eficiente a favor del espumado. Prosiguiendo con el secado, cuando la humedad pasa de 0,7 a 0,2 [kg agua / kg sólido seco], la eficiencia energética del secado se dispara hasta 2,9 veces a favor del producto espumado. Concluyéndose así que el secado del plátano espumado con Emustab® es 2,9 veces más eficiente. Una comparación hasta el valor final cercano a 0 no fue posible porque la velocidad de secado del producto licuado era casi nula.

La misma comparación ha sido realizada con el plátano espumado con el aislado proteico de soja (APS) encontrándose los resultados reproducidos en la figura 8.



**Figura 8:** (Izquierda) Eficiencias energéticas instantáneas (trazo continuo) y acumuladas (trazo punteado) en el secado del plátano licuado ( $\square$ ) y del plátano espumado con APS ( $\circ$ ). (Derecha) Relación entre eficiencias acumuladas para espumado en relación al licuado.

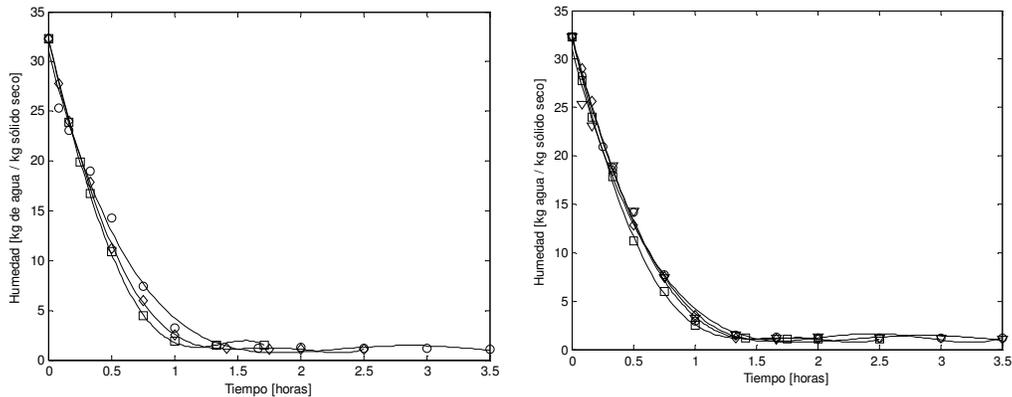
En términos de eficiencia energética, el proceso de secado del plátano espumado con APS es 8 veces más eficiente respecto al plátano licuado.

Mediciones similares a las descritas fueron realizadas con el camu-camu pero en todos los casos se encontró que no existían diferencias pronunciadas entre el producto licuado y el espumado con albúmina de huevo o con aislado proteico de soya (figura 9, izquierda) tampoco se encontraron diferencias significativas en cuanto a la temperatura del secado (figura 9, derecha).

Los resultados obtenidos fueron procesados para determinar características como ser las velocidades de secado, la eficiencia energética, la difusividad, etc. El comportamiento tan similar observado hace que el error experimental adquiera mayor importancia relativa, razón por la cuál nuestros resultados por el momento quedan inconclusos. El estudio de nuevos espumantes adaptados al camu-camu y su acidez extrema serán motivo de trabajos ulteriores en nuestros laboratorios.

Sin embargo, el secado en espuma del camu-camu sí tuvo algunos resultados dignos de mención. Se ha constatado por una parte que aunque los valores de humedad alcanzados eran similares tanto para el producto licuado como para el producto espumado, sus propiedades macroscópicas sin embargo diferían. El producto licuado cuando seco consistía en una costra seca que cubría una parte vidriosa de difícil manejo y prácticamente imposible de resuspender en agua. Los productos espumados, al contrario, eran porosos, de humedad constante, que fácilmente se transformaban en un polvo de fácil manejo y rápidamente dispersable en agua. Por otra parte, se ha encontrado evidencia de que el producto espumado permite una mejor preservación de la vitamina C. Titulaciones por el método [2] del 2,6 dicloroindofenol revelaron que el contenido de vitamina C en el fruto era de  $2,125\% \pm 0,031$ , valor que después de

espumado y secado pasa a ser  $2,103\% \pm 0,053$ , representando una conservación del 98,96% comparado con una conservación del 78% medido en el secado de tajadas de camu-camu hasta 10% de agua tal como fue reportado en la literatura [1].



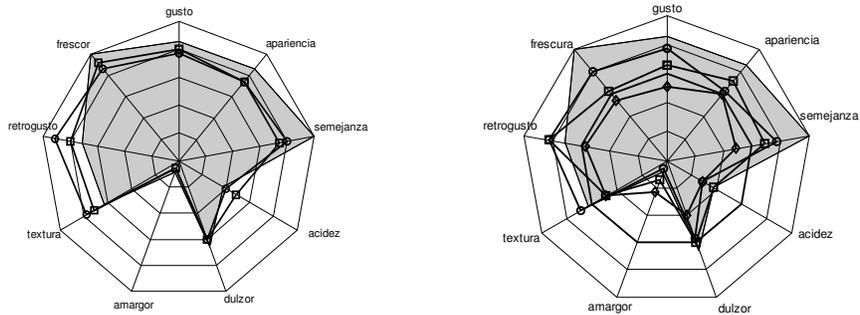
**Figura 9:** Efecto del aditivo (izquierda): Camu-camu licuado (○), Albúmina de huevo (◇), APS (□) secado en placa de 2,5 mm de espesor a 40 °C. Efecto de la temperatura (derecha) Secado en espuma con albúmina a 40 °C (□), 50 °C (◇), 30 °C (Δ) y licuado(○)

## 5 Producto y proceso

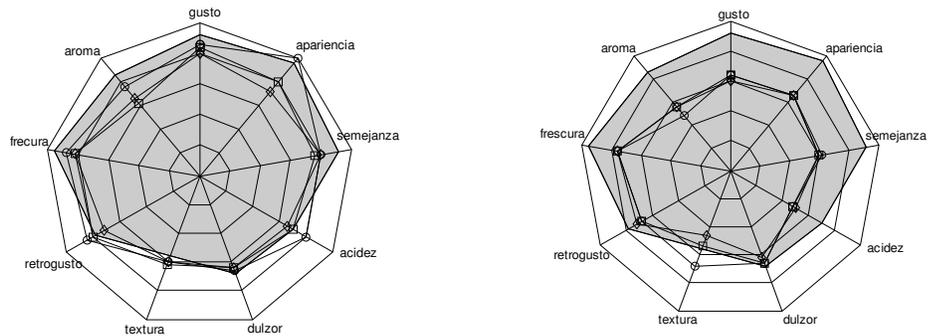
Los sólidos obtenidos después del secado, eran porosos, se molían fácilmente en un polvo y eran de fácil manejo. Al entrar en contacto con el agua, absorbían ésta fácilmente y por consecuencia podían ser resuspendidos sin dificultad. Ambas frutas exhibían colores claros, ligeramente crema en el caso del plátano y rosado suave en el caso del camu-camu.

Las espumas secas y molidas fueron resuspendidos en agua, en el caso del camu-camu, y en leche, en el caso del plátano, en cantidades necesarias para alcanzar las mismas concentraciones que los productos frescos. Se procedió a una prueba de degustación que pudiese identificar los cambios causados por la adición de espumantes y por el proceso de secado.

Las pruebas de degustación fueron realizadas por un panel de 10 personas sin experiencia previa. Se solicitó al panel clasificar los diferentes preparados sobre una escala hedónica de 0 a 5 tomando como referencia una preparación basada en la fruta fresca (siendo 0 el menos parecido y 5 el más parecido).



**Figura 10:** Polígono hedónico para el plátano. La mancha oscura corresponde al plátano licuado. Licuados reconstituidos con Emustab® (izquierda) 55 °C (○) y 65 °C (□). Licuados reconstituidos con APS (derecha) 45 °C (○), 55 °C (◇) y 65 °C (□)



**Figura 11:** Polígono hedónico para el camu-camu. Licuados reconstituidos con albúmina de huevo (izquierda) 40 °C (○), 50 °C (□) y 60 °C (◇). Licuados reconstituidos con APS (derecha) 40 °C (○), 50 °C (◇) y 60 °C (□)

Los resultados de la valoración indicaron mejores resultados con el plátano espumado con Emustab® a 55 °C. En comparación con el espumado con APS, el secado a una temperatura más baja (como 45 °C) era preferible a procesos a mayor temperatura, pero era inferior al primero si se consideraban parámetros como frescura, amargor, semejanza y gusto (figura 10). En el caso del camu-camu, se obtuvieron mejores resultados con la albúmina de huevo relativo al aislado proteico de soya (figura 11).

Globalmente se observa un alto grado de semejanza entre el fruto fresco y las espumas secas reconstituidas cuando éstas han sido espumadas con Emustab® o albúmina de huevo. Las frutas espumadas con el aislado proteico de soya tenían mayores diferencias respecto al fruto fresco sin que esto necesariamente implique una menor calidad organoléptica.

La adaptación de un proceso de secado en espuma nos obliga también a considerar los costos asociados con cambios en la capacidad productiva y costos operativos como son los energéticos. Ya habíamos comentado sobre los efectos contrarios que existen entre secar productos de menor densidad pero por tiempos más cortos. En el caso del plátano, nuestros resultados presentan la dificultad de no permitírnos realizar un análisis directo puesto que el plátano licuado nunca llegó a secar hasta el mismo grado que los plátanos espumados. Admitiendo una humedad final de 0,2 [kg agua/kg sólido seco] correspondiente al estado más seco del plátano licuado, el secado de éste tarda 3 horas mientras que el secado del plátano espumado con Emustab® y APS tarda respectivamente 1,3 y 0,95 horas para alcanzar idéntico grado de humedad. Considerando la menor densidad de los productos espumados y comparando con una capacidad normalizada de 100 kg sólido seco/hora m<sup>2</sup> para el secado del plátano licuado, obtenemos que el secado del plátano espumado con Emustab® tiene una capacidad de 61,4 kg sólido seco/ hora m<sup>2</sup> y que el secado del plátano espumado con APS tiene una capacidad de 144,9 kg sólido seco/ hora m<sup>2</sup>. De esta breve comparación, el proceso de secado de plátano espumado con APS es claramente el mejor y no solamente porque incrementa la capacidad del secador en un 44,9% sino además permite una eficiencia energética 8 veces mayor (*vide supra*). La situación del secado del plátano en espuma con Emustab®, aunque con menor capacidad productiva, tiene todavía la ventaja de presentar mejor eficiencia energética por un factor 2,9, quedando la conclusión final de esta comparación en función de los costos relativos de los secadores y de la energía.

En el caso del camu-camu, tal como se mencionó previamente, la gran similitud entre las diferentes curvas de secado nos impiden realizar comparaciones que no estén opacadas por el error experimental. Sin embargo se retiene las mejores cualidades funcionales del secado en espuma así como la mayor retención de vitamina C.

## 6 Conclusiones

Sólidos secos de flujo libre, buena apariencia y buenas a excelentes propiedades organolépticas fueron obtenidos a partir de pulpa de camu-camu y plátano cuando estos fueron secados en espuma, características no alcanzables si se obvia la etapa de espumado. Los tiempos de secado fueron reducidos a menos de la mitad en el caso del plátano y la eficiencia energética del proceso mejoró en un factor 2,9 (con Emustab®) y en un factor 8 (con APS). La capacidad productiva del proceso del secado fue incrementado en 44,9% (con APS). Un análisis de la cinética de secado sugiere que el espumado con APS estaría dominado por fuerzas capilares con poca influencia de una etapa controlada por difusión, mientras que en el secado con Emustab®, la etapa

controlada por difusión es más activa cuando se la compara con la difusión en el plátano licuado.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a INASP por financiar el acceso parcial a la literatura científica y tecnológica y a Industrias de la Selva por su donación de pulpa de camu-camu.

## Referencias

- [1] Altenhofen da Silva, M.; Arévalo Pinedo, R.; Kieckbusch, T. G. 2005. Ascorbic Acid Thermal Degradation during Hot Air Drying of Camu-Camu (*Myrciaria dubia* [H.B.K.] McVaugh) Slices at Different Air Temperatures. *Drying Technology*, 23, 2277.
- [2] AOAC Official method 967.21 Ascorbic Acid in Vitamin Preparation and Juice. Official Methods of Analysis of AOAC International 16<sup>th</sup> Ed. 3<sup>rd</sup> review AOAC International, Gaithersburg, MD. USA
- [3] Komes, D.; Lovric, T.; Kovacevic Ganic, K, 2007. Aroma of dehydrated pear products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 40, 1578
- [4] Kudra, T.; Ratti, C. 2006. Foam-mat drying: Energy and cost analysis. *Canadian Biosystems Engineering* 48, 3.27
- [5] Morgan, A. I.; Ginette, L. F. 1960. Continuous Process of Dehydrating of fruit and vegetable juices U.S.Patent N° 2,955,046 filed 16 Dec. 1958, granted 4 Oct. 1960.
- [6] Morgan, A. I.; Ginette, L. F. 1960. Dehydration of fruit and vegetable juices U.S.Patent N° 2,955,943 filed 16 Dec. 1958, granted 11 Oct. 1960
- [7] Rajkumar, P.; Kailappan, R. Viswanathan, R.; Raghavan, G. S. V. 2007 Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam-mat dryer. *Journal of Food Engineering* 79, 1452
- [8] Thuwapanichayanan, R.; Prachayawarakorn, S.; Soponronnarit, S. 2008. Drying characteristics and quality of banana foam-mat. *Journal of Food Engineering*, 86, 573
- [9] Vernon-Carter, E. J.; Espinosa-Paredes, G.; Beristain, C. I.; Romero-Tehuizil, H. 2001. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats. *Food research International* 34, 587.
- [10] Viscarra Vacaflares, A. 2009. Diseño de un horno para deshidratado de frutas. Proyecto de grado en Ing. Industrial. Universidad Católica Boliviana, Cochabamba.

- [11] Sankat, C. K.; Castaigne, F. 2004. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 37, 517