

Evaluación del proceso de liofilización de champiñones, bananas y tomates venezolanos

Evaluation of the lyophilization process of venezuelan mushrooms, bananas and tomatoes

Márquez, Keyla^{1*}; Alarcón Domingo¹; Montilla Milagro¹; Salcedo, Jaimel¹; Contreras, Quiliano²

¹Núcleo Universitario Alberto Adriani. Facultad de Ingeniería,
Universidad de Los Andes – El Vigía – Venezuela

² Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Jesús María Semprum, UNESUR,
Laboratorio de Química, Santa Bárbara de Zulia
keylaenator@gmail.com

Resumen

En este trabajo se discute la utilización del método de liofilización para la deshidratación de alimentos. Luego de la limpieza y preparación de las muestras de los vegetales, se procedió a la congelación, usando un congelador doméstico, a -7°C . Se pesaron las muestras antes de someterlas al proceso de deshidratación y se introdujeron en el Liofilizador. Se hizo un seguimiento a intervalos de tiempo mediante pesado, permitiendo hacer un estudio de la cinética de liofilización de bananas, champiñones y tomates. Se estimó el porcentaje de agua presente en las muestras y se registró la variación de la masa con el tiempo, en las condiciones de los experimentos, así como el consumo energético y el costo monetario del proceso eléctrico.

Palabras clave: Liofilización, deshidratación de alimentos, cinética de deshidratación, bananas, champiñones, tomates

Abstract

In this paper, the use of the Lyophilization method for food dehydration is discussed. After cleaning and preparation of the vegetable samples, the freezing step was performed using a domestic freezer, at -7°C . The samples were weighed before being submitted to the dehydration process and then introduced into the Lyophilizer. It was followed by weighing at several intervals of time, for following the kinetics of lyophilization of bananas, mushrooms and tomatoes. An estimate was also made of the percentage of water present in the samples, as well as the energy consumption and monetary cost of the electrical process.

Keywords: Lyophilization, dehydration of food, kinetics of dehydration, bananas, mushrooms, tomatoes

1 Introducción

La liofilización (conocida en el pasado como criodesecación) es un proceso de deshidratación de productos a presión baja (vacío) y temperatura moderada. En este proceso no ocurre la evaporación del agua a partir del estado líquido en procesos convencionales de secado, sino la sublimación del hielo. Por este motivo los productos deben permanecer obligatoriamente solidificados, es decir, congelados durante el secado (Rothmayr 1974, McCulloch y col., 1970, Barbosa y col., 2000)

La liofilización involucra un conjunto de procesos, que no solamente incluye el secado, sino que tiene la ventaja de conservar las características originales del producto como son la textura, el color, aroma, y sabor, es lo que lo hace diferente de los procesos de deshidratación.

La figura 1 ilustra el proceso de sublimación.

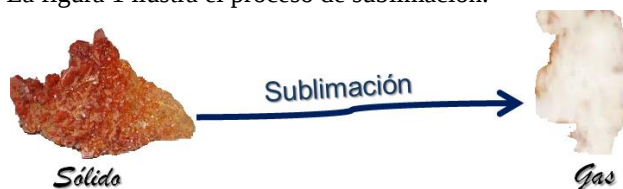
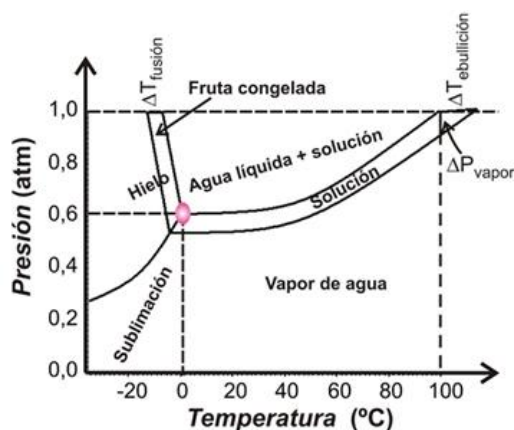


Figura 1.- Representación esquemática del proceso de sublimación

Es un proceso de secado que consiste en sublimar el hielo contenido en un producto congelado. El agua del producto pasa, directamente de estado sólido a vapor sin pasar por el estado líquido, para lo cual se debe trabajar por debajo del punto triple del agua, 0.01°C y 4.5 mmHg (figura 2). Como proceso industrial se desarrolló a mediados del siglo XX, pero sus principios eran ya conocidos y empleados por los incas. El procedimiento ancestral consistía en dejar que los alimentos se congelasen durante la noche por la acción del frío de los Andes y gracias al calor de los primeros rayos de sol de la mañana y la baja presión atmosférica, se concretaba el proceso de secado.



● Punto triple

Figura 2.- Diagrama fásico del agua mostrando el punto triple

El proceso de secado consiste en evaporar el agua contenida en la muestra desde la superficie del producto y arrastrarla hacia el aire circulante del Liofilizador. La velocidad de este proceso depende de las características del producto (composición química, contenido de humedad, tamaño de la muestra, entre otros). La figura 3 ilustra el proceso de secado por liofilización.



Figura 3.- Representación esquemática del proceso de secado por liofilización. Las líneas azules corresponden al frente de sublimación

Actualmente el proceso de liofilización es muy utilizado en la preparación de fármacos (Nail y col., 1993). En el caso de los alimentos existe abundante información en la literatura (Badui 2006, Barrett y col., 2005, Argyropoulos y col., 2011, Pino y col., 2018, Telis 2002, Cortés y col., 2015, Ratti 2013, Orrego y col., 2005) pero, tratándose de ese rubro, no es fácil estandarizar condiciones ya que hay muchas variables que controlar tales como clima, composición del suelo, tratamiento de las cosechas, entre otros. Se han empleado técnicas acopladas (Cárcel y col., 2017), a fin de mejorar el proceso, aunque podría correrse el riesgo de alterar las propiedades de la muestra. Recientemente, Márquez y colaboradores Reportó información sobre aspectos teóricos del proceso de liofilización (Márquez y col., 2018).

2- Etapa de congelación

La congelación de la muestra influye enormemente en la calidad y apariencia del producto final. Es una de las principales etapas (Zhai y col., 2005, Oetjen y col., 2004). Cuando se realiza el enfriamiento por debajo del punto de solidificación, ocurre un proceso de nucleación, es decir, la formación de pequeñas partículas de hielo y, mediante un choque físico de esos núcleos, la formación de cristales de hielo ocurrirá casi instantáneamente. Pikal (Pikal 1990) reportó un estudio cinético del proceso congelación-deshidratación en una cámara de vacío.

El proceso de congelación en los alimentos es más complejo que la congelación del agua pura, ya que los alimentos al contener otros solutos presentan un comportamiento ante la congelación similar al de las soluciones. A pesar de que las bajas temperaturas disminuyen, las tasas de crecimiento bacteriano no las matan por completo. Es por esta razón, que los alimentos que se almacenen a bajas temperaturas

deben ser de buena calidad.

En el método de deshidratación por liofilización hay varias formas de congelar las muestras: (i) usando la técnica criogénica mediante el uso de nitrógeno líquido (congelación rápida) y (ii) usando congelación convencional con un aparato doméstico (congelación lenta). La figura 4 muestra el perfil de congelación en ambos casos. La congelación rápida ocurre en un tiempo menor.

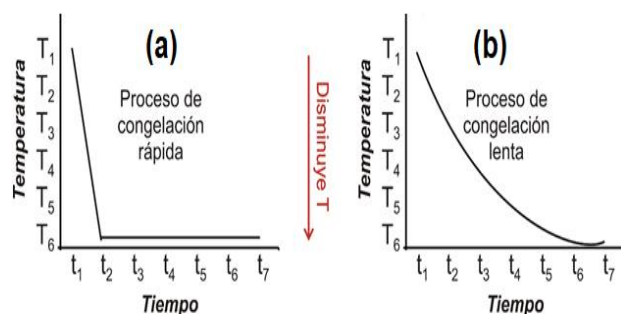


Figura 4.- Perfil de temperatura del proceso de congelación (a) proceso rápido (b) proceso lento

La congelación rápida implica un descenso de temperatura correspondiente a un gradiente de aproximadamente 30 minutos. Generalmente, con una congelación rápida se obtienen cristales pequeños. La congelación lenta es un proceso que se alcanza cuando la temperatura deseada se consigue después de haber transcurrido un tiempo de aproximadamente 72 horas. Si la temperatura cae lentamente estos cristales coalescen para formar cristales más grandes que, al aumentar de tamaño, causan lesiones en las células del material por ruptura de la membrana o pared celular y estructuras internas. Se puede decir que con una congelación rápida se obtienen cristales pequeños.

El tamaño de los cristales define en medida la apariencia del producto, ya que un preparado con cristales muy pequeños tendrá, una vez seco, una apariencia mucho más clara que un producto con cristales más grandes, el cual fue lentamente congelado. También se debe considerar el hecho de que si los cristales son irregulares pueden dañar la calidad del producto. La figura 5 muestra las etapas que surgen a medida que procede el proceso de congelación.

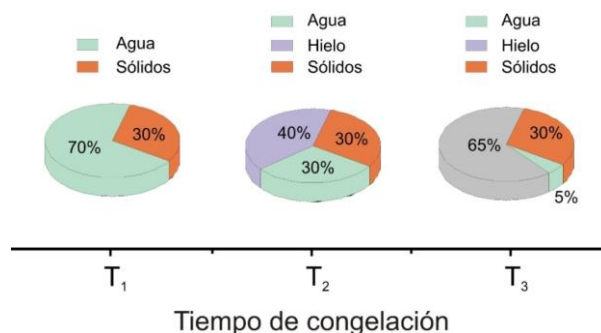


Figura 5.- Secuencia de congelación de la muestra

El secado consiste en eliminar por evaporación el agua a través de la superficie del producto congelado y evacuarla a la atmósfera circundante. La velocidad de este proceso depende de la velocidad y humedad del aire, así como de la naturaleza de la muestra.

Cuando se realiza el secado mediante liofilización se distinguen tres fases o etapas que se ilustran en la figura 6. Cuando comienza el proceso de liofilización y empieza el calentamiento, se observa la formación de un frente de sublimación o interfase entre la capa seca y la capa congelada de la muestra, el cual avanza progresivamente. La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de un gradiente de presión.

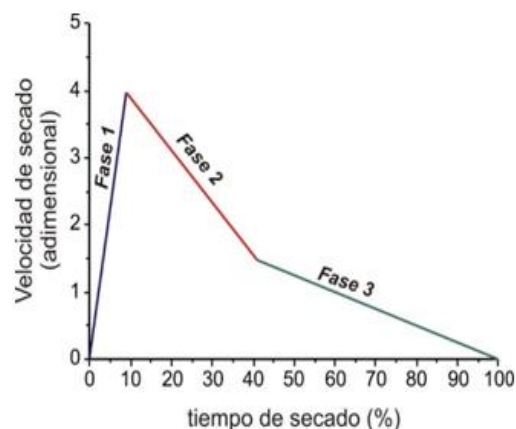


Figura 6.- Secuencia de fases que involucra el proceso de liofilización

En general, el perfil temperatura-tiempo-presión que gobierna el proceso completo de la liofilización está resumido en la figura 7.

En este trabajo se discute el proceso de deshidratación de bananas, champiñones y tomates utilizando el método de liofilización.

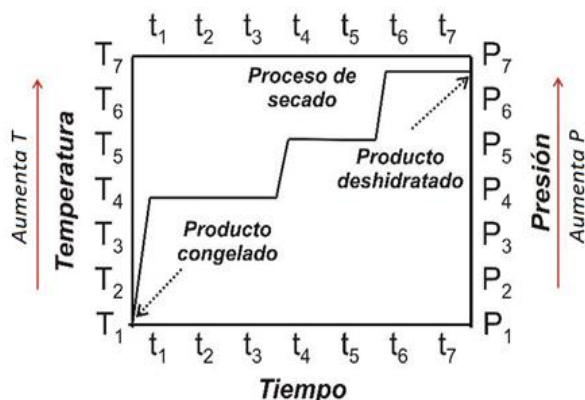


Figura 7.- Ciclo del proceso de liofilización para de la muestra congelada al producto deshidratado.

3- Experimental

Equipos

Los equipos utilizados se muestran en la figura 8



Figura 8.- (a) Congelador doméstico marca Frigidaire, (b) Balanza digital marca Premier ED-1035, (c) Liofilizador industrial Cabela modelo 28-0301

Materiales

Se usaron champiñones provenientes de la champiñonera de Santo Domingo, estado Mérida, los bananos de la región del Vigía, estado Mérida y los tomates se adquirieron en el mercado local de la ciudad de Mérida (de procedencia desconocida).

Champiñones

Son vegetales pertenecientes a las especies del género *Agaricus bisporus* (Basidiomycota, Agaricaceae). Son ricos en minerales como el selenio, magnesio, fósforo, yodo, calcio, zinc y potasio, vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B9, C, D y E, proteína vegetal y fibra. Es por esto que los champiñones tienen acción antioxidante, hepatoprotectora, antianémica, inmunoestimulante, diuréticos. Los champiñones sufren fotooxidación, por lo cual deben ser

manipulados con precaución, aunque las bananas y las naranjas son una fuente importante de potasio, debemos conocer que también los champiñones lo son, pues tienen la misma cantidad de este mineral que dichas frutas.

Bananas

El banano pertenece a la familia Musáceae del orden Escitaminea. Los nombres científicos más comunes propuestos para los plátanos comestibles son: *Musa paradisíaca* L., para el plátano macho y *Musa sapientum* L., para el banano. La banana es una de las frutas más consumidas mundialmente. Si bien en los países productores el consumo por habitante es más alto, se registran numerosos países importadores con niveles de 5 a 12 kgporhab/año.

Tomates

Fruto clasificado como especie *Solanum lycopersicum*, perteneciente al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, Asteridae, Orden Solanales, familia Solanaceae, género Solanum.

4-Metodología

Se siguió el siguiente protocolo para la preparación de la muestra:

- En cada caso, se escogieron los vegetales del mismo grado de madurez, de tamaños similares y de la misma cosecha
- Se lavaron cuidadosamente con agua hervida a temperatura ambiente, ligeramente acidificada con jugo de limón
- Se cortaron en piezas de, aproximadamente, el mismo grosor
- Se colocaron en las parrillas del Liofilizador y se introdujeron al congelador por un promedio de 72 horas
- Se pesaron las muestras inmediatamente antes de comenzar el proceso de secado
- Se pesaron las muestras por intervalos de tiempo durante el secado, teniendo la precaución de hacerlo rápidamente para no tener fusión del producto.
- Se pesaron las muestras al final del proceso de secado

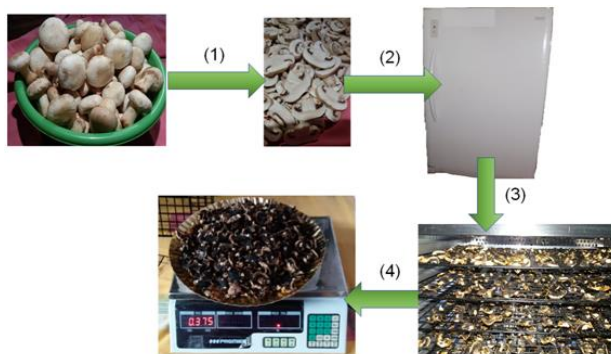
Se utilizó el método de deshidratación de algunos alimentos mediante la secuencia: preparación de la muestra, congelación lenta, en un congelador doméstico y posterior secado al vacío, a temperaturas previamente establecidas por experimentos preliminares, usando un Liofilizador comercial. Las temperaturas utilizadas y el tiempo de secado se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.- Condiciones experimentales para el proceso de secado

	Temperatura (°C)	Tiempo total (min)
Champiñones	60	500
Bananas	65	600
Tomates	70	600

Champiñones

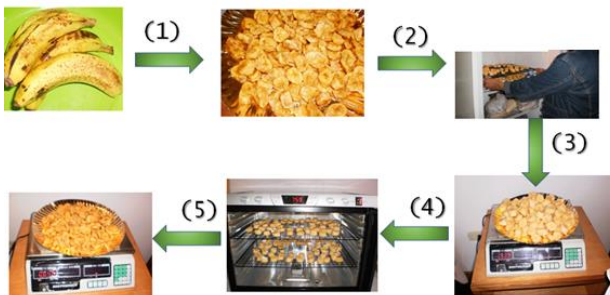
Se procedió a seleccionar champiñones de tamaño y textura similares. El tratamiento de la muestra está ilustrado en el esquema 1



Esquema 1- Secuencia de preparación y procesamiento de los champiñones. Selección, limpieza y corte en rodajas del mismo espesor. (2) colocación de la muestra en el congelador doméstico por 72 horas. (3) colocación de la muestra en el Liofilizador, de acuerdo al programa de temperatura mostrado en la figura 9. (4) extracción de la muestra deshidratada y pesada de la misma.

Bananas

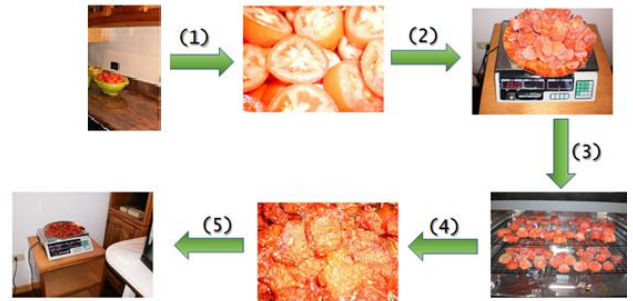
Se procedió a seleccionar bananas de tamaño y textura similares. El tratamiento de la muestra está ilustrado en el esquema 2



Esquema 2- Secuencia de preparación y procesamiento de las bananas (1) Selección, limpieza y corte en rodajas del mismo espesor. (2) colocación de la muestra en el congelador doméstico por 72 horas. (3) Extracción de la muestra y pesada de la misma (4) colocación de la muestra en el Liofilizador durante 10 horas (5) extracción de la muestra deshidratada y pesada de la misma.

Tomates

Se procedió a seleccionar tomates de tamaño y textura similares. El tratamiento de la muestra está ilustrado en el esquema 3



Esquema 3.- Secuencia de preparación y procesamiento de los tomates. (1) Selección, limpieza y corte en rodajas del mismo espesor. (2) colocación de la muestra en el congelador doméstico por 72 horas y posterior pesada (3) colocación de la muestra en el Liofilizador durante 10 horas (4) extracción de la muestra deshidratada. (5) pesada de la muestra

5- Resultados y discusión**Champiñones**

Se realizaron pesadas de los champiñones en intervalos durante proceso de liofilización cada 50 minutos, durante casi 500 minutos. Luego de realizar 5 corridas y se construyó la gráfica mostrada en la figura 9.

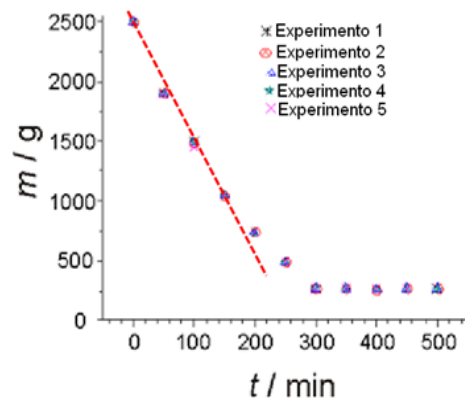


Figura 9.- Variación de la masa de champiñones con el tiempo de liofilización, a 60 °C

Se puede observar que, después de 5 horas (300 min) la masa de la muestra se hace constante, lo que permite concluir que ese sería el tiempo ideal para deshidratar los champiñones.

Para realizar el cálculo cinético, se consideró un comportamiento de primer orden y se evaluó la zona lineal de la

figura 9(línea punteada) para estimar la velocidad de deshidratación (v)

$$|v| = \left| \frac{dm}{dt} \right| \quad (1)$$

Donde m es la masa observada y t el tiempo transcurrido durante el proceso de liofilización.

Los experimentos mostraron que la temperatura promedio de temperatura fue de 60°C y se repitió el experimento a esa temperatura. De la figura 9, se calculó la pendiente de la zona lineal, para así obtener la información cinética de la deshidratación de los champiñones:

$$|v| = \frac{1.450 \text{ g}}{150 \text{ min}} = 9,67 \frac{\text{g}}{\text{min}}$$

Para calcular el porcentaje de agua contenida, se calcula en porcentaje del material obtenido después del proceso de deshidratación, tomando los valores de masa inicial de la muestra congelada (m_i) y la masa obtenida después del proceso de deshidratación (m_f) y, mediante la ecuación 2 se obtiene el valor expresado en la ecuación 2:

$$\% \text{ material obtenido} = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

Por diferencia, se calcula el porcentaje de agua contenido en la muestra, mediante la ecuación 3:

$$\% H_2O = 100 - \% \text{ de material obtenido} \quad (3)$$

En las condiciones antes indicadas, Se ha llevado a cabo la liofilización de 4 kg de champiñones, obteniéndose los siguientes resultados:

Masa inicial: 4000 g

Masa final: 375 g

El porcentaje de muestra recuperado después del proceso de liofilización se calculó utilizando la ecuación 2:

$$\% \text{ muestra} = \frac{375 \text{ g}}{4000 \text{ g}} \times 100 = 9,38\%$$

Lo que indica que el porcentaje de agua contenido en los champiñones, usando la ecuación 3, fue del 90,62%. Esto justifica el altísimo precio de los champiñones deshidratados que ofrece el mercado.

Para estimar el consumo energético, es preciso conocer el consumo del equipo utilizado cuando se opera a plena capacidad CE_{max} . La capacidad máxima permitida para el deshidratador Cabela modelo 28-0301 es de 6 Kg. De acuerdo con las especificaciones del equipo, el consumo de este a plena capacidad es $CE_{max} = 12,8 \text{ KWh}$.

En este trabajo se propone normalizar el consumo energético por hora (CE_h) de la masa inicial del material, respecto a la masa que permite la capacidad máxima del equipo (m_{max}):

(1)

$$CE_h = \frac{m_i}{m_{max}} CE_{max} \quad (4)$$

Como se procesaron 4 Kg de champiñones congelados, el estimado de la energía consumida en una hora de secado, se puede expresar como:

$$CE_h = \frac{4 \text{ Kg}}{6 \text{ Kg}} \times 12,8 \text{ KWh} = 8,53 \text{ KWh}$$

Una vez conocido el tiempo (t) al cual se hace constante la masa del producto, se puede calcular el consumo total de energía (CE):

$$CE = CE_h \times t \quad (5)$$

Para un proceso de 5 horas, para el secado de 4 Kg de champiñones sería:

$$CE = 8,53 \text{ KW} \times 5 \text{ h} = 42,65 \text{ KWh}$$

Para estimar el costo por consumo de energía (CE), se debe considerar cuánto cuesta 1 kilovatio hora en el lugar y el momento de realizar el proceso. Si el valor de KWh es X , El costo en electricidad (CE) en este caso sería:

$$\text{CostoCE} = CE \text{ KWh} \frac{X}{\text{KWh}} \quad (6)$$

En el caso de los champiñones:

$$\text{CostoCE} = 42,65 \text{ KWh} \frac{X}{\text{KWh}} = 42,65 X$$

Bananas

Se realizaron pesadas de las bananas durante el proceso de liofilización a 65 °C cada 60 minutos, y se construyó la gráfica mostrada en la figura 10. Se puede observar que, después de 8 horas la masa de la muestra se hace constante, lo que permite concluir que ese sería el tiempo ideal para deshidratar las bananas.

La información obtenida de la figura 10 nos permitió repetir el experimento a 65°C.

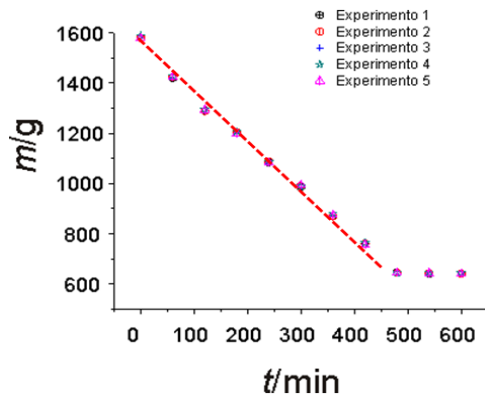


Figura 10.- Variación de la masa de bananas con el tiempo de liofilización, a 65°C

De acuerdo a la pendiente de la zona lineal de la figura 10, usando la ecuación 1, se calculó la velocidad de deshidratación de las bananas:

$$|v| = \frac{200 \text{ g}}{125 \text{ min}} = 1,60 \frac{\text{g}}{\text{min}}$$

La información obtenida permitió estimar una temperatura promedio de 65 °C y se repitió el experimento a esa temperatura cada vez.

En las condiciones antes indicadas, Se ha llevado a cabo la liofilización de 1,535 kg de bananas, obteniéndose los siguientes resultados:

Masa inicial, 1.535g

Masa final, 640 g

El porcentaje de muestra recuperado después del proceso de liofilización se calculó usando la ecuación 2:

$$\% \text{ material obtenido} = \frac{640 \text{ g}}{1.535 \text{ g}} \times 100 = 41,69\%$$

Lo que indica que el porcentaje de agua contenido en las bananas fue del 58,31 %.

De acuerdo con las especificaciones del equipo, el consumo de este a plena capacidad es de 12,8 KWh.

Como se procesaron 1,535Kg, la energía consumida fue de:

$$CEh = \frac{1,535 \text{ Kg}}{6 \text{ Kg}} \times 12,8 \text{ KWh} = 3,27 \text{ KWh}$$

En 8 horas, el consumo sería:

$$CE = 3,27 \text{ KW} \times 8 \text{ h} = 26,16 \text{ KWh}$$

El costo por consumo de energía (CE) sería:

$$\text{CostoCE} = 26,16 \text{ KWh} \frac{X}{\text{KWh}} = 26,16 X$$

Tomates

Se realizaron pesadas de los tomates durante el proceso de liofilización cada 60 minutos, y se construyó la gráfica mostrada en la figura 11.

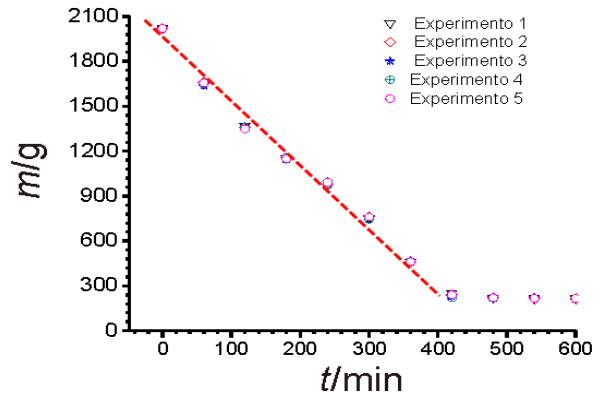


Figura 11.- Variación de la masa de tomate con el tiempo de liofilización, a 70°C

Se puede observar que, después de 8 horas, la masa de la muestra se hace constante, lo que permite concluir que ese sería el tiempo ideal para deshidratar los tomates.

La información obtenida permitió estimar una temperatura intermedia de 70°C y se repitió el experimento a esa temperatura cada vez. De la figura 11, se calculó la pendiente de la zona lineal, para así obtener la información cinética de la deshidratación de los tomates:

$$|v| = \frac{1805 \text{ g}}{300 \text{ min}} = 6,01 \frac{\text{g}}{\text{min}}$$

En este caso, se partió de 2.020 g de tomates congelados y se recogieron 215 g de la muestra deshidratada. El porcentaje de muestra recuperado después del proceso de liofilización se calculó como:

$$\% \text{ material obtenido} = \frac{215 \text{ g}}{2.020 \text{ g}} \times 100 = 10,64\%$$

Lo que indica que el porcentaje de agua contenido en los tomates fue del 89,36 %. El requerimiento energético para deshidratar esa cantidad de tomate es:

$$CEh = \frac{2,020 \text{ Kg}}{6 \text{ Kg}} \times 12,8 \text{ KW} = 4,31 \text{ KW}$$

En 8 horas, el consumo sería:

$$CE = 4,31 \text{ KW} \times 8 \text{ h} = 34,80 \text{ KWh}$$

El consumo de energía (CE), se debe considerar cuánto cuesta 1 kilovatio hora en el lugar y el momento de realizar

el proceso. Si el valor de KWh es X, El costo en electricidad (CE) en este caso sería:

$$\text{CostoCE} = 34,80 \text{ KWh} \frac{X}{\text{KWh}} = 34,80 X$$

6- Conclusiones

El método de liofilización ofrece una vía limpia de obtener productos de alta calidad, manteniendo las propiedades originales de los vegetales estudiados.

Se pudieron determinar los parámetros de temperatura y tiempo para realizar las deshidrataciones por el método de liofilización (tabla 1). Se permitió determinar el contenido de agua, la velocidad de deshidratación y el consumo energético del proceso. La tabla 2 resume los resultados obtenidos.

Tabla 2.- Parámetros evaluados para la deshidratación por liofilización de algunos alimentos

	Velocidad de deshidratación (g/min)	Material obtenido (%)	CEh (KW)	CE (KWh)	Costo CE* (moneda local)
Champiñones	9,67	9,38	8,53	42,65	42,65 X
Bananas	1,60	41,69	3,27	26,16	26,16 X
Tomates	6,01	10,64	4,31	34,80	34,80 X

- X = precio de 1 KWh en moneda local

Esos valores significan una guía para el procesamiento de las muestras, ya que, aunque sean de la misma especie, los valores serán característicos en cada caso. También se pudo estimar el consumo energético del proceso de secado, lo cual es un parámetro importante para el cálculo de costos, en caso de comercialización de los productos.

Agradecimientos: Los autores agradecen al CDCHTA – ULA (proyectos NUAA-06-17-08-B, NUAA-05-17-08-B) por su apoyo a este trabajo. A los profesores Olga Márquez y Jairo Márquez, de la Facultad de Ciencias de la ULA por facilitar todos los equipos y la mayoría de los insumos y servicios (en forma gratuita) para hacer posible la realización de este proyecto.

Referencias

Argyropoulos D, Tahir KM; Muller J, 2011, Effect of air temperature and pretreatment on color changes and texture of dried *Boletus edulis* mushroom. *Drying Technology*, 29: 1890-1900.

Badui S; 2006 *Química de los Alimentos*, 4a. ed. Edit. Pearson. México. p.387

Barbosa G; Vega H, 2000, *Deshidratación de Alimentos*.

Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España, pp. 297

Barrett D; Somogyi L; Ramaswamy H, 2005, *Processing Fruits. Science and Technology*. 2ª ed. USA. pp. 661 – 678.

Cárcel J, García J, Riera E, Rosselló C, Mulet A, 2017, Ultrasonically assisted drying, en: *Ultrasound in Food Processing*. Ed. John Wiley & Sons Ltd. U.K, 371-391.

Cortés M, Herrera, E; Rodríguez E, 2015, Experimental optimization of the freeze dry process of Cape gooseberry added with active compounds by vacuum impregnation, *Revista de la facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias.*, 22: 47-56.

Georg-Wilhelm P, 2004, *Freeze-Drying. Second, Completely Revised and Extended Edition*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim – Germany pp 395

Márquez K, Alarcón D, Montilla M, Salcedo J, Weinhold E, 2018, Aspectos teóricos del proceso de liofilización de alimentos, *Revista de Ingeniería y Tecnología Educativa*, 1(2) 42-52

Mculloc J; Sunderland J, 1970, Integral techniques applied to sublimation drying with radiation boundary condition. *Journal of Food Science* 35: 834-838.

Nail S; Gatlin L, 1993, Freeze drying: principles and practice, in *Pharmazeutical dossage forms*, K. Avis, etal. Editores, U.K., pp. 163-234

Orrego C, González M Giraldo G, 2005, Calorimetric study and adsorption isotherms of freeze-dried tomato tree juice. En 2º Congreso de Ingeniería Química del Mercosur, Rio de Janeiro. ENPROMER, Brasil.

Pikal M, 1990, The secondary drying stage of freeze-drying: drying kinetics as a function of temperature and chamber pressure. *International Journal of Pharmaceutical*, 60 (b) 203-217

Pino P, Villamar S, Basantes E, Zambrano T, 2018, Evaluación del proceso de liofilización en banana (musaxparadisiaca) como tecnología de transformación alimentaria. *Observatorio Economía Latinoamericana*. España. ISSN: 1696-8352

Ratti C, 2013, *Freeze drying for food powder production*. Ed. Woodhead publishing. Cambridge. U.K. pp 57-84

Rothmayr W, 1974, Basic knowledge of freeze drying. Heat and mass transfer, in *Freeze drying and advanced food technology*, S. A. W. W. Rothmayr, Louis Rey, Samuel Abraham Goldblith Editors: London, U-K-, p. 203-222

Telis V, 2002, Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. *Food Research International* 35:435-443.

Zhai S, Su H, Taylor R; Slater N, 2005, Pure ice sublimation within vials in a laboratory Lyophilize: comparison of theory with experiment. *Chemical Engineering Science* 60:1167-1176.

Recibido: 12 de febrero de 2020

Aceptado: 30 de junio de 2020

Keyla Márquez: Msc. En Electroquímica Fundamental y Aplicada Universidad de los Andes (ULA -Venezuela), Ing. Industrial (IUP Santiago Mariño), miembro del personal docente y de investigación Facultad de Ingeniería. Núcleo Universitario Alberto Adriani (NUAA) Universidad de Los Andes (ULA)- Venezuela.

Domingo Alarcón: Dr en Ciencias de la Educación (Universidad Fermín Toro, Venezuela), Msc. En Electroquímica Fundamental y Aplicada (ULA-Venezuela), Lic. En Química (ULA-Venezuela), miembro del personal docente y de investigación Facultad de Ingeniería. NUAA –ULA. Correo electrónico: domingoa@ula.ve

Milagro Montilla: Dra en Ciencias de la Educación (Universidad Fermín Toro, Venezuela), Msc. En Electroquímica Fundamental y Aplicada (ULA-Venezuela), Lic. En Química (ULA-Venezuela), miembro del personal docente y de investigación Facultad de Ingeniería. NUAA- ULA. Correo electrónico: milagroy@gmail.com

Jaimel Salcedo: Msc en Enseñanza de la Química (Universidad del Zulia Venezuela) Licenciado en Educación Mención Química. Universidad del Zulia, miembro del personal docente y de investigación Facultad de Ingeniería. NUAA- ULA Correo electrónico: Jaimelsalcedo@gmail.com

Quilianio L. Contreras Rubio, Doctor en Química Aplicada (ULA), Profesor Titular de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Adscrito al PFC Ingeniería de Alimentos, Santa Bárbara de Zulia, Estado Zulia, Venezuela. Correo electrónico: quilianio@gmail.com

