

## COMPORTAMIENTO DEL AGUACATE HASS LIOFILIZADO DURANTE LA OPERACIÓN DE REHIDRATACIÓN

### THE BEHAVIOR OF FREEZE-DRIED HASS AVOCADO DURING THE REHYDRATION PROCESS

E. Arriola-Guevara\*, T. García-Herrera, G. M. Guatemala-Morales, J. Nungaray-Arellano, O. González-Reynoso y J.C. Ruíz-Gómez

*Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara.  
Av. De las Américas 915-10. Col. Providencia. Guadalajara, Jal. C.P. 44620 México.*

Recibido 1 de Julio 2005; Aceptado 4 de Diciembre 2005

#### Resumen

La deshidratación del aguacate es la mejor opción para resolver los problemas de vida de anaquel y transporte. La liofilización es, sin duda, la mejor opción para secar este sensible y delicado alimento, permitiendo que el aguacate conserve sus características sensoriales y nutricionales. En este trabajo se presenta el comportamiento del aguacate al re-hidratarlo, haciendo pruebas de capacidad y cinética de rehidratación. Se experimentaron dos temperaturas de inmersión, 25 y 45°C, observándose que a mayor temperatura la estructura del aguacate puede dañarse, no existiendo una tendencia muy definida cuando los tiempos de congelación son muy largos. Con respecto a la temperatura de liofilización, el aguacate tiende a re-hidratarse más cuando ha sido liofilizado a menores temperaturas de la placa. El coeficiente de rehidratación alcanza -y rebasa- el valor de la unidad, lo que indica que por este procedimiento el aguacate alcanza una rehidratación completa. Los resultados muestran que a 25 °C del medio de inmersión y tiempos largos de congelamiento, la rehidratación es más rápida y completa; mientras que a 45 °C, no existe una tendencia muy definida. A tiempos de congelación largos -mayores a 10 hrs- la estructura se debilita, ocasionando que durante la rehidratación el producto se desintegre.

*Palabras clave:* liofilización, rehidratación, aguacate hass, temperatura de inmersión, cinéticas de rehidratación.

#### Abstract

Dehydrating the avocado is the best option to solve its shelf-life and transportation problems. Freeze-drying is then without doubt, the best option to dry such sensitive and delicate food, allowing the avocado to preserve all its sensorial and nutritional characteristics. This project studies the behavior of freeze-dried avocado when re-hydrated, performing capacity and kinetics tests of re-hydration. Two immersion bath temperatures were used, 25°C and 45°C. Observations showed that at higher immersion bath temperatures the structure of the avocado may be damaged, and there was no clear tendency shown with longer freezing times. Regarding the freeze-dry temperature the avocado tends to re-hydrate better at lower freezing temperatures. The re-hydration coefficient reaches and exceeds the unit value, which would imply that through this process the avocado reaches a complete re-hydration. The results show that at an immersion bath temperature of 25°C and longer freezing times the re-hydration is faster and more complete; whereas at an immersion bath temperature of 45°C, no clear tendency exists. At freezing periods longer than 10 hours, the structure of the avocado becomes weak, causing the product to disintegrate during re-hydration.

*Keywords:* freeze-drying, re-hydration, hass avocado, immersion bath temperature, re-hydration kinetics.

#### 1. Introducción

La deshidratación del aguacate es la mejor opción para resolver los problemas de vida de anaquel y transporte. Sin embargo, los métodos convencionales de secado son inadecuados para este fruto debido a la enorme degradación que le causan, ya que los productos deshidratados con aire caliente tienden a experimentar encogimiento y colapso del tejido, características que retardan la rehidratación y

cambian el aspecto agradable del producto (Oliveira, 1999). En el caso de la liofilización, se ha encontrado que la calidad del producto final es mejor que la obtenida en los procesos clásicos (Derosier, 1980). Existen algunos estudios sobre aguacate liofilizado en forma de puré o guacamole (Gómez, 1970; Vergara-Balderas y col., 2005); sin embargo, estos trabajos no tratan el problema de la rehidratación del aguacate liofilizado, la información esta restringida, no se consideran los aspectos fisicoquímicos ni se

\*Autor para la correspondencia: E-mail: arriole@hotmail.com  
Tel. (33) 38-17-37-24. Fax. (33) 36-19-40-28

tocan los aspectos bioquímicos importantes relacionados con la estabilidad y calidad final del producto. Asimismo, recientemente se publicó un trabajo sobre la estabilidad del guacamole liofilizado durante su almacenamiento (Mujica-Paz y col., 2005).

Para hacer uso del aguacate liofilizado es necesario proceder a su reconstitución. La rapidez y facilidad con que pueda desarrollarse esta operación marca la calidad del producto liofilizado (Bello, 2000). Al igual que para el secado, la eficiencia de la rehidratación depende, en gran parte, del tipo de producto y sus características (tamaño, geometría, composición del alimento, contenido de humedad, porosidad), así como de factores relativos al medio de inmersión: temperatura, agitación y composición.

En este trabajo se presenta el comportamiento de la rehidratación del aguacate después de haber sido secado mediante liofilización. En esta operación es importante estudiar dos aspectos: la velocidad de rehidratación y la capacidad de rehidratación (Oliveira, 1999). La velocidad de rehidratación usualmente disminuye con el tiempo de inmersión y su valor inicial es muy importante para caracterizar los productos que son sujetos a periodos cortos de inmersión. La capacidad de rehidratación se refiere a la cantidad máxima de agua que el producto es capaz de tomar en la inmersión. Es deseable que ambos aspectos tengan valores elevados.

## 2. Metodología

Selección de la madurez adecuada para obtener un buen producto: los niveles de la madurez fueron escogidos de acuerdo a la resistencia a la perforación del 50% que presentaron rebanadas de 0.45 cm de espesor. Los niveles se muestran en la Tabla 1.

Una vez seleccionada la madurez adecuada, el resto de las pruebas se hicieron con paralelepípedos de 0.45cm de arista. La congelación previa se hizo a -40°C en un congelador marca Scientemp, probando 4 valores de tiempo de congelación, 6, 9, 12 y 15 hrs. El objetivo de esta etapa es encontrar el tiempo de congelación en el cual el aguacate liofilizado tiene el mejor sabor, menor daño estructural y un secado rápido.

La liofilización se llevó a cabo en un liofilizador piloto, modelo ULP-CI-06; en este equipo el sistema de condensación y el sistema de

calentamiento se encuentran separados en cámaras independientes que se conectan mediante una válvula mariposa posterior.

El sistema de calentamiento esta compuesto por una serie de cuatro placas de aluminio, colocadas horizontalmente en forma paralela y con resistencias eléctricas embebidas en su interior para su calentamiento. En la cámara inferior se encuentra el condensador (trampa de vapores sublimados) que consiste en un grupo de cuatro placas construidas de aluminio colocadas verticalmente.

Posteriormente a la liofilización, se realizaron las respectivas cinéticas de rehidratación. Usualmente las cinéticas de rehidratación se reportan en humedad base seca (kg de agua ganada/kg de sólido seco) en función del tiempo. Otra forma de reportar las cinéticas de rehidratación -que aporta más información- es definiendo el coeficiente de rehidratación (kg de agua ganada/ kg de agua removida); en este trabajo se utilizó esta última variable.

Para determinar la capacidad de rehidratación se tomó un gramo de aguacate liofilizado, se colocó dentro de un filtro de acero inoxidable (de peso conocido) y se determinó el peso a tiempo cero. El filtro se introdujo en un recipiente con 200 ml de agua destilada, sin agitación por 5 minutos, a 25°C; el agua fue drenada, el filtro fue secado, sin abrirlo, y posteriormente pesado. El agua ganada se calculó por diferencia de pesos.

Para las cinéticas de rehidratación, el proceso se repitió durante los primeros 5 minutos y después cada múltiplo de 20 minutos de tiempo acumulado. Las cinéticas de rehidratación se llevaron a cabo a 25 y 45 °C.

## 3. Resultados

### 3.1 Efecto de la madurez

Los niveles de madurez A (verde) y D (maduro), no son convenientes para el secado por liofilización ya que el producto no es agradable a la vista. Por otra parte, los niveles B y C proporcionan producto poroso y atractivo, de un sabor muy concentrado pero agradable. Para decidir cual madurez es más conveniente, realizamos pruebas de capacidad de rehidratación. En la Fig. 1, se pueden apreciar los resultados de está prueba.

Tabla 1. Niveles de madurez del aguacate

Nivel	Nombre	Fuerza MEDIA de penetración (gramos fuerza)	Dureza al tacto	Color de la cáscara
Madurez "A"	Verde	> 40	Dureza extrema	Verde-negro
Madurez "B"	Sazón Firme	25 – 40	Firme duro	Negro
Madurez "C"	Sazón suave	10 – 25	Firme suave	Negro
Madurez "D"	Maduro	< 10	Blando	Negro-púrpura

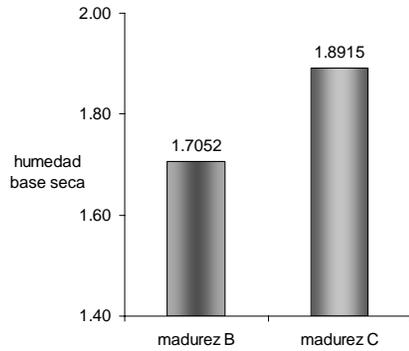


Fig. 1. Promedios de la capacidad de rehidratación para diferentes estados de madurez.

La madurez del fruto afecta significativamente a la capacidad de rehidratación del producto liofilizado. Se encontró que a una madurez mayor, el producto tiende a ser más higroscópico; esto se debe a que las frutas, al madurar, sufren el reblandecimiento de su pulpa, factor que las hace más sensibles a la congelación, que provoca mayores daños estructurales y poros más grandes. Los poros grandes presentan menos resistencia a la adsorción de agua que los poros pequeños, permitiendo una rehidratación más rápida y completa.

### 3.2 Efecto del tiempo de congelación

El efecto del tiempo de congelación en la cinética de rehidratación para las dos temperaturas de inmersión, se reporta en las Figs. 2 y 3. Para la temperatura de 25°C del medio de inmersión (Fig. 2), es posible apreciar que para tiempos de congelamiento largos, la rehidratación es un poco más rápida y completa, mientras que para la temperatura de 45°C (Fig. 3), no existe una tendencia muy definida y todos los datos experimentales caen en la misma zona.

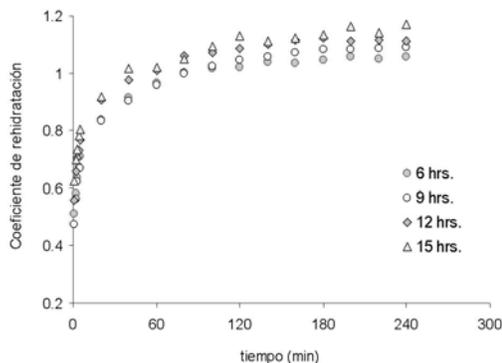


Fig. 2. Efecto del tiempo de congelación sobre la cinética de rehidratación, con medio de inmersión a 25°C.

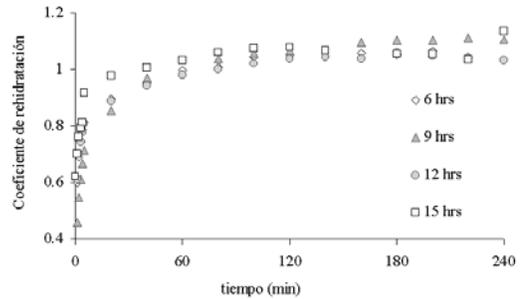


Fig. 3. Efecto del tiempo de congelación sobre la cinética de rehidratación, con medio de inmersión a 45°C.

El efecto de la temperatura del medio de inmersión se muestra en las Figs. 4 a 7. De estas gráficas se puede concluir que a tiempos de congelamiento menores a 10 horas, las cinéticas de rehidratación son muy similares e independientes de la temperatura del medio, mientras que para tiempos de congelación mayores, si se observa una diferencia importante. Esto se debe a que cuando el producto es congelado por mucho tiempo, los poros son grandes, lo que causa que se debilite la estructura (Ruiz-Gómez et al, 2004b). Asimismo, cuando la estructura del aguacate liofilizado es débil, se presenta desprendimiento de pequeñas porciones debido al exceso de agua presente durante la rehidratación.

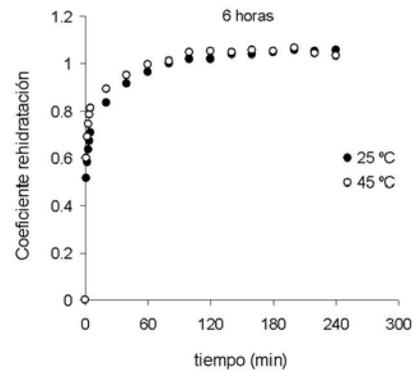


Fig. 4. Efecto de la temperatura del medio de inmersión sobre la cinética de rehidratación para un tiempo de congelación de 6h.

Aparentemente esta es la razón por la que el coeficiente de rehidratación del aguacate congelado a 15 horas -y rehidratado a 45°C- tiende a disminuir después de cierto tiempo. El desmoronamiento del fruto seco durante la rehidratación, se presentó al poco tiempo después de poner el fruto en contacto con el agua y, fue más evidente, cuando la temperatura del medio fue mayor y cuando se usaron muestras con mayores tiempos de congelación. Por esta razón, al aguacate se le dejó rehidratar sin agitación.

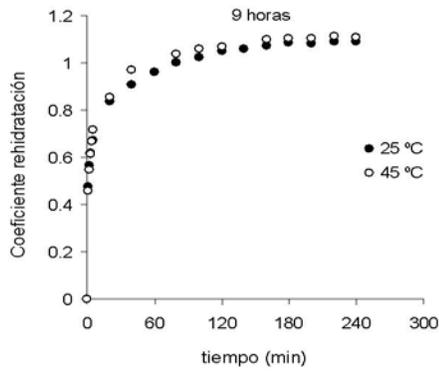


Fig. 5. Efecto de la temperatura del medio de inmersión sobre la cinética de rehidratación para un tiempo de congelación de 9h.

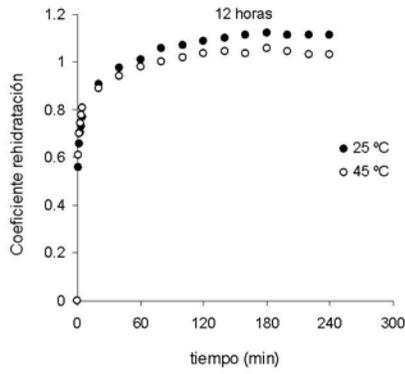


Fig. 6. Efecto de la temperatura del medio de inmersión sobre la cinética de rehidratación para un tiempo de congelación de 12h.

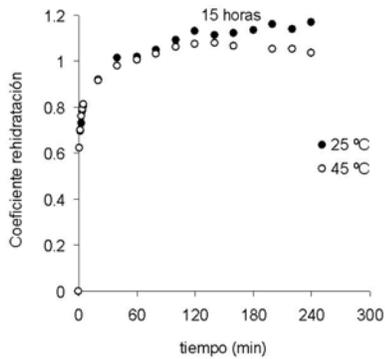


Fig. 7. Efecto de la temperatura del medio de inmersión sobre la cinética de rehidratación para un tiempo de congelación de 15h.

### 3.3 Efecto de la temperatura de la placa de calentamiento.

El efecto de la temperatura de placa sobre la cinética de rehidratación, para las dos temperaturas del medio de inmersión, se reporta en las Figs. 8 y 9, pudiéndose apreciar que el aguacate tiende a rehidratarse más, cuando ha sido liofilizado a

menores temperaturas de la placa. Este comportamiento también fue reportado por Conde (2003) en chile poblano liofilizado. Existe la creencia, no comprobada totalmente, que a menores temperaturas de liofilizado, se ocasionan menores daños en el fruto.

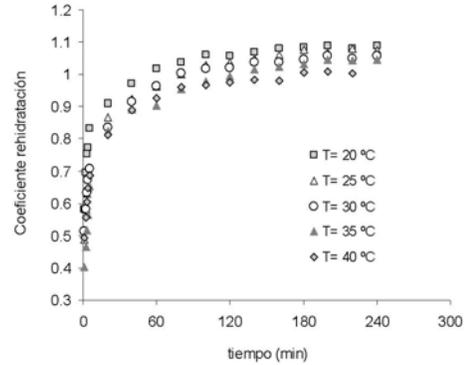


Fig. 8. Efecto de la temperatura de la placa de calentamiento sobre la cinética de rehidratación, para un medio de inmersión a 25 °C.

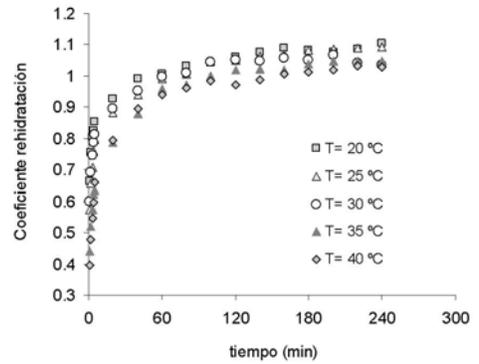


Fig. 9. Efecto de la temperatura de la placa de calentamiento sobre la cinética de rehidratación, para un medio de inmersión a 45 °C.

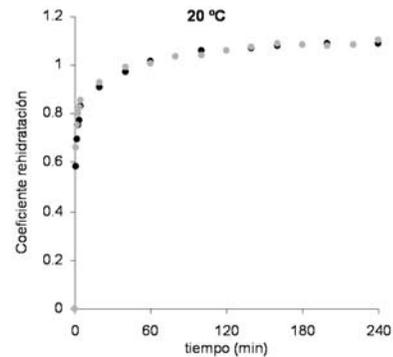


Fig. 10. Efecto de la temperatura del medio de inmersión (● 25 °C ● 45 °C ) sobre la cinética de rehidratación al liofilizar a la temperatura de placa de 20°C.

El efecto de la temperatura del medio de inmersión sobre la cinética de rehidratación para diferentes temperaturas de placa de liofilización, se muestra en las Figs. 10 a 14. En estas gráficas es posible observar, de manera precisa, que la velocidad y la capacidad de rehidratación son independientes de la temperatura del medio de inmersión.

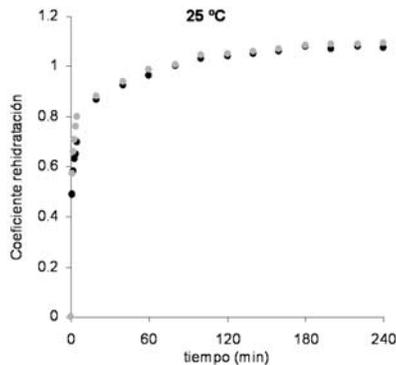


Fig. 11. Efecto de la temperatura del medio de inmersión (● 25 °C ● 45 °C ) sobre la cinética de rehidratación al liofilizar a la temperatura de placa de 25°C.

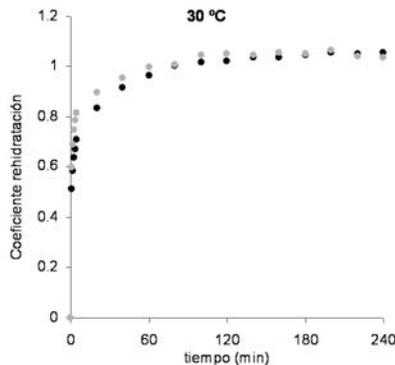


Fig. 12. Efecto de la temperatura del medio de inmersión (● 25 °C ● 45 °C ) sobre la cinética de rehidratación al liofilizar a la temperatura de placa de 30°C.

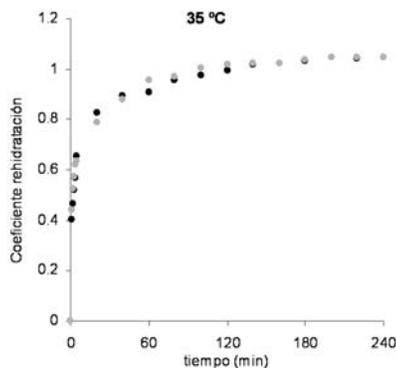


Fig. 13. Efecto de la temperatura del medio de inmersión (● 25 °C ● 45 °C ) sobre la cinética de rehidratación al liofilizar a la temperatura de placa de 35°C.

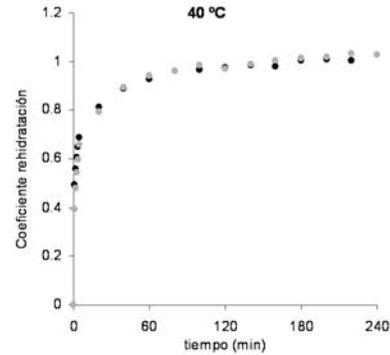


Fig. 14. Efecto de la temperatura del medio de inmersión (● 25 °C ● 45 °C ) sobre la cinética de rehidratación al liofilizar a la temperatura de placa de 40°C.

### Conclusiones

- La madurez del fruto afecta significativamente a la capacidad de rehidratación del producto liofilizado. Se encontró que a una madurez mayor, el producto tiende a ser más higroscópico.
- Para tiempos de congelamiento cortos (menores a diez horas) la velocidad y capacidad de rehidratación son independientes de la temperatura del medio de inmersión. Sin embargo, para tiempos de congelación superiores se observa una diferencia importante debido a que, los poros son grandes, lo que causa que se debilite la estructura y el desprendimiento de pequeñas porciones debido al exceso de agua presente.
- La velocidad y la capacidad de rehidratación son independientes de las temperaturas del medio de inmersión. Se encontró una ligera tendencia a que la velocidad de rehidratación aumente al disminuir la temperatura de la placa de calentamiento del liofilizador.
- El coeficiente de rehidratación alcanza y rebasa el valor de la unidad, por lo que se puede afirmar que -por este procedimiento- el aguacate alcanza una rehidratación completa.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, el mejor producto se obtiene en un medio de inmersión de 25°C, con un tiempo de congelación menor a 10 h.

### Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), beca número 163436, a la Universidad de Guadalajara (UdeG) y al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

## Referencias

- Bello G. J. (2000). Ciencia Bromatológica, Principios generales de los alimentos, 1ª edición, 177-203, 249-257, 441-447. Diaz de Santos S.A., España.
- Conde H., L. A. Tesis de Maestría, (2003), Comportamiento de la cinética de liofilización y rehidratación del chile poblano (*Capsicum annum* L.Var. *grossum* Sendt Solanáceas) e impacto del proceso en la calidad sensorial del producto, Universidad de Guadalajara, México.
- Derosier, N. (1980). *Conservación de Alimentos*. Ed. Ceca, Décima impresión, New York.
- Gomez, R.F. y Bates, R.P. 1970. Storage deterioration of freeze-dried avocado purée and guacamole. *J Food Sci*, 35(4) González, R. 1989. Insectos y ácaros de importancia agrícola y cuarentenaria en Chile. Santiago. Universidad de Chile-Basf. 310 p.
- Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, F., Vergara-Balderas, F., Rangel-Marron, M. y Welti-Chanes, J. (2005). "Freeze drying of guacamole", 99C-14. Institute of Food Technologist, IFT annual Meeting, July 15-20. New Orleans, Louisiana.
- Oliveira, J. (1999). *Processing Foods: Quality Optimization and Process Assessment*, Ed. CRC Press Boca Raton.
- Ruiz-Gómez, J.C. (2004a), Tesis de Maestría. "Comportamiento De Las Cinéticas De Liofilización De Aguacate Hass Y Su Impacto En La Estabilidad Y Calidad Sensorial Del Producto". Universidad de Guadalajara, México.
- Ruiz-Gómez, J. C., González-Reynoso, O., Nungaray-Arellano, J., Gómez-Hernández, H., y Arriola-Guevara, E., (2004b). "Effects Of Freeze Drying Kinetics On Stability And Product Quality Of Hass Avocado", *Biotechnology* 2004, 17-22 de October. Santiago, Chile.
- Vergara-Balderas, F., Rangel-Marron, M., Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso y Welti-Chanes, J. (2005). "Freeze drying of guacamole", 99C-13. Institute of Food Technologist, IFT annual Meeting, July 15-20. New Orleans, Louisiana.