



Agroindustrial Science

Agroind Sci 3 (2013)

Escuela de Ingeniería
Agroindustrial

Universidad Nacional de Trujillo

Efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) liofilizada

*Effect of freezing time in the rehydration capacity of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) lyophilized*

Polito Michael Huayama Sopla, Idelso Tirado Uriarte

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Ciudad Universitaria, El Franco-Barrios de Higos Urco, Chachapoyas, Perú.

Recibido 2 de mayo 2013; Aceptado 20 de junio 2013

RESUMEN

En la investigación se determinó el efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) liofilizada, se congeló las muestras a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, y se ensayaron cuatro tiempos; 6, 9, 12 y 15 horas. La liofilización se realizó a temperatura de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, en condiciones de vacío a una presión de 4.6 Torr, por 8 horas. La capacidad de rehidratación se estimó mediante la inmersión de las muestras en agua destilada hasta 180 minutos, la relación peso de muestra: agua destilada fue de 1:15. Los resultados se procesaron con SPSS 15.0, evidenciando al final del proceso diferencias significativas en la capacidad de rehidratación y características organolépticas de los tratamientos, el mejor tiempo de congelación es de 9 horas, con una capacidad de rehidratación de 2.832 (kg agua / kg m.s), equivalente al 65.57 % en relación a su humedad inicial de 4.319 (kg agua / kg m.s), y con resultados satisfactorios en la evaluación sensorial (color, sabor y textura).

Palabras Clave: pitahaya amarilla, liofilización y capacidad de rehidratación.

Abstract

The investigation determined the effect of freezing time in the rehydration capacity of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) lyophilized sample was frozen at $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, and tested four-stroke, 6, 9, 12 and 15 hours, lyophilization was performed at $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, under vacuum conditions at a pressure of 4.6 Torr, for 8 hours. Rehydration capacity was estimated by immersing the samples in distilled water up to 180 minutes, the weight of sample: distilled water was 1:15. The results were processed with SPSS 15.0, showing the end of the significant difference in the rehydration capacity and organoleptic characteristics of the treatment, the better the freezing time is 9 hours, with a capacity of 2.832 rehydration (kg water / kg m.s), equivalent to 65.57% compared to its initial moisture 4.319 (kg water / kg m.s), and with satisfactory results in the sensory evaluation (color, flavor and texture).

Keywords: yellow pitahaya, lyophilization and rehydration capacity.

*Autor para correspondencia.

Email: polito_michael@terra.com (P. Huayama).

1. Introducción

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) fruto exótico apetecida por sus propiedades nutritivas y funcionales, agradable sabor, exuberante color rojo o amarillo intenso, de forma ovoide con pupos en su contorno (Ayala *et al.*, 2010). Es un cactus perenne y epifito nativo del trópico suramericano crece sobre árboles, troncos secos, piedras y muros. Colombia e Israel son los mayores productores de pitahaya amarilla en el mundo, el cual es exportado en fresco a la Unión Europea, Asia y otros mercados (Aponte *et al.*, 2009).

Perú logró el ingreso de pitahaya al mercado de Alemania con una exportación de 380,26 Kg. Esta exportación va en aumento, por la apertura de nuevos mercados en España, Francia, y algunos países del medio oriente; se produce en Lima que concentra la mayor producción y en menor escala Ancash y Amazonas. (INIA, 2009), A nivel de la región de Amazonas se produce en la provincia de Bongará, en donde se cultiva aproximadamente 13 has con una producción de 6 a 8 Tn/ha. (DIAA, 2012).

Esta fruta presenta un alto contenido de agua y carbohidratos, cuenta con propiedades medicinales importantes, su valor energético es elevado (superior al de la zanahoria y la lechuga), la vitamina A es reducida, las vitaminas B1, B2 y C están casi ausentes, tienen baja cantidad de potasio, la presencia de fósforo es casi nula y su contenido de hierro es más elevado que en la mayoría de las verduras (Monsalve y Sandra, 2002).

La pitahaya amarilla se consume como fruta fresca natural y procesada; en zumos, cócteles, con yogur, helados, dulces, mermeladas, jaleas, gelatinas y bebidas refrescantes, en algunos países se emplea como colorante (López, 1999). La pulpa contiene captina, utilizado como tónico cardíaco, mientras que sus semillas contienen un aceite de suave y seguro efecto laxante, también se reporta el consumo de las flores como legumbre y recientemente el uso de brotes de tallos como verdura para la elaboración de guisos. La pulpa puede someterse a congelamiento, concentración, deshidratación, fermentación, procesamiento térmico y preservación química (Rodríguez *et al.*, 2005).

La liofilización es un proceso basado en la separación de agua por sublimación, que es la transformación directa del hielo a gas sin

pasar a través del estado líquido, ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua (4.58 mm Hg y 0 °C), (Karel, 1975). La presión y temperatura a las cuales se realiza la liofilización reducen al mínimo el arrastre de sustancias y el daño a la estructura del producto, obteniéndose la pérdida de peso y conservación de los productos deseables, manteniendo el contenido y distribución de los componentes en su interior, ya que un producto liofilizado tiene una alta estructura rígida, una alta capacidad de rehidratación y una baja densidad manteniendo las propiedades iniciales de un alimento fresco como son: apariencia, forma, sabor y color (Welti y Chanes *et al.*, 2004).

El proceso de congelación es una parte importante de la liofilización ya que los pequeños espacios del material no congelado repercuten en la estabilidad de la estructura del producto liofilizado, además de poder afectar la calidad final del producto (Heldman y Hartel, 1997). La forma de congelar un alimento depende de: La estructura del alimento y los niveles de temperatura para formar un estado vítreo durante el proceso de congelamiento. Con respecto a su estructura, los alimentos a ser liofilizados deben tener un porcentaje alrededor del 70 %, que en este caso el agua es el solvente y los materiales disueltos en el agua son los solutos (Sahagian y Douglas, 1996).

La capacidad de rehidratación se refiere a la cantidad máxima de agua que el producto es capaz de tomar en la inmersión (Arriola *et al.*, 2005). En el fenómeno de rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) La absorción de agua dentro del material deshidratado, b) La lixiviación de solutos y c) El hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño y volumen inicial. (Sahagian y Douglas, 1996).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) liofilizada. Para ello se seleccionó 4 tiempos de congelación 6, 9, 12 y 15 horas a una temperatura de - 10 °C.

Los resultados experimentales de la capacidad de rehidratación y la evaluación de las características organolépticas se analizaron con el software SPSS 15.0 para Windows, con la finalidad de obtener el mejor tiempo de congelación para la liofilización de la pitahaya amarilla.

2. Material y Métodos

Se empleó frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en su estado de madurez fisiológica, provenientes del distrito de Pedro Ruíz, provincia de Bongará, Región Amazonas, ubicado a una altura de 1 935 m.s.n.m., siendo sus coordenadas geográficas 5°53'38" Latitud Sur y 77°44'52" Longitud Oeste. Las características fisicoquímicas resaltantes para la selección de pitahaya fueron: consistencia firme, color amarillo, índice de madurez.

Las frutas se lavaron, pelaron y cortaron en rodajas de 4 cm de diámetro y 0,5 cm de altura y se colocaron en bandejas adecuadas y ordenadas en la congeladora modelo FC4D del Laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A, las rodajas de pitahaya se congelaron a -10 °C empleando 4 tiempos de congelación, 6, 9, 12 y 15 horas. El objetivo de esta etapa es encontrar el tiempo de congelación en el cual la pitahaya amarilla liofilizada tiene la mejor capacidad de rehidratación, mejor conservación de las características organolépticas como sabor, color, textura, menor daño estructural y un secado rápido.

La liofilización se llevó a cabo en un liofilizador marca TERRONI modelo LC-1500 con campana acrílica, panel de comando, software de control de proceso en PC, y bomba de vacío. Una vez congelada las rodajas de pitahaya se trasladaron al liofilizador, y se programó en la PC la opción de refrigeración hasta alcanzar una temperatura menor a 5 °C (positivo), una vez alcanzada ésta temperatura se prendió la opción calefacción hasta 55 °C. La pitahaya permaneció en las condiciones de bajo vacío por el compresor, refrigeración encendido y producto calentando por un periodo de 8 horas.

Los cambios de humedad (% H) y volumen (ΔV) se midieron en la fruta fresca (tiempo cero) y en la fruta seca (al final del proceso, 8 horas). La capacidad de rehidratación se estimó mediante la inmersión de las muestras en vasos de precipitación, con agua destilada a 20 °C. La relación en peso de muestra – agua destilada fue de 1:15. Se retiraron las muestras de los recipientes en diferentes tiempos hasta alcanzar los 180 min. Se secaron con papel absorbente y se calculó su peso para determinar la cantidad de agua ganada. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) (Espinoza, 2003), con 4 tratamientos y 4 repeticiones con arreglo factorial 4A x B, donde A representa el tiempo de congelación y B representa la capacidad de rehidratación.

Se evaluó los atributos de color, sabor y textura; para los cuales se dispuso de 4 tratamientos (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) que corresponden a los tiempos de congelación 6, 9, 12 y 15 horas respectivamente en el proceso de liofilización, estas muestras se presentaron a panelistas semi-entrenados de 15 personas, utilizando el test de escala hedónica de 7 puntos.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se observa los resultados fisicoquímicos realizado a la pitahaya amarilla fresca. (Rodríguez, 2005) determinó: pH 5,05; % de acidez 2,54; índice de madurez 5,00; humedad 83,18 % y 14 °Brix. Se observa una semejanza en los resultados. (Ayala *et al.*, 2010) determinó: humedad 84,14 %, índice de madurez 4 y 19,23 °Brix. Esta diferencia en el contenido de humedad se debe a la procedencia e índice de madurez de la pitahaya.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de la pitahaya amarilla

Características	Valor
pH	5,19
% Acidez*	2,59
°Brix	14,4
Índice de madurez (IM)	5,56
Humedad	82,21 % = 4,319 (kg agua/Kg m.s.)

*expresado en ácido cítrico

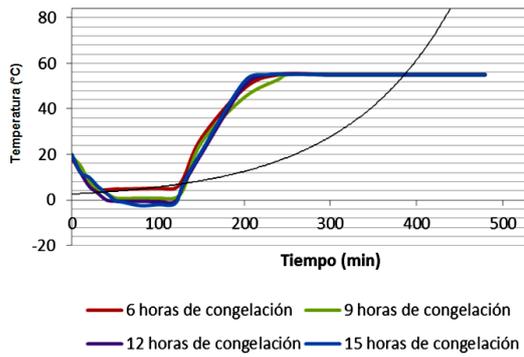


Figura 1. Curva de secado de la pitahaya liofilizada.

En la Figura 1 se aprecia la curva de secado por liofilización, donde se observa que la muestra a 6 horas de congelación a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, no desciende por debajo de los $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para empezar la sublimación, a diferencia de las demás muestras, esto se debe a que la congelación ha sido lenta y no ha alcanzado una estructura sólida, a lo que contribuye (Parzanese, 2008), que en una congelación lenta la temperatura deseada se alcanza de 3 a 72 horas en aparatos domésticos de congelación.

Tabla 2. Variación de humedad de la pitahaya amarilla liofilizada

Tiempo de congelación (horas)	Humedad inicial (%)	Humedad final (%)
6	82,21	17,03
9	82,21	11,08
12	82,21	10,89
15	82,21	10,04

En la Tabla 2 se aprecia la variación en el contenido de humedad de los tratamientos en estudio a las 8 horas de secado, donde se puede observar que a menor tiempo de congelación a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ presenta mayor contenido de humedad esto se debe a que el tiempo de congelación es muy corto, entonces el agua libre de la pitahaya no ha sido congelado en su totalidad, por ende la sublimación es lenta. Lo que contribuye (Parzanese, 2008), que el objetivo de la congelación es congelar el agua libre del producto. Con esto se busca que el producto congelado tenga una estructura sólida, sin que haya líquido concentrado, de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación.

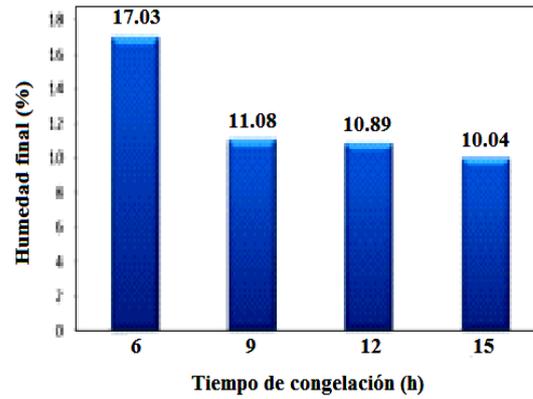


Figura 2. Contenido de humedad de la pitahaya liofilizada

En la Figura 2 se aprecia que a las 8 horas de liofilización se alcanza un contenido de humedad final de 10,04 % la más baja. (Barrena *et al.*, 2010), menciona que aproximadamente se requiere de 1 hora por cada 0,1 cm de espesor de la muestra, esto conllevó a liofilizar por 8 horas.

Tabla 3. Variación de volumen de la pitahaya amarilla liofilizada

Tiempo de congelación (horas)	V_o (cm^3)	V_f (cm^3)	ΔV (%)
6	2,85	2,29	19,65
9	2,85	2,43	14,74
12	2,85	2,37	16,84
15	2,85	2,36	17,19

En la tabla 3 se aprecia la variación del volumen; (Ayala *et al.*, 2010), considera un colapso estructural del producto cuando la variación del volumen es superior al 15 %; por consiguiente la muestra liofilizada congelada a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 9 horas presenta una variación de volumen de 14,74 %, considerándose que no existe colapso estructural a diferencia de los demás tratamientos, apreciándose desprendimiento de tejidos en la rehidratación.

La figura 3 contrasta los resultados de la tabla 3 se aprecia que a menor y mayores tiempo de congelación de las muestras la variación del volumen (%) son mayores que el tratamiento de 9 horas de congelación a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

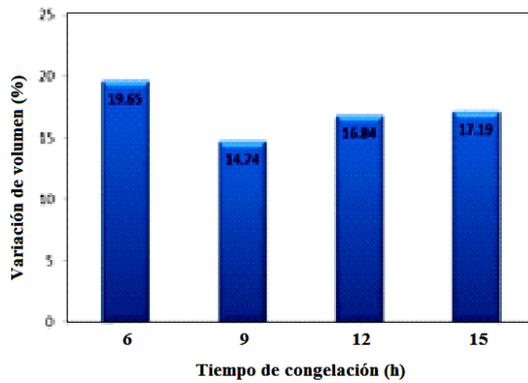


Figura 3. Variación de volumen de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados.

En la Tabla 4 se muestra la capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada, apreciándose que a 180 min de rehidratación el mejor tratamiento es T₂, muestra congelada a - 10 °C durante 9 horas obteniendo como resultado 2,832 (Kg agua/Kg m.s) \equiv 65,57 %. (Ayala *et al.* 2010), obtuvo como resultado 2,614 (Kg agua/Kg m.s). Esta diferencia se debe a la humedad inicial de la fruta fresca y otros factores tales como velocidad de congelación, presión y temperatura de liofilización.

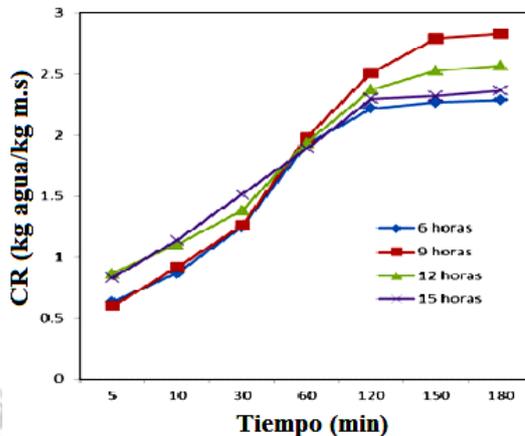


Figura 4. Efecto del tiempo de congelación sobre la capacidad de rehidratación con medio de inmersión a 20 °C.

Tabla 4. Capacidad de rehidratación de la pitaya amarilla liofilizada

Trat.	Tiempo de congelación (horas)	H _i (kg agua/kg m.s.)	CR (kg agua/kg m.s.)	CR (%)
T ₁	6	4,319	2.289	52,99
T ₂	9	4,319	2.832	65,57
T ₃	12	4,319	2.573	59,57
T ₄	15	4,319	2.366	54,78

En la Figura 4 se muestra la evolución de la capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada, se aprecia que para tiempos de congelamiento largos, la rehidratación es un poco más rápida, pero a medida que transcurre el tiempo de rehidratación los valores intermedios de congelamiento (9 y 12 horas) son las que absorben una mayor cantidad de agua. También se observa que a medida que pasa el tiempo la absorción de agua se hace más lenta por lo que los poros se saturan rápidamente en los primeros minutos y cabe mencionar que a los 180 min del proceso de rehidratación no se ha llegado a un equilibrio de humedad lo que significa que puede seguir incrementándose la absorción de agua.

La capacidad de rehidratación (Tabla 4), de los tratamientos estudiados tiene una diferencia notoria, obteniéndose valores entre 52,99 % y 65,57 %. Mediante el ANVA, se comprobó que el tiempo de congelación tiene un efecto significativo sobre la capacidad de rehidratación. Con las pruebas Tukey y Duncan, se comprobó que existen diferencias significativas en los tratamientos de estudio, obteniéndose tres subconjuntos homogéneos, donde los tiempos de congelación 6 y 15 horas son equivalentes entre sí y con valores inferiores en la capacidad de rehidratación. Ambas pruebas arrojaron resultados iguales dando como mejor tratamiento a la congelación durante 9 horas.

Para determinar los atributos de color, sabor y textura de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada, se dispuso de 4 tratamientos (T₁, T₂, T₃ y T₄) que corresponden a los tiempos de congelación 6, 9, 12 y 15 horas respectivamente, estas muestras se presentaron a 15 panelistas semi-entrenados, utilizando el test de escala hedónica de 7 puntos.

Concerniente al color, se observa que el tratamiento T₃ (12 horas de congelación) obtiene en promedio (5,47) el mejor resultado, indicando que a los panelistas optaron por la escala 5 (me gusta ligeramente), Mediante el ANVA, se comprobó que para los tratamientos al 5% de significancia existe efecto significativo sobre el color de la pitahaya liofilizada. Con las pruebas de Tukey y Duncan, se comprobó que existe significación estadística entre los tratamientos de estudio, Tukey lo agrupa en dos subconjuntos perteneciendo al grupo más significativo los tiempos de congelación 6, 9 y 12 horas. Sin embargo la prueba Duncan es más decisiva ya que lo agrupa en tres subconjuntos, donde al tiempo de congelación de 6 horas no lo considera dentro del más significativo.

Concerniente al sabor, se observa que el tratamiento T₃ (12 horas de congelación) obtiene en promedio (5,73) el mejor resultado, indicando que a los panelistas optaron por la escala 6 (me gusta moderadamente), Mediante el ANVA, se comprobó que para los tratamientos en estudio al 5% de significancia existe efecto significativo sobre el sabor de la pitahaya liofilizada. Con las pruebas de Tukey y Duncan, se comprobó que existe significación estadística entre los tratamientos de estudio, donde ambas pruebas lo agrupan en tres subconjuntos siendo 6 horas de congelación la menos significativa y los mejores 9 y 12 horas de congelación.

Concerniente a la textura, el tratamiento T₃ (12 horas de congelación) obtiene en promedio (5,6) el mejor resultado, indicando que a los panelistas optaron por la escala 6 (me gusta moderadamente), mediante el ANVA, se comprobó que para los tratamientos al 5% de significancia existe efecto significativo sobre la textura de la pitahaya liofilizada. Con las pruebas de Tukey y Duncan, se comprobó que existe significación estadística entre los tratamientos de estudio, donde ambas pruebas lo agrupan en dos subconjuntos siendo los tiempos de congelación 9 y 12 horas los que conservan mejor su textura según los panelistas.

4. Conclusiones

Las características fisicoquímicas de la pitahaya amarilla fresca son las siguientes: contenido de humedad promedio 4,319 (kg agua/kg m.s); pH 5,19; % de acidez 2,59; índice de madurez 5,56 y 14,4 °Brix.

El tiempo óptimo es de 9 horas de congelación a -10 °C para la liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), dando como resultado una capacidad de rehidratación de 2,832 (kg agua/kg m.s) equivalente al 65,57 % en relación al contenido de humedad inicial 4,319 (kg agua/kg m.s), conservando la calidad del producto.

La evaluación sensorial de las características organolépticas (color, sabor y textura) de la pitahaya liofilizada determinó que la mejor aceptación del producto se obtiene procesando a -10 °C de temperatura de congelación por un tiempo de 9 horas.

La pitahaya congelada a -10 °C durante 9 horas presenta un mínimo colapso estructural conservando las características iniciales de la fruta fresca con una variación de volumen de 14,74 %.

Para 9 y 12 horas de congelamiento a -10 °C, la velocidad y capacidad de rehidratación son mejores, sin embargo para 15 horas de congelación a -10 °C se observa una debilitación de la estructura y el desprendimiento de pequeñas porciones debido al exceso de agua.

5. Referencias Bibliográficas

- Arriola Guevara E., García, T.; Guatemala, G.; Nungaray, J.; Arellano, O.; Gonzáles Reynoso, J. Ruíz Gómez (2006). "Comportamiento del aguacate has liofilizado durante la operación de rehidratación". Revista mexicana de ingeniería química. Vol. 5 Num.1
- Ayala, A.; Serna, L.; Mosquera, E. (2010). "Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)". Revista de la facultad de química farmacéutica. Vol. 17 Num. 2
- Aponte, B.; Julian, C.; Cuartas G. (2009). "Cinética de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)". Revista de la facultad de química farmacéutica. Vol. 17 Num. 2.
- Barrena, M.; Huayama, P.; Olivares, S. (2010). "Manual de prácticas y problemas de ingeniería de operaciones agroindustriales II". Segunda edición Chachapoyas-Perú
- Blond, G.; Le Meste, M. (2004). "Principles of frozen storage". Inc. New York.

- Castro, E.; W. Castro. (2007). "Análisis de productos agroindustriales. Manual de prácticas de laboratorio y problemas". Trujillo - Perú
- Espinoza, E. (2003). "Evaluación Sensorial de los Alimentos". 1ª edición Tacna - Perú
- DIAA, (2012) Dirección de información agraria - Amazonas, Recopilación de información de producción de frutos exóticos Amazonas.
- Goff HD. (1992). "Low - temperature stability and the glassy state in frozen foods". Food research international, 25:317-325
- Heldman D. R y Hartel R. W. (1977). "Principles of food processing". Chapman & hall book. New York. E. U. A. PP. 211:218
- INIA (2009). Reporte Anual de Ciencia y Tecnología para el campo, Instituto Nacional de Innovación Agraria
- Izkar, J.; Lombroña J.(1996). "Experimental estimation of effective transport coefficients in freeze drying for simulation and optimization purposes". Drying technology, 14 (3&4): 743:763
- Karel, M. (1975). "Physical principles of food preservation". New York, pp. 287:294
- Krokida, MK. 2003. "Rehydration kinetics of dehydrated products"
- Liapis, A.; I, Pikal M.; Bruttini R. (1966). "Research and development needs and opportunities in freeze drying". Drying technology, 14 (6): 1265:1300
- Lombroña, J.; Ikara, J.; Zuazo, I. (2001). "Moisture diffusivity behavior during freeze drying under microwave heating power application". Drying technology, 19 (8): 1613:1627
- López, L. (1999). "Alimentos: la pitahaya variedad de usos". Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) - México
- Monsalve, B.; Sandra P. (2002). "El néctar de pitaya como una alternativa en la reducción de pérdidas postcosecha de esta fruta". Universidad de la Salle - Bogotá
- Rodríguez, D.; Gutiérrez M.; Miranda, D. (2005). "Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)" Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín vol.58 nro.2 Medellín - Colombia.
- Rothmayr, W. (1975). "heat and mass transfer". Goldblith S. A and advanced food technology. New York: academic press, pp. 203:222.
- López, R. (2009). "Cultivos frutícolas con potencial de exportación para el valle de chillón" INIA - Ministerio de Agricultura - Perú.
- Sahagian, M.; Douglas, H. (1996). "Fundamental aspects of the freezing process". Inc. New York. pp. 15, 20:39.
- Torres, E. (2007). "Caracterización físicoquímica y organoléptica del néctar de babaco (*Carica pentagona*)". Chachapoyas - Perú.
- Matos, A.; Corbelli D.; Moreno, M.; Belén, D. (2002). "Estabilidad de betalainas en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii* Br. et R.) sometidas a un proceso de liofilización". Revista de la Facultad de Agronomía. Vol. 19 Num. 4
- Viteri P.; Cornejo, F. (2007). "Estudio de Estabilidad de la Pulpa de Mora sometida a un Proceso de Liofilización". Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción escuela superior politécnica del litoral - Ecuador.
- Welti, J. (1985). "Influencia de las condiciones de secado por automatización y liofilización sobre la calidad y estabilidad de los triturados de naranja". Tesis Doctoral. Universidad de Valencia - España.
- Welti, J.; Bermúdez, D.; Valdez, A.; Alzamora, S. (2004) "Principles of freeze - concentration and freeze - drying". New York, 2:13:24

