

## Análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango

ROMÁN-AGUILAR, Raúl†\*, DELGADILLO-ÁVILA, Wendy Montserrath, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro y DOMÍNGUEZ-OLVERA, Armando

*Escuela Superior de Apan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

Recibido 17 de Julio, 2017; Aceptado 26 de Septiembre, 2017

### Resumen

México ocupa el primer lugar a nivel mundial como el mayor exportador de mango, sin embargo, este es un producto altamente perecedero, lo que representa un problema para su conservación y comercialización. Una solución a este problema es la congelación, no obstante implica un gasto en el consumo energético, principalmente en el proceso de congelación donde el costo beneficio puede representar la viabilidad de la venta y las utilidades obtenidas. Esto trae como consecuencia la necesidad de realizar un análisis energético en el proceso de congelación de pulpa de mango, a fin de exponer los puntos clave donde puede modificarse el proceso y en consecuencia lograr un ahorro en la energía consumida. El estudio se realiza sobre una tonelada del producto, cuya temperatura de maduración es de 21 a 24 °C, un pre-enfriamiento de 2 a 4 °C, congelamiento de -30 °C y almacenamiento de -18 °C, se proponen y diseñan los sistemas de producción de frío atendiendo a las características biológicas del producto que permita una mejor eficiencia. Como resultado se obtiene el dimensionamiento de los equipos y una propuesta en la configuración que permita visualizar los puntos de mayor atención en el proceso de congelación del producto.

### Energía, congelación, mango

**Citación:** ROMÁN-AGUILAR, Raúl, DELGADILLO-ÁVILA, Wendy Montserrath, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro y DOMÍNGUEZ-OLVERA, Armando. Análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:35-41

### Abstract

Mexico is the first place in the world as the largest exporter of mango; however, this is a highly perishable product, which represents a problem for its conservation and commercialization. One solution to this problem is freezing, however it implies an expense in energy consumption, mainly in the freezing process where the cost benefit can represent the viability of the sale and the profits obtained. This results in the need to perform an energy analysis in the process of freezing mango pulp, in order to expose the key points where the process can be modified and consequently to achieve a saving in the energy consumed. The study is carried out on a tonne of product, whose ripening temperature is 21 to 24 °C, a pre-cooling of 2 to 4 °C, freezing at -30 °C and storage at -18 °C, are proposed and Design the systems of production of cold taking into account the biological characteristics of the product that allows a better efficiency. As a result you get the sizing of the equipment and a proposal in the configuration that allows you to visualize the points of greatest attention in the process of freezing the product.

### Energy, freezing, mango

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: roman94340@hotmail.com,)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La conservación de alimentos por el método de congelación tiene cualidades benéficas pero al mismo tiempo es un proceso que requiere un tratamiento adecuado que evite un daño al producto. La reducción de la temperatura por debajo de los 0°C disminuye significativamente la velocidad de crecimiento de microorganismos y el deterioro de los productos por la actividad de éstos. Así mismo al disminuir la temperatura, ocasiona la inactividad enzimática y las reacciones oxidativas, debido a la formación de cristales de hielo que modifican la disponibilidad del agua y evitan que se favorezcan dichas reacciones. (Singh & Heldman, 2001).

La congelación como método de conservación, generalmente resulta en el incremento de la vida de anaquel y la calidad de los productos; no obstante, dicha calidad se ve influenciada por el proceso para alcanzar esta congelación, así como de las condiciones de almacenamiento y el proceso inverso que es la descongelación, donde la velocidad y el tiempo son factores importantes a controlar para disminuir la actividad fisicoquímica y bioquímica del alimento, así como de las reacciones enzimáticas y no enzimáticas, provocando que el crecimiento microbiano se vea detenido (George, 1993; Moharram & Rofael, 1993).

Algunos productos requieren la congelación rápida para asegurar la formación de cristales pequeños en la estructura del producto y con ello minimizar el daño a la textura, mientras que otros que no requieren este cuidado, no se justifica el gasto de este tipo de proceso.

El almacenamiento es el paso siguiente a la congelación, donde los puntos a controlar son el adecuado manejo y control de la temperatura, ya que se puede presentar el defecto de re cristalización, provocando pérdidas de calidad y modificación de la estructura del producto (Welti-Chanes, 2007).

Lo anteriormente descrito, es parte de las consideraciones a tomar en cuenta en el procesamiento de pulpa de mango, que sin duda implican un gasto significativo en el consumo energético y que puede representar la viabilidad de la venta y las utilidades obtenidas. Esto trae la necesidad de realizar un análisis energético en el proceso de congelación de pulpa de mango, a fin de exponer los puntos clave donde puede modificarse el proceso y en consecuencia lograr un ahorro en la energía consumida.

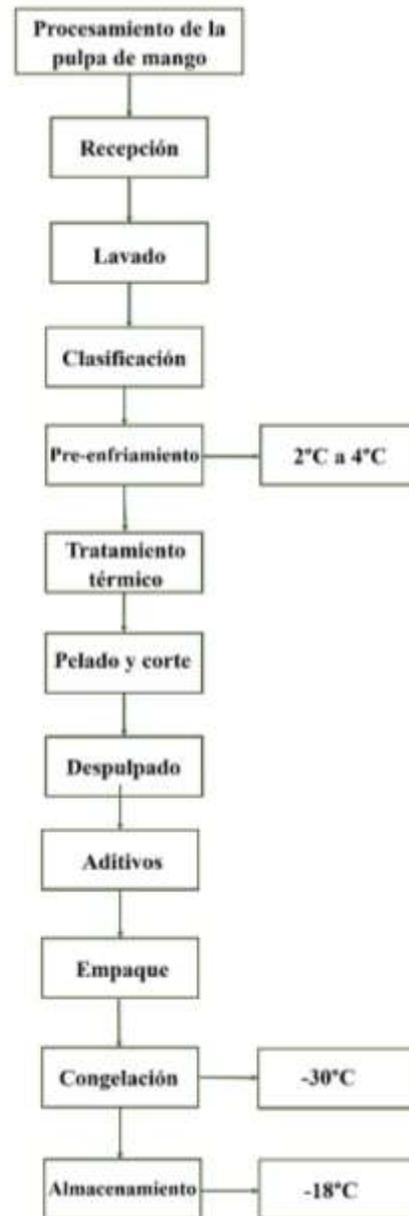
## Metodología

En el presente trabajo se realiza un análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango, partiendo de los datos de literatura y se analizan sistemas alternativos de refrigeración que podrían ayudar a ahorrar energía en este proceso. El estudio se realiza sobre una tonelada del producto, cuya temperatura de maduración es de 21 a 24 °C, un pre-enfriamiento de 2 a 4 °C, congelamiento de -30 °C y almacenamiento de -18 °C, se proponen y diseñan los sistemas de producción de frío atendiendo a las características biológicas del producto que permitan un mejor proceso.

## Desarrollo

Uno de los puntos más importantes en el proceso de congelación de la pulpa de mango es conocer sus características biológicas, mismas que habrá que cuidar y controlar para no perder las propiedades organolépticas de color, aroma y sabor, ya que es un producto altamente consumido debido a los nutrientes que contiene.

La pulpa de mango congelada puede manipularse para diferentes necesidades de producción industrial, semi industrial y para consumo directo, no obstante se debe tomar en cuenta que uno de los beneficios de exportar pulpa de mango congelada es su conservación para disponer de esta a lo largo del año. En la figura 1, se muestra el procesamiento de la pulpa de mango desde su recepción hasta su almacenamiento con propósitos de exportación, en el cual se aplica una congelación rápida para mantener la calidad, el valor nutricional y las propiedades físicas por periodos extensos.



**Figura 1** Procesamiento de pulpa de mango

*Fuente: Elaboración propia*

Cuando se decide utilizar el método de congelación en el procesamiento de la pulpa de mango, los parámetros de mayor consumo energético son el enfriamiento inicial o pre-enfriamiento, congelación y almacenamiento en frío, mismos que incrementan los costos de operación, siendo en su mayoría sistemas de refrigeración con amoníaco y con gran cantidad de consumo eléctrico. La influencia de la congelación, almacenamiento congelado y descongelado sobre la calidad de los productos ha sido investigado anteriormente, siendo la congelación el proceso de conservación más importante para almacenamiento y posterior manufactura de pulpa, jugos y jarabes (Skrede, 1996).

Los sistemas de refrigeración típicamente utilizados alcanzan tres temperaturas de evaporación: 1.6 °C para enfriamiento de agua, -20.5°C a -17.7°C para almacenamiento y entre -40°C a -31°C para enfriamiento rápido.

El producto que llega a la planta con un “calor de campo” es normalmente introducido en cuartos refrigerados antes de ser procesados. Los cuartos generalmente tienen evaporadores de aire forzado operando a temperaturas de 0°C a 1.5°C pero cuando se utiliza un hidro-enfriamiento se produce una temperatura debajo de 0°C y es más eficiente el uso de energía. Esto también es usado para los evaporadores de -40°C a -31°C en túneles de enfriamiento o enfriadores individuales rápidos (IQFs), donde una porción significativa de la energía es para reducir estas temperaturas. Los equipos presentan dos variantes que son los congeladores por corriente o golpe de aire y los túneles de congelamiento estacionarios y congeladores de cinta (como cintas transportadoras o en espiral). Los primeros, son procesos de congelación por lotes mientras que los de cintas son procesos continuos.

El almacenamiento, es el que menor gasto energético representa de los sistemas citados anteriormente en la planta de procesamiento, éstas cámaras se mantienen normalmente entre, -20.5°C a -17.7°C con evaporadores de aire forzado.

En la Tabla 1 se muestra la cantidad de energía consumida durante el procesamiento de pulpa de mango.

Procesos durante el procesamiento de pulpa de mango	Sikirica et al. (2003), Singh (1986b)		ENEA, (2013)
	Vapor (kWh/ton)	Electricidad (kWh/ton)	Basado en procesos fríos (kWh/ton)
Recepción y Selección		4.52	4
Lavado	118.23	4.52	4
Escaldado	x	x	x
Pelado y Troceado	45.22	12.27	7.4
Despulpado		4.52	7.4
Tratamiento térmico	64.61		
Aditivos	x	x	x
Empaque		9.69	
Congelación		378.62	
Almacenamiento			28.1

**Tabla 1** Energía consumida en el procesamiento de pulpa de mango

*Fuente: Elaboración propia*

A fin de comparar los datos reportados en la literatura, se realizaron cálculos con un sistema de refrigeración por compresión simple, uno en cascada y uno por inyección parcial con enfriador intermedio e inyección parcial, donde se trabajó para una tonelada de producto, obteniéndose la carga térmica del sistema con las ecuaciones (1), (2) y (3) que corresponden a las condiciones antes y después de la congelación utilizando el  $C_p$  correspondiente, durante la congelación utilizando el calor latente  $L_c$  y el almacenamiento utilizando el calor de respiración  $C_r$ .

$$Q_1 = mCp(\Delta T) \quad (1)$$

$$Q_2 = mLc \quad (2)$$

$$Q_3 = mCr \quad (3)$$

Posteriormente para obtener el cálculo del trabajo realizado por el compresor se utilizó como fluido refrigerante R-717 que corresponde al amoníaco y balances de energía de primera ley de termodinámica, sobre cada sistema y etapa que los componen, según las ecuaciones (4) a (7).

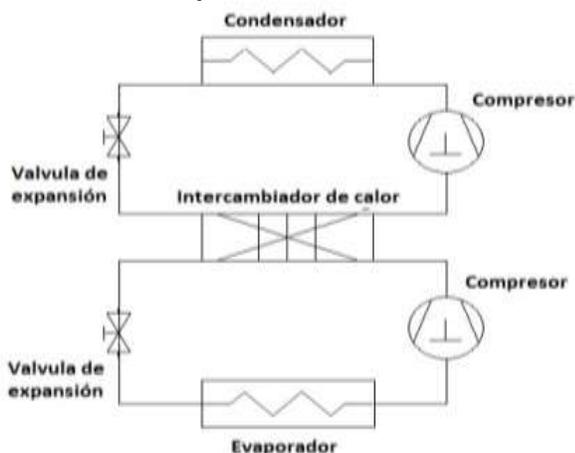
$$Q_{evap} = \dot{m}(\Delta h) \quad (4)$$

$$Q_{cond} = Q_{evap} + W_{comp} \quad (5)$$

$$W_{comp} = \dot{m}(\Delta h) \quad (6)$$

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} \quad (7)$$

La figura 2 muestra un sistema de refrigeración en cascada, en cual consta de dos sistemas simples de compresión de vapor, interconectados por un intercambiador de calor.



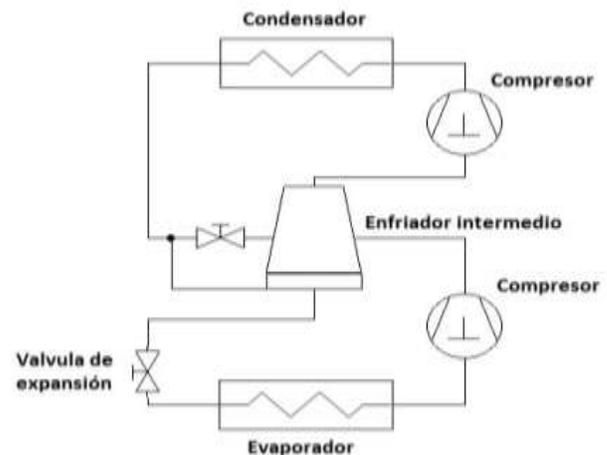
**Figura 2** Sistema de refrigeración por compresión de vapor en cascada.

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 muestra un sistema de refrigeración por compresión de vapor con enfriador intermedio y dos compresores (Sánchez, 2001).

Uno de los factores principales a considerar en el diseño y operación en un sistema de frigorífico es el tiempo de congelación. Cuando se considera el sistema frigorífico, el tiempo requerido establecerá la velocidad de movimiento del producto a través del sistema y por lo tanto la eficacia del sistema (Wolti- Chanes, 2007).

En algunos casos al sustituir el sistema por compresión simple por uno tipo IQF se podría llegar a ser más eficiente dependiendo de la cantidad de producto, aunque hablando de energía este necesita un mayor requerimiento. Esto se debe a que se utilizan intercambiadores de calor más grandes y algunos ventiladores de gran potencia.



**Figura 3** Sistema de refrigeración por compresión de vapor con enfriador intermedio e inyección parcial

Fuente: Elaboración propia

## Resultados

En las tablas 2, 3 y 4 podemos observar los datos obtenidos por los cálculos realizados en las etapas de pre enfriamiento, congelación y almacenamiento, utilizando un sistema simple de refrigeración, un sistema de refrigeración en cascada y un sistema de refrigeración con enfriador intermedio e inyección parcial.

Pre enfriamiento	Wcomp (kW)	Qevap (kW)	Qcond (kW)	COP
Sist. Simple	2.87	19.73	22.6	6.89
Sist. en Cascada	3.24	19.73	22.97	6.11
Sist. con Inyección Parcial	2.59	19.73	22.32	7.61

**Tabla 2** Datos obtenidos para un pre enfriamiento del producto

Fuente: Elaboración propia

Congelamiento	Wcomp (kW)	Qevap (kW)	Qcond (kW)	COP
Sist. Simple	30	94.15	124.15	3.14
Sist. en Cascada	34.04	94.15	128.19	2.77
Sist. Con Inyección Parcial	30.71	94.15	124.86	3.06

**Tabla 3** Datos obtenidos para el congelamiento del producto

Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento	Wcomp (kW)	Qevap (kW)	Qcond (kW)	COP
Sist. Simple	1.23	4.53	5.76	3.69
Sist. en Cascada	1.26	4.53	5.79	3.6
Sist. con Inyección Parcial	1.11	4.53	5.64	4.07

**Tabla 4** Datos obtenidos para el almacenamiento del producto

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados en el diseño de los sistemas, resulta evidente que el proceso de congelación es el proceso de mayor consumo de energía, siendo el sistema en cascada el que más energía requiere, así mismo el proceso de almacenamiento es el que menos energía necesita, siendo el sistema de inyección parcial el más eficiente.

## Conclusiones

Los sistemas de refrigeración propuestos confirman que el mayor consumo energético se encuentra en el proceso de congelamiento, no obstante se aprecia una diferencia entre ellos en la cantidad de energía consumida para la misma carga térmica, lo que sugiere y es la contribución de este trabajo, que cada proceso se realice con el sistema de refrigeración más adecuado, a fin de ahorrar energía y se disminuyan los costos más significativos en el proceso de congelación de pulpa de mango.

Así mismo, es de vital importancia tomar en cuenta las características biológicas de producto para aplicar el proceso de enfriamiento adecuado, proponiendo y diseñando los sistemas de producción de frío conforme a las características biológicas y no a la inversa, lo que resultara en una mejor eficiencia energética del proceso.

## Referencias

George, R. M. 1993. Freezing processes used in the food industry. Trends Food Sci. Technol. 4:134. Citado en M. S. Rahman y J. F. Vélez – Ruiz, 2007 Food preservation by freezing. En M.

Hackett, B., Chow, S., and A.R. Ganji, 2005. Energy Efficiency Opportunities in Fresh Fruit and Vegetable Processing/Cold Storage Facilities. Proceedings of the 2005 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Herrman, K. 1977. Alimentos congelados: Tecnología y Comercialización. Editorial Acribia. España p. 155.

Sánchez, M.T. 2001. Ingeniería del Frío: Teoría y Práctica. España: AMV Ediciones

Sikirica, S.J., J. Chen, J. Bluestein, A. Elson, J. McGervey, and D. Caughey, 2003. Topical Report: Research Collaboration Program Food Processing Technology Project, Phase 1. Gas Technology Institute, Des Plaines, Illinois. Report GRI-03/0075.

Singh, R. P. y Heldman, D. R. 2001. Introduction to Food Engineering. Chapter 7: Food freezing. Academic Press. California, EE. UU.

Singh, R.P. 1986b. Energy Accounting in Food Processing Operations. In: Singh, R.P. (ed.) 1986. Energy in Food Processing. Elsevier, Amsterdam.

Skrede, G. 1996. Fruits. En L.E. Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality* Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.

Wolti-Chanes, J. 2007. Apuntes de Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. Inéditos.