Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA

Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"

Software Antiplagio

UNICHECK

INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el analisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo titulo es:

Liofilización de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus)

presentado por:

ILAN JESUS NAVARRETE ROCA

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS** obteniéndose como resultado una coincidencia de **28.99%** otorgándosele el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.

Observaciones:

APROBADO OBTUVO 29% (MENOR AL 39% REQUERIDO)

Ica, **15** de **Enero** de **2020**

JULIO HERNAN ARENAS VALER
COORDINADOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

ANGEL PASCASIO RUIZ FIESTAS
ASESOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

“Universidad Nacional San Luis Gonzaga”

“Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos”

“Liofilización de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus)”*

Monografía

Para la obtención del título de

Ingeniero de alimentos

Alumno

Bach. Navarrete Roca Ilan Jesús

Pisco - 2019

Dedicatoria

Para mi padre y abuelo, los mejores hombres que he conocido. “morir de pie, antes de estar de rodillas” “querer es poder.”

“Si tú no trabajas por tus sueños, alguien te contratará para que trabajes por los suyos.”

“Leer un libro es luz del saber, leer cada día es ley del saber.”

“La enfermedad del ignorante es ignorar su propia ignorancia.”

Para S. quien me animo y me apoyo en los momentos más oscuros, eres mi luz.

Agradecimiento

Agradezco a mi madre la Prf. Liz Roca Thol por brindarme todo su apoyo incondicional.

A mi padre el Prf. Adrián Navarrete quien me enseño que el hombre puede todo y por lo tanto que todo es posible.

A mi abuelo Pablo Roca quien siempre confió en mí.

A mis 2 hermanas Alondra, V.R. Y Paloma, V.R.

Índice de contenido

Capítulo I …… 1

1. Marco teórico…….. 1

1.1. Introducción……. 1

1.2. Antecedentes……. 3

1.3. Bases teóricas…… 6

1.3.1. Pitahaya…….. 6

1.3.1.1. Características botánicas……. 6

1.3.1.2. Pitahaya como Materia Prima……. 7

1.3.1.3. Variedades de pitahaya…… 8

1.3.1.4. Valor nutricional de la pitahaya…… 9

1.3.1.5. Características de la fruta pitahaya……... 10

1.3.2. Proceso de liofilización……... 11

1.3.2.1. Pretratamiento del alimento……. 12

1.3.2.2. Congelación del agua…….. 12

1.3.2.3. Vacío del sistema……. 13

1.3.2.4. Sublimación del hielo…….……. 14

1.3.2.5. Condensación del vapor de agua eliminado…….…… 15

1.3.2.6. Desorción de la fracción acuosa no congelada…….…… 16

1.3.2.7. Ruptura del vacío…….. 16

1.3.3. Cálculo del tiempo de operación de la liofilización…… 17

1.3.4. Aplicaciones de la liofilización……... 20

1.3.5. Liofilizadores……... 20

1.3.6. Fases de la liofilización……... 24

1.3.7. Ciclo de liofilización……... 26

1.3.7.1. Acondicionamiento de la materia prima……. 27

1.3.8. Almacenamiento después del secado……. 28

1.3.9. Rehidratación y usos……. 28

1.3.10. Transferencia de calor y transferencia de masa…….. 29

1.4. Marco conceptual…… 31

1.4.1. Actividad de agua…….. 31

1.4.2. Calor latente…….…….. 31

1.4.3. Calor sensible…….…… 31

1.4.4. Fracción o capa seca…… 31

1.4.5. Frente de hielo……. 31

1.4.6. Humedad……. 32

1.4.7. Liofilización……. 32

1.4.8. Rehidratabilidad de un alimento…… 32

1.4.9. Sublimación…….…….. 32

1.4.10. Pitahaya amarilla…….…… 32

Capitulo II…….…… 33

2. Desarrollo o contenido…….…….. 33

2.1. Desarrollo del tema…….…….……. 33

2.2. Materiales y métodos…… 34

2.2.1. Material biológico…….. 34

2.2.2. Método…….. 34

2.2.2.1. Congelación…….…….. 35

2.2.2.2. Secado Primario…….…… 36

2.2.2.3. Secado Secundario……..…….…….. 36

2.3. Ventajas de la liofilización…….……..….. 37

2.4. Diagrama de operaciones de procesos de la Liofilización de la pitahaya amarilla……..……. 40

2.5. Descripción del diagrama de operaciones de procesos de la Liofilización de la pitahaya amarilla…….…….. 41

2.5.1. Resección e Inspección…….……. 41

2.5.2. Selección y clasificación…… 41

2.5.3. Lavado …….. 41

2.5.4. Acondicionado…… 41

2.5.5. Congelado……. 42

2.5.6. Primer secado…… 42

2.5.7. Segundo secado…….…… 42

2.5.8. Envasado……..……. 43

2.5.9. Inspeccionado ……..…… 43

2.6. Deshidratación osmótica como pretratamiento …… 44

2.6.1. Metodología…….. 44

2.6.1.1. Pretratamiento osmótico……. 44

2.6.1.2. Liofilización …….. 45

2.6.2. Resultados…….. 45

2.6.3. conclusión del pretratamiento con deshidratación osmótica……. 46

2.7. Temperatura y grosor en el liofilizado de pitahaya……. 47

2.8. Opinión crítica…… 50

2.9. Conclusiones…… 51

3. Referencias bibliográficas……. 52

4. Anexos…… 54

4.1. Anexo 1…… 54

Índice de tablas

Tabla 1. Valor nutricional pulpa de pitahaya……. 9

Tabla 2. Variables y repeticiones del tratamiento de liofilización…….…… 47

Tabla 3. Valor nutricional pitahaya deshidratada por liofilización……..….. 47

Tabla 4. Capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla liofilizada…… 49

Índice de figuras

Figura 1. Pitahaya Roja. (C. Ocampis)……. 8

Figura 2. Pitahaya Amarilla (S. Megalanthus)……. 8

Figura 3. Diagrama triple del agua……... 11

Figura 4. Liofilizador de túnel……. 23

Figura 5. Comparación del secado evaporativo y la liofilización…… 25

Figura 6. Exposición de tiempo y temperatura para tres métodos de secado…….. 26

Figura 7. Etapas del secado por liofilización…… 27

Figura 8. Distribución de un liofilizador que utilizo transmisión de calor por conducción y por radiación…… 30

Figura 9. Contenido de humedad de la pitahaya liofilizada……. 48

Figura 10. Variación de volumen de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados……. 48

Figura 11. Grados de maduración de la pitahaya amarilla de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana (NTC-3554)……. 52

Resumen

En la presente monografía se recopila información sobre investigaciones previas a la liofilización de la pitahaya amarilla, su definición de la pitahaya, como sus características botánicas, del punto de vista de este fruto como materia prima, sus variedades, valor nutricional y las características más resaltantes de la fruta, así mismo se ha recopilado información sobre el proceso de liofilización, cálculo del tiempo de operación de la liofilización, sus aplicaciones, tipos de liofilizadores, fases de la liofilización, ciclo de liofilización, acondicionamiento de la materia prima, almacenamiento después del secado, rehidratación y uso, transferencia de calor y transferencia de masa y por ultimo encontrara el proceso de liofilización de la pitahaya, materiales y métodos, ventajas, diagrama de operaciones y procesos de la liofilización de la pitahaya amarilla, su descripción y además la deshidratación osmótica como pretratamiento y la temperatura y grosor adecuado para la liofilización de la pitahaya amarilla.

Palabras clave: Liofilización. Pitahaya. Rehidratación. Proceso. Deshidratación. Acondicionamiento.

Abstract

In this monograph, documentary information is collected on research prior to the lyophilization of the yellow pitahaya, its definition of the pitahaya, as well as its botanical characteristics, from the point of view of this fruit as a raw material, its varieties, nutritional value and the most outstanding characteristics of the fruit, likewise, information has been collected on the lyophilization process, calculation of the operation time of lyophilization, its applications, types of lyophilizers, lyophilization phases, lyophilization cycle, conditioning of the raw material, storage after drying, rehydration and use, heat transfer and mass transfer and finally find the process of lyophilization of pitahaya, materials and methods, advantages, diagram of operations and processes of lyophilization of yellow pitahaya, its description and also dehydration osmotic as pretreatment and the temperature and thickness Decided for lyophilization of yellow pitahaya.

Keywords: Lyophilization. Pitahaya. Rehydration. Process. Dehydration. Conditioning.

Capítulo I

Marco teórico

1.1. Introducción

La disminución de la humedad de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación. Al reducir el contenido de agua de un alimento hasta un nivel muy bajo se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se reducen apreciablemente las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Además del efecto conservante, mediante la deshidratación se reducen el peso y el volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje. A demás, la deshidratación de un alimento produce a menudo otro más apto para el consumo. (Singh, R. y Heldman, D., 2009, p. 467)

La conservación de frutas y hortalizas mediante su deshidratación supone un importante desafío, pues debido a la estructura de estos productos la eliminación del agua debe hacerse de modo que el perjuicio sobre su calidad sea mínimo. Esto exige que el producto seco pueda rehidratarse hasta un producto prácticamente de la misma calidad que el original. Para obtener estos resultados con frutas y verduras deshidratadas los procesos de transferencia de materia y de calor deben ser optimizados, por lo que para el diseño del proceso es necesario un cuidadoso análisis del efecto de estos fenómenos de transporte en la estructura del alimento. Sólo mediante un buen conocimiento y análisis de estos procesos podrá obtenerse un alimento de óptima calidad. (Singh, R. y Heldman, D., 2009, p. 467)

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). (Huayama, P. y Tirado, I., 2013, p. 28)

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. (Huayama, P. y Tirado, I., 2013, p. 28)

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. (Huayama, P. y Tirado, I., 2013, p. 28)

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. (Huayama, P. y Tirado, I., 2013, p. 28)

Es por ello que en la presente monografía se describe el proceso de liofilización de la pitahaya para que pueda ser utilizada como método de conservación y mantener sus propiedades organolépticas y nutricionales del fruto, así mismo de aumentar el tiempo de vida útil y facilitar su manipulación para una potencial exportacion.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Ayala, A. (2010) afirma que la liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos, la cual permite prolongar el tiempo de vida útil manteniendo significativamente las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con su calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la liofilización y la osmoliofilización sobre las cinéticas de congelación y de secado, la actividad de agua, el volumen, la porosidad y la capacidad de rehidratación en rodajas de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus).* Como pretratamiento osmótico a la liofilización (osmoliofilización), las rodajas se sumergieron en una solución de sacarosa con 55 ºBrix a 25ºC; se congelaron a -35°C, la sublimación se llevó a presión de vacío de 8 Pa y el secado se realizó desde -35 hasta 35°C. Los resultados de los tratamientos evidenciaron, al final del proceso, diferencias significativas en la porosidad, volumen y capacidad de rehidratación (que fueron mayores para el tratamiento liofilizado), mientras que la cinética de secado y la actividad de agua no presentaron diferencias significativas. El tratamiento de liofilización fue adecuado para la conservación de rodajas de pitahaya amarilla, ya que permitió reducir la actividad de agua por debajo de 0,4; conservó significativamente el volumen y presentó alta capacidad de rehidratación. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 121)

Lopez M. (2016) en su artículo plantea la aplicación de la técnica de liofilización como método de conservación de alimentos como lo son frutas y hortalizas para lo cual se realizó una investigación acerca de los antecedentes y sus aplicaciones; se formalizó una explicación del procedimiento en cada una de las etapas que le conciernen y su funcionamiento como parte de la metodología; conforme a las fases planteadas se estipulan los requisitos necesarios que conlleva la implementación del proceso de acuerdo a las normas técnicas de calidad así como lo concerniente a la regulación en cuanto a manipulación de alimentos se refiere. Una vez

identificados los aspectos fundamentales se formula las actividades a realizar dentro de la cadena de valor, lo cual, conforma la etapa precedente al proceso de exportación. Así mismo, se señalaron las obligaciones concretas de cumplimiento en este último proceso, continuando con la asignación del personal, el equipo, la maquinaria y sus costos correspondientes con el objeto de determinar la factibilidad del proyecto. Finalmente se planteó los resultados y discusiones evidenciando que el proceso de liofilización es un proceso crítico al ser todas las actividades precedentes unas de otras y que los tiempos de finalización de proyecto varían unos de otros dependiendo el tipo de fruta u hortaliza a liofilizar conforme a sus características fisicoquímicas. (Lopez M., 2016, p. 2)

Pasquel, E. (2016) afirma que en el Ecuador la producción de pitahaya viene en incremento desde hace 10 años, la mayor producción nacional se centra en la provincia de Pichincha con un 76,8%, en aproxima 165 hectáreas; con un rendimiento de 8 a 10 toneladas/ha; 9 toneladas son enviadas al exterior y el resto se queda para el mercado interno ya que no cumplen con los requerimientos de calidad. La empresa Pitacava está dedicada a la producción de pitahaya, el 24% se destina al Mercado mayorista de Quito y supermercados nacionales. Este fruto se evaluó por tres procesos de deshidratación, convección, liofilización y ósmosis, buscando el tratamiento que cumpla los requerimientos establecidos por las autoridades y el proceso más eficiente, los productos resultantes fueron sometidos algunos análisis fisicoquímicos, humedad y fibra por el método gravimétrico, cenizas totales, carbohidratos por la técnica del colorimétrico y vitamina C por titulación. También se realizó análisis microbiológicos como: recuento de aerobios totales, mohos y levaduras, enterobacterias, enterococos y coliformes totales, los valores que obtuvieron en el proceso de **convección** (humedad 4,35%, fibra 1,56%, cenizas 3,89%, carbohidratos 45,26% y vitamina C 2,29 mg), en todos los indicadores microbiológicos resultaron con valores menores de 10 (UFC) por gramo de alimento. En **liofilización** (humedad 11,2%, fibra 2,4%, cenizas 2,1%, carbohidratos 25,3% y vitamina C 5

mg), en el contaje de aerobios totales, enterobacterias y coliformes se encontró más de 5000 (UFC) por gramo de alimento y en el contaje de mohos y levaduras se encontró aproximadamente 30 UFC/g. En el proceso de **ósmosis** (humedad 54%, fibra 21,1% cenizas 0,4%, carbohidratos 20,2% y vitamina C 6,5 mg) en la mayoría de indicadores microbiológicos resultaron con valores mayores a 130 UFCs/g excepto en los indicadores en coliformes y enterococos menores a 10 UFCs/g. Con relación al análisis financiero se obtuvo el costo anual de producción de los tres procedimientos dando como resultado convección 131.760,34 dólares, liofilización 259.153,83 dólares y ósmosis 155.791,06 dólares. (Pasquel, E., 2016, p. 6)

2.2. Antecedentes nacionales.

Huayama, P. (2013) afirma que en su investigación se determinó el efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus)* liofilizada, se congelo las muestras a -10 °C, y se ensayaron cuatro tiempos; 6, 9, 12 y 15 horas, La liofilización se realizó a temperatura de 55 °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). (Huayama, P., 2013, p. 27)

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Pitahaya

La pitahaya es una planta perenne, trepadora, epífita que crece comúnmente sobre árboles y piedras, debido a que no puede sostenerse por sí misma (Montesinos, J., et al., 2015, p. 68).

1.3.1.1. Características botánicas

Dentro del género Hylocereus, la especie *H. undatus*, es la más estudiada, por su amplia variación morfológica, fisiológica y genética. Se han realizado investigaciones con *H. undatus*, *H. ocamponis* y *H. purpusii*, mostrando que las tres especies presentan elementos de vaso con placas de perforación simple y punteaduras alternas, fibras libriformes, parénquima paratraqueal escaso y radios heterogéneos. La madera es mesomórfica, con variaciones solo en la longitud de elemento del vaso y el ancho de los radios. Actualmente no se cuenta con suficientes descripciones anatómicas que permitan apoyar el reconocimiento de las especies del género Hylocereus presentes en México y su distribución. (Montesinos, J., et al., 2015, p. 68-69)

Los tallos o cladodios, son suculentos, verdes y fotosintéticos, se caracterizan por presentar costillas o aristas gruesas que los recorren longitudinalmente. Las hojas típicas se transforman en acúleos (de 2 a 4 mm) dispuestos en los bordes, formando fascículos en las denominadas aréolas (pequeñas almohadillas homólogas de las yemas que originan brotes e inflorescencias). (Montesinos, J., et al., 2015, p. 68-69)

Las flores son hermafroditas y actinomorfas, se insertan directamente sobre los tallos, tienen forma tubular, son grandes (de 20 a 40 cm de longitud y hasta 25 cm en su diámetro mayor), muy vistosas, resultando atractivas para los polinizadores, fundamentalmente murciélagos en el caso de las pitahayas rojas; abren solamente en una ocasión en la noche, aparecen en general solitarias y presentan un periantio heteroclamídeo. El verticilo sexual masculino lo integran

numerosos estambres dispuestos en espiral que producen granos de polen tricolpados. El ovario del gineceo es ínfero con numerosos carpelos soldados y unilocular (cubierto de acúleos en el caso de Selenicereus) que se prolonga en un único estilo con brácteas completamente verdes o verdes con orillas rojas y pétalos blancos, amarillos o rosados, el cual contiene numerosos primordios seminales crasinucelados y bigtégmicos, con largos funículos arreglados en una placentación basal o parietal. La flor presenta una cámara nectarial. (Montesinos, J., et al., 2015, p. 68-69).

El fruto es una baya globosa o subglobosa (dehiscente en Hylocereus e indehiscente en Selenicereus), mide en promedio de 8 a 15 cm de largo y de 6 a 10 cm de diámetro, su pericarpelo es de color rojo o amarillo. (Montesinos, J., et al., 2015, p. 68-69).

1.3.1.2. Pitahaya como Materia Prima

La pitahaya es una planta perenne perteneciente a las cactáceas. Como ventajas de este cultivo se identifica la variabilidad genética, adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, y crecimiento de la demanda en el mercado nacional e internacional. (Pasquel, E., 2016, p. 3-4)

El fruto tiene la forma de baya ovoide, redonda, el largo de la fruta está entre 10 a 15 cm y el diámetro entre 6 a 10 cm, la pulpa es dulce, su corteza es de color amarillo, así como rojo dependiendo la variedad, alrededor tiene escamas helicoidales. (Pasquel, E., 2016, p. 3-4)

Existen dos tipos de pitahaya que se diferencian por su coloración y su valor nutricional, la de color amarilla tiene una cáscara con espinas y delgada mientras que la de color rojo tiene una casca gruesa, la pulpa de estas dos frutas es comestible y esta repletas de semillas de color negro. (Pasquel, E., 2016, p. 3-4)

El uso principal del fruto amarillo está dirigido al consumo como fruta fresca, por su apariencia se utiliza en arreglos frutales y ensaladas, en elaboración de jugos, néctares, jaleas,

mermeladas, en repostería la podemos encontrar como adornos, las semillas de la pulpa las utilizan como laxantes, los tallos como alimento para animales o como verduras y el fruto de color rojo se puede obtener tintes para la parte textil y alimenticia, la pulpa es comestible y es utilizada en la medicina tradicional para tratamiento de enfermedades gastrointestinales. (Pasquel, E., 2016, p. 3-4)

1.3.1.3. Variedades de pitahaya

Existen diferentes especies de pitahaya que se producen en países como México, Colombia, Vietnam, Israel etc, como las Hylocereus undatus, H. polyrhizus, H. ocamponis y Cereus ocampis de coloración rojiza, y las de coloración amarilla como la Selenicereus megalanthus, Cereus triangularis, Acanthocereus pitajaya. En Ecuador se cultiva dos tipos de pitahaya: la Selenicereus megalanthus de coloración amarilla y Cereus ocampis de coloración rojiza. (Pasquel, E., 2016, p. 3-4)

Figura 1 Pitahaya Roja. *(C. Ocampis)* (Pasquel, E., 2016, p. 4)

La pitahaya de coloración rojiza es más delicada por la inexistencia de espinas, de sabor insípido y menos aromático que la pitahaya de color amarillo, esta no registra volúmenes de producción y valores comerciales representativos para el Ecuador. (Pasquel, E., 2016, p. 3-4)

Figura 2 Pitahaya Amarilla *(S. Megalanthus)* (Pasquel, E., 2016, p. 4)

1.3.1.4. Valor nutricional de la pitahaya

Esta fruta contiene cantidades considerables de fibra, calcio, vitamina C y fósforo de acuerdo a la medicina tradicional tiene cualidades curativas con un amplio espectro de aplicaciones como problemas estomacales, recomendado para personas con diabetes, problemas endocrinógenos y para mejorar el funcionamiento del tracto digestivo. (Pasquel, E., 2016, p. 6)

La fruta de pitahaya contiene alrededor de 39 mg de betaxantinas en 100 g de pulpa de pitahaya que dan la coloración amarilla a la fruta y sobre todo tiene un poder antioxidante; contiene fenoles y ácidos fenólicos alrededor de 42,3 mg en 100 gramos de fruta fresca, en la pitahaya existen algunos metabolitos secundarios como: cactina que tiene propiedades antisépticas. (Pasquel, E., 2016, p. 6)

Tabla 1.

Valor nutricional pulpa de pitahaya

Componentes	**Contenido en 100g de la pulpa**	**Requerimiento diario de una persona**
Calorías	0.036 Kcal	3060 kcal
Agua	89,4 g	2000 g
Carbohidratos	13,2 g	375 g
Fibra	0,5 g	30 g
Grasa total	0,1 g	50 g
Proteínas	0,5 g	59 g
Cenizas	0,4 g	-
Ácido Ascórbico	9 mg	60 mg
Calcio	6,00 mg	1200 mg
Fósforo	19,00 mg	1200 mg
Hierro	85,00 mg	10 mg
Niacina	0,02 mg	19 mg
Riboflavina	0,03 mg	1,7 mg

Adaptado de Pasquel, E., 2016, p. 7

1.3.1.5. Características de la fruta pitahaya

Sus principales atributos son: Sabor dulce y aromático, aspecto interno. La pitahaya puede crecer en medios húmedos o secos creciendo sobre troncos, arboles y piedras las cuales les sirve para apoyarse. También reacciona ante la intensidad de la luz por lo que puede soportar largos periodos de sequía. Esta fruta se conserva entre 4 y 6 °C y alto grado de humedad de alrededor de 83% en esta forma se puede almacenar hasta 4 semanas en óptimas condiciones. (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15)

La maduración tiene lugar a una temperatura ambiente de 20 °C. El fruto de la pitahaya tiene forma ovoide larga y redondeada la misma que presenta tres variedades que se diferencian por el color de la pulpa: Roja y amarilla ambas con contenido nutricional. (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15)

Hylocereus triangularas: Amarilla con pulpa blanca exclusiva de Colombia y Nicaragua con forma ovalada y cascara tiene espinas. (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15)

Hylocereus undantes. Roja con pulpa blanca con cascara provistas brácteas (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15).

Forma: ambas variedades tienen una forma ovoide. La amarilla se caracteriza por tener una corteza con espinas y la roja, por su corteza gruesa y con brácteas. La pulpa de ambas es muy aromática y está repleta de semillas. (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15)

Tamaño y peso: la roja es de mayor tamaño que la amarilla. La amarilla mide unos 90 milímetros de largo y t milímetros. La roja tiene unos 12 centímetros de largo y un diámetro de 75 a 80 milímetros. (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15)

Color: la variedad amarilla, inicialmente es verde y amarillea en la madurez. Ambas tienen la pulpa de color blanco y repleto de diminutas semillas negras. La variedad roja se caracteriza porque su cáscara es roja y gruesa y tiene brácteas verdes, a diferencia de las espinas que presenta la variedad amarilla, que al madurar se tornan amarillas, dándole un aspecto muy decorativo. (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15)

Sabor: su sabor es exquisito, como agua azucarada, muy fino y delicado. (Medina, P. y Mendoza, F., 2011, Pp. 14-15)

1.3.2. Proceso de liofilización

El proceso se basa en la sublimación a vacío del agua del alimento previamente congelada. Las condiciones se fijan atendiendo a las características del producto y al diagrama del punto triple del agua (condiciones de presión y temperatura para las cuales coexisten sus tres estados). A la vista de dicho diagrama (figura 3), la sublimación se debe efectuar al menos a 4,58 mm. de Hg y a 0 °C. (Rodríguez, 2002, p. 202)

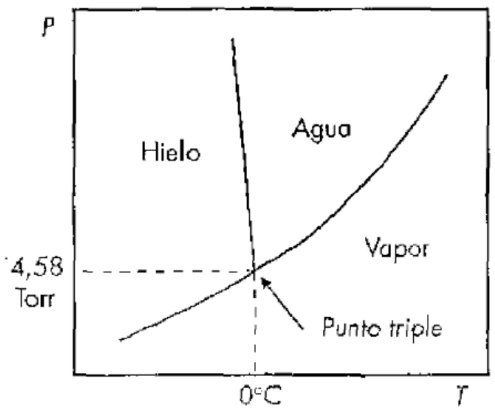


Figura 3. (Rodríguez, 2002, p. 202). Diagrama triple del agua.

En realidad, como el agua está afectada por la composición y estructura biológica del alimento y por su concentración en solutos, la temperatura de congelación se suele establecer por debajo de los -10 °C. La presión de operación, por su parte, debe asegurar que el agua cristalizada no se funda a lo largo del proceso. Para ello, se trabaja por debajo de los 2 mm de Hg de presión absoluta. A efectos prácticos, el desarrollo de esta técnica a escala industrial supone encadenar toda una serie de operaciones, enumeradas a continuación, algunas de las cuales se dan simultáneamente: (Rodríguez, 2002, p. 202)

- Pretratamiento del alimento.
- Congelación del agua.
- Vacío del sistema.
- Sublimación del hielo,
- Condensación del vapor de agua eliminado.
- Desorción de la fracción de agua no congelada.
- Ruptura del vacío.

1.3.2.1. Pretratamiento del alimento.

Si el producto a tratar es líquido, habida cuenta del coste asociado a la eliminación de agua por liofilización, es conveniente efectuar una pre concentración del mismo, siempre que la

técnica al efecto garantice su estabilidad térmica, motivo por el que se ha seleccionado su conservación por criodeshidratación. Cuando el alimento es sólido, se reduce su tiempo de secado actuando sobre su forma y tamaño, troceándolo, de tal modo que desarrolle una mayor superficie por unidad de volumen. (Rodríguez, 2002, p. 202)

1.3.2.2. Congelación del agua.

La velocidad de congelación del agua determina el tamaño de los cristales de hielo formados y. por ende, el tamaño de poro resultante de la sublimación de los mismos. Dado que un excesivo tamaño de los cristales puede afectar irreversiblemente a las membranas celulares (con pérdida irreversible de agua intracelular) y, por tanto, a la textura del producto final, se prefiere operar a elevadas velocidades de congelación, aun cuando esto suponga limitar la difusión interna del vapor de agua a través de los poros formados, en este caso estrechos (menor velocidad de secado). Como contrapartida, el secado del producto es mucho más uniforme, dando lugar a una distribución de poros final también más homogénea. (Rodríguez, 2002, p. 202)

Esta práctica se hace asimismo extensiva a los alimentos líquidos. En ocasiones, cuando la estructura cristalina del líquido congelado es muy tupida, se somete a una trituración posterior, con lo que se reduce el tiempo de secado, o bien se efectúa la congelación a partir del producto en forma de espuma. En general, la congelación puede ser externa, en un equipo anejo al liofilizador, o interna, en el propio liofilizador, tendencia actual. (Rodríguez, 2002, p. 202)

1.3.2.3. Vacío del sistema.

El vacío contribuye a reducir los riesgos de fusión del hielo, al ser la presión en la cámara directamente proporcional a la temperatura necesaria para que tenga lugar este fenómeno. Esta posibilidad se acentúa al comienzo de la operación, cuando controla la transmisión de calor, situación que se prolonga en tanto el sistema no alcanza el régimen estacionario. Esto requiere

efectuar un cierto vacío (1-4 mm de Hg) en un tiempo relativamente corto (5-10 min). En primer lugar, se utiliza una bomba de gran caudal y vacío medio, que permite alcanzar las presiones necesarias al principio de la operación para, seguidamente, conectar el sistema a una segunda bomba, de menor caudal, pero de alto vacío, que asegura el mantenimiento del vacío preestablecido para el resto del proceso. (Rodríguez, 2002, p. 203)

La presión de operación en la cámara constituye, quizás, la principal variable de un proceso de liofilización. Cada alimento presenta su propio óptimo en cuanto a la presión de operación (0,005-1,5 mm de Hg). El análisis del nivel de presión más adecuado se centra en la velocidad de sublimación del hielo. Así, si se aumenta la presión en la cámara por encima de un determinado valor se disminuye la velocidad de liofilización. Ello se explica debido a que se aumentaría la presión parcial del vapor en la superficie del alimento para una misma presión de vapor del hielo en su frente de sublimación, lo que dan a lugar a una reducción del gradiente de presiones, fuerza impulsora de la transferencia de materia. La situación implicaría asimismo alcanzar una mayor temperatura para sublimar el hielo, lo que supone un menor gradiente térmico entre las secciones consideradas. (Rodríguez, 2002, p. 203)

En el caso contrario, disminución de la presión de operación por debajo de su valor óptimo en relación a la velocidad de liofilización, la explicación no resulta tan obvia. Parece ser que a alto vacío, condiciones en las que se favorece la desorción de los gases y aire ocluidos en el alimento, se resiente la conductividad térmica del mismo y, por ende, la velocidad de transmisión de calor. La pérdida de la componente convectiva de la propagación del calor, que actúa como medio de cohesión entre las fracciones sólidas, supone un aumento “aparente” de la porosidad del producto (inversamente proporcional a su conductividad térmica). (Rodríguez, 2002, p. 203)

La presión óptima de operación no tiene por qué coincidir con su valor óptimo a efectos de la economía del proceso. Nótese que conforme se disminuye la presión (menor temperatura de sublimación) menor ha de ser la temperatura precisa para condensar en forma de escarcha el vapor de agua eliminado. Por otra parte, el coste debido al vacío aumenta exponencialmente. De cualquier forma, los costes de operación en su conjunto disminuyen paralelamente a la reducción del tiempo de secado. (Rodríguez, 2002, p. 203)

1.3.2.4. Sublimación del hielo.

Al igual que en las operaciones de secado que ya se han tratado, la velocidad de eliminación de agua, en este caso por sublimación del hielo, está determinada por las velocidades de transmisión de calor y de transferencia de materia. La transmisión de calor depende del foco utilizado. La discusión se ha centrado en un equipo donde el calor se transmite por conducción a través de la fracción seca o liofilizada del alimento, caso más habitual. En estas condiciones, la velocidad de propagación del calor hasta el frente de sublimación del hielo está condicionada por el espesor, área de transferencia y conductividad térmica del alimento, así como por el gradiente de temperaturas entre la superficie del mismo y el frente del hielo. Dicha transmisión se ve muy desfavorecida por la conductividad térmica de la capa de alimento liofilizado, muy baja, cuyo espesor aumenta conforme avanza la operación. (Rodríguez, 2002, p. 203)

La resistencia al paso del calor se mitiga disminuyendo el tamaño y grosor de las piezas a tratar, y/o aumentando la diferencia de temperaturas antes reseñada. Respecto a este último punto, interesa operar con una temperatura en el frente de hielo lo más alta posible, sin que ello origine su fusión. Así pues, si se pretende un buen gradiente térmico se ha de actuar sobre la temperatura de la cámara, cuyo límite superior (40/50 °C) viene dado por la termosensibilidad del alimento. La temperatura en el frente de hielo se fija a través del valor establecido para la presión en la cámara. Es importante suministrar al hielo su calor de sublimación con una cierta

velocidad. De lo contrario, se produce un descenso en su temperatura, que se traduce en una menor velocidad de deshidratación. (Rodríguez, 2002, p. 203)

1.3.2.5. Condensación del vapor de agua eliminado.

Aunque no se ha indicado, resulta evidente que el vacío, además de fijar la presión de operación, se encarga de la evacuación del vapor de agua, de los gases desorbidos del alimento y del aire que pudiera haberse introducido en la cámara de liofilización. La mezcla de gases y vapores pasa a través de una trampa de vapor, constituida por un serpentín refrigerado internamente, donde la mayoría del vapor retirado del alimento condensa como escarcha. Este equipo, intercalado en la línea de vacío, permite reducir el caudal de succión de la bomba (un vapor de agua a -25 °C y 0,5 mm de Hg ocuparía unos 2 m^3/g), que se limitaría así a extraer del sistema el vapor no condensado y los gases incondensables en general. La eficacia de la condensación del vapor depende, básicamente, de los siguientes factores: (Rodríguez, 2002, p. 204)

- Diferencia de presiones entre la cámara (o la superficie del alimento) y la superficie externa del condensador. (Rodríguez, 2002, p. 204)
- Temperatura del condensador: se establece atendiendo a la temperatura de sublimación del hielo. De hecho, la eficacia de la operación se define en ocasiones como el cociente entre la temperatura de sublimación y la temperatura del refrigerante, que es la que determina la del condensador. (Rodríguez, 2002, p. 204)
- Espesor del hielo depositado sobre el condensador. La velocidad con que se acumula la escarcha sobre las paredes del condensador determina la frecuenciadel desescarchado. (Rodríguez, 2002, p. 204)

- Diferencia entre la temperatura del refrigerante (interior) y la temperatura superficial del condensador (exterior). (Rodríguez, 2002, p. 204)

Es importante controlar la eficacia de la condensación del vapor de agua a lo largo del proceso. Si ésta disminuye, el excedente de frío resultante de la menor proporción de vapor condensado se traducirá en un descenso de la temperatura de la cámara de liofilización. (Rodríguez, 2002, p. 204)

1.3.2.6. Desorción de la fracción acuosa no congelada.

En principio, la liofilización da lugar a la sublimación de todo el hielo. El agua residual (15%), "ligada" al alimento, se elimina por evaporación a vacío en el propio liofilizador (<2-5%), a la misma presión de sublimación, pero a temperaturas superiores, de hasta 50/60 °C. En estas condiciones de presión y temperaturas puede parecer que se encuentra favorecida la pérdida de volátiles. Sin embargo, la difusidad de estos componentes se reduce notablemente conforme disminuye la humedad del producto. Otra posibilidad es "acabar" el producto en un secadero de tolva. (Rodríguez, 2002, p. 204)

1.3.2.7. Ruptura del vacío.

Una vez se ha secado el producto, el siguiente paso consiste en la descarga del mismo. La operación implica una ruptura progresiva del vacío (en 15 min aproximadamente), utilizando a tal fin un gas inerte, N_2 o CO_2. Se llega incluso a crear una leve sobrepresión respecto a la barométrica, de modo que el producto no adsorba parte de la humedad del aire ambiente. Su conservación, dada su afinidad hacia el agua, pasa por un cuidadoso control 'de la composición, temperatura y humedad relativa de la atmósfera de almacenamiento. (Rodríguez, 2002, p. 204)

1.3.3. Cálculo del tiempo de operación de la liofilización

Cuando el secado del alimento tiene lugar a través de la superficie de calefacción, la velocidad de transmisión del calor vendrá dada por la siguiente ecuación de Fourier: (Rodríguez, 2002, p. 206)

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{K_a A}{L}(T_s - T_h) \ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

Donde K_a corresponde a la conductividad térmica de la fracción seca del alimento, T_s la temperatura de la superficie seca, T_h a la temperatura del frente de hielo y L al espesor de la referida capa seca (distancia entre su superficie y la del frente de hielo). (Rodríguez, 2002, p. 206)

La transferencia de vapor a través del sólido seco se puede expresar, de acuerdo con la ley de Darcy, como un transporte de cantidad de movimiento: (Rodríguez, 2002, p. 206)

$$\frac{dw}{dt} = \frac{AP(p_h - p_w)}{L} \ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

En la que dw/dt es la velocidad con que se transfiere el vapor, P la permeabilidad de la fracción seca del alimento, p_h la presión de vapor del hielo en el frente de sublimación y p_w la presión parcial del vapor de agua en la superficie del producto. (Rodríguez, 2002, p. 206)

Si el producto es compacto, baja permeabilidad, se dificulta la difusión interna del vapor. Tendrá, por el contrario, una cierta conductividad térmica. En estas condiciones, el gradiente de temperaturas será moderado en tanto el de presiones elevado. Dado que la presión de la cámara, que se fija mediante el vacío consiguiente, determina una presión constante en la superficie del alimento, el incremento del gradiente de presiones se debe al aumento de la presión de vapor del hielo como consecuencia del nivel térmico que se alcanza en esta zona, muy próximo al existente en la superficie. Se dan así unas condiciones propicias para la fusión

del hielo y posterior evaporación del agua formada. El riesgo se limita aumentando, bien la presión en la cámara (mayor presión superficial), bien el espesor de la pieza (menor temperatura en el frente de hielo). Ambas posibilidades conducen a la disminución del gradiente de presiones. (Rodríguez, 2002, p. 206)

En el caso contrario, alimento permeable, pero de conductividad térmica deficiente, se puede producir una acumulación de calor en la superficie del mismo, con la consiguiente alteración térmica. El gradiente de temperaturas será sustancial, mientras que el de presiones se resentirá debido a la baja temperatura en el frente de hielo. En esta situación, sólo se puede actuar sobre el foco caliente, controlando su actividad a partir de la medida de la temperatura superficial del producto. (Rodríguez, 2002, p. 206)

La transferencia de vapor por difusión molecular interna viene dada, según la ley de Fick, por la siguiente expresión: (Rodríguez, 2002, p. 206)

$$\frac{dw}{dt} = \frac{DA}{RT_h}(p_h - p_w) \ldots\ldots\ldots\ldots 3$$

Donde *D* representa la difusividad interna del vapor de agua.

La velocidad de transferencia del vapor también se puede expresar atendiendo a la variación del contenido de humedad de la capa seca conforme progresa el secado. Así, (Rodríguez, 2002, p. 206)

$$\frac{dw}{dt} = A\rho(w_0 - W_t)\frac{dI}{dt} \ldots\ldots\ldots\ldots 4$$

En la que ρ es la densidad del producto seco, W_0 la humedad de la capa seca a tiempo cero, es decir, la humedad inicial del producto (expresada sobre base seca) y W_t la humedad de la capa seca a tiempo t, referida también a base seca. La ecuación constituye una aproximación

al comportamiento del sistema. Por ejemplo, la densidad no permanece constante entre el comienzo (t = 0) y el final de la operación (t = t). (Rodríguez, 2002, p. 206)

En el equilibrio, la velocidad de transmisión de calor se iguala a la velocidad de transferencia de materia. Es decir, todo el calor que llega al frente de hielo se traduce, como calor de sublimación, en un transporte del vapor de agua formado. (Rodríguez, 2002, p. 206)

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\lambda_s}\frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots\dots 5$$

Sustituyendo las ecuaciones establecidas para la transferencia de calor y materia en la anterior expresión se tiene que: (Rodríguez, 2002, p. 206)

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{K_a A}{\lambda_s L}(T_s - T_h) = \frac{AP(p_h - p_w)}{L} = \frac{DA}{RT_h}(p_h - p_w) = A\rho(w_0 - W_t)\frac{dL}{dt} \dots\dots\dots 6$$

La integración de esta igualdad entre los límites: t = 0, L= 0 y t = t_1 L = L_1 permite establecer el tiempo de liofilización: (Rodríguez, 2002, p. 206)

$$t_1 = \frac{\lambda_s \rho(w_0 - W_t)}{K_a(T_s - T_h)}\frac{L_1^2}{2} = \frac{\rho(w_0 - W_t)}{P(p_h - p_w)}\frac{L_1^2}{2} = \frac{RT_h\rho(w_0 - W_t)}{D(p_h - p_w)}\frac{L_1^2}{2} \dots\dots\dots\dots 7$$

Del análisis de esta expresión se concluye que el tiempo de operación es directamente proporcional al cuadrado del espesor del producto. Esto viene a confirmar la conveniencia de operar con piezas delgadas y de poco tamaño. En este sentido, también resultaría interesante el secado por las dos caras mayores, y no por una única, que es el supuesto del que se ha partido para deducir la presente ecuación. En ese caso, habría que sustituir L por L/2. (Rodríguez, 2002, p. 206)

Aparte de lo apuntado en relación a la preparación del producto, la velocidad de sublimación del hielo se controla en la práctica actuando sobre las siguientes variables:

- Presión en la cámara de liofilización.

- Temperatura del condensador. Interesa la máxima condensación posible. Para ello hay que limitar la perdida de carga entre la cámara y el condensador, de tal forma que la presión en este último sea próxima a la de liofilización (de lo contrario bajaría la temperatura de condensación deL vapor). La temperatura del condensador debe ser lo suficientemente baja. (Rodríguez, 2002, p. 206)
- Temperatura de sublimación del hielo. Interesa la máxima posible; el límite superior admisible viene dado por la temperatura de fusión del hielo. (Rodríguez, 2002, p. 206)

1.3.4. Aplicaciones de la liofilización

Aunque la relación de productos liofilizados a escala experimental es considerable, la realidad es que su campo de aplicación industrial se limita a unos pocos alimentos, de alto valor añadido y que se verían muy afectados por un secado térmico convencional. La conservación por liofilización se aplica, se entiende que no necesariamente siempre, a alimentos tales como: café soluble, extractos de café concentrado, ciertas setas, algunas frutas y verduras, carne en determinados casos, zumos de naranja, gambas o langostinos, etc. (Rodríguez, 2002, p. 206)

1.3.5. Liofilizadores

Las principales diferencias entre los liofilizadores existentes en el mercado son el tipo de fuente de calor utilizada y, en menor medida, la disposición del sistema de condensación. La transmisión de calor más extendida es por conducción y por una sola cara del alimentó. El producto se extiende sobre bandejas, que pueden incorporar resistencias eléctricas o asentarse sobre unas placas calefactoras huecas, por cuyo interior circula el fluido térmico. Es la llamada liofilización por contacto directo. Si el calor se difunde a través de la capa seca del producto, la velocidad con que se transmite es tanto menor cuanto mayor sea el espesor de la referida capa. Es decir, la transmisión de calor se resiente conforme progresa la liofilización del alimento. Si por el contrario el calor se transmite a través de la capa de hielo, su velocidad

aumentará con el tiempo de operación. Se da, pues, una disminución gradual del espesor del medio a través del cual se transfiere el calor. En cualquier caso, la liofilización por conducción da lugar a una sobre calefacción de la superficie caliente del producto, con formación de una "costra" que limita, a su vez, la transmisión de calor al frente de hielo. (Rodríguez, 2002, p. 206 - 207)

Algunos equipos incorporan una doble placa calefactora que, si bien mejora la uniformidad del secado, no supone una reducción del tiempo de procesado. El contacto placa-alimento dificulta la evacuación del vapor de agua eliminado, de ahí que haya de reducirse la temperatura de calefacción hasta un valor que evite la acumulación superficial del mismo. Este inconveniente se palía empleando unas placas metálicas sinterizadas, de estructura microporosa, que permiten la difusión del vapor. Es la denominada liofilización acelerada. (Rodríguez, 2002, p. 208)

También se utilizan fuentes de calor radiante que, en principio, dan lugar a un calentamiento del producto más uniforme. Aun así, se requieren piezas de poco espesor y controlar la temperatura superficial del alimento. Las bandejas en este caso actúan únicamente como soporte, y no como medio de transmisión del calor, ya que la fuente en cuestión no precisa un contacto íntimo con el alimento. Una práctica habitual consiste en utilizar un contacto directo (por conducción) por la superficie inferior del alimento y una fuente radiante por su superficie superior. Se consigue así una velocidad de liofilización considerable. (Rodríguez, 2002, p. 208)

El calentamiento por microondas es una de las fuentes de calor con mayor futuro en el campo de la liofilización. Con este sistema el calor se produce en el propio frente de hielo, cuyo factor de pérdida es muy superior al de la fracción seca del alimento, con lo que la velocidad de sublimación es independiente del espesor de la pieza tratada. Su principal inconveniente viene dado por la relación existente entre el factor de pérdida del hielo y la

temperatura, directamente proporcionales. A sí, se puede llegar a dar la fusión de parte del hielo, favoreciéndose a continuación la brusca evaporación del agua formada (con la consiguiente “explosión” del producto) merced a su factor de pérdida, muy superior al del hielo. La aplicación de esta técnica a la liofilización está mucho más desarrollada que el calentamiento dieléctrico o que la radiación infrarroja, también ensayadas a escala experimental. Otra investigación reseñable al respecto es la liofilización a presión atmosférica con corriente de aire o de nitrógeno. Para ello, se precisa que la presión parcial del vapor de agua en el gas sea inferior a la presión de vapor del hielo, lo que exige secar y enfriar el gas. (Rodríguez, 2002, p. 208)

El condensador puede operar directamente con un fluido refrigerante, cediendo frío por evaporación del mismo, o a través de un circuito secundario con un fluido de menor capacidad frigorífica, como puede ser una disolución acuosa glicolada. Su disposición en relación a la cámara de liofilización puede ser interna o externa. En el primer caso el vapor presenta un menor recorrido hasta alcanzar el serpentín de condensación. Otra ventaja de esta disposición es la posibilidad de utilizar el condensador como congelador durante la primera etapa de la operación. Si se sitúa fuera de la cámara, se facilita su mantenimiento. Esta opción permite, asimismo, operar alternativamente con dos unidades de condensación: en una se condensa el vapor mientras en la otra se procede al desescarchado. El volumen sometido a vacío es, en este caso, superior, ya que al del liofilizador hay que sumarle el de la conducción entre la cámara y el condensador. (Rodríguez, 2002, p. 208)

Los liofilizadores se pueden clasificar atendiendo bien a la fuente de calor que incorporan, aspecto ya tratado, bien al modo de operación, continuo o discontinuo con una o más unidades. (Rodríguez, 2002, p. 208)

El equipo en discontinuo consiste en una cámara de liofilización hermética, conectada a una línea de vacío, donde las bandejas que contienen el producto se soportan sobre placas calefactoras. Son capaces de tratar hasta 400 kg cada 6-8 horas. Cuando se desea pasar a una capacidad mayor, sin estar supeditado a una operación en. continuo, se dispone de varias unidades (cabinas) en paralelo: 4 unidades darían lugar a una producción máxima de 5.000 kg/día. Esta disposición tiene la ventaja de permitir un sistema de vacío común, con control individualizado del mismo según los requerimientos en cada caso. El sistema de calefacción sí es independiente. La carga del producto se distribuye entre las cabinas a intervalos de tiempos regulares, cada 2 h, estando pues la descarga también secuenciada. (Rodríguez, 2002, p. 208)

La operación en continuo se lleva a cabo en los llamados liofilizadores de túnel. Como su nombre indica, consisten en una cámara cilíndrica de unos 2 m de diámetro, que incorpora en toda su longitud las placas calefactoras, dispuestas a distintas alturas. Las bandejas se transportan en vagonetas, que circulan sobre unos raíles al efecto, de tal modo que en su paso se intercalan entre las placas calefactoras, fijas. Ciertos sistemas están dotados de un dispositivo hidráulico que permite mejorar el contacto entre las bandejas y las placas. La calefacción se controla por secciones. El equipo, representado en la figura 2, está provisto de unas esclusas de carga y descarga para preservar el vacío en su interior. El sistema de condensación es doble, alternativo, de forma que no se interrumpa la operación por necesidades de desescarchado. Se suele situar en la parte inferior del túnel, en los laterales de los raíles centrales. (Rodríguez, 2002, p. 208)

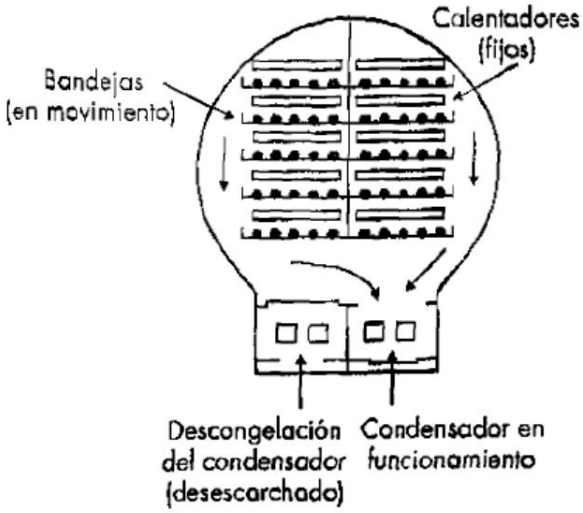


Figura 4. (Rodríguez, 2002, p. 208). Liofilizador de túnel

Resulta difícil establecer un consumo energético promedio para la liofilización de alimentos en general. A título indicativo, ya que los productos son de características muy dispares, se estima en unos 5.000 kW - h por tonelada de agua eliminada. Tomando como referencia unitaria el consumo debida a la etapa de congelación (2,4% del total), el resto de consumos relativos serían: 10,6 para la sublimación (25,9%), 5,9 para la condensación (14,4%), 1,3 para el desescarchado (3,2%), 1,5 para el vacío (3,7%) y 20,7 para la desorción (50,5%). A pesar del carácter aproximado de estas cifras, se pone de manifiesto que los cambios de estado del agua, esencia de la operación, no suponen más del 27% del consumo global, en tanto que la desorción del agua residual, etapa marcadamente térmica, representa prácticamente el 50% del consumo energético total. (Rodríguez, 2002, p. 208)

1.3.6. Fases de la liofilización

El proceso de liofilización se desarrolla en tres fases:

1. La fase de precongelación hasta la temperatura en la que el material está completamente sólido, que será inferior a 0°C. (Casp y Abril, 2003, p. 387 - 388)

2. La fase de sublimación propiamente dicha, también llamada "desecación primaria”, en la que se elimina alrededor del 90% del agua, lo que lleva al producto a una humedad del orden del 15%. Se elimina el hielo libre. (Casp y Abril, 2003, p. 387 - 388)
3. La fase de “desorción” o “desecación secundaria”, que elimina el 10% de agua ligada restante, con lo que se puede llegar hasta productos de una humedad del 2%. Esta fase consiste en una vaporización a vacío, a una temperatura positiva de 20 a 60°C. (Casp y Abril, 2003, p. 387 - 388)

En la figura 5 se representa, sobre el diagrama de fases, la comparación de los procesos que tienen lugar en el secado evaporativo y en la liofilización. En el secado evaporativo el agua en el punto A es calentada hasta alcanzar el equilibrio con su presión de vapor en B. En este punto si se suministra la energía correspondiente al calor latente de vaporización, se produce el paso de líquido a vapor. En el secado por liofilización, el agua en el punto A se enfría hasta un punto inferior al de congelación D. Cuando el agua está completamente congelada, se reduce la presión, se hace vacío, hasta el punto E, consiguiendo una presión absoluta inferior a la presión de vapor del hielo. Por último, con el suministro del calor latente de cristalización y evaporación, el hielo se sublima a vapor de agua, a temperatura constante. (Casp y Abril, 2003, p. 387 - 388)

Como los constituyentes del material están congelados, permanecen inmovilizados durante la sublimación. La forma de la sustancia seca es prácticamente la misma que la de la congelada y se reduce o incluso se elimina la migración de sólidos hacia la superficie. Como el secado por liofilización tiene lugar a baja temperatura, se minimizan los daños por calor y se retienen los componentes volátiles. En la figura 6 se muestran los rangos típicos de temperatura para tres métodos de secado. (Casp y Abril, 2003, p. 387 - 388)

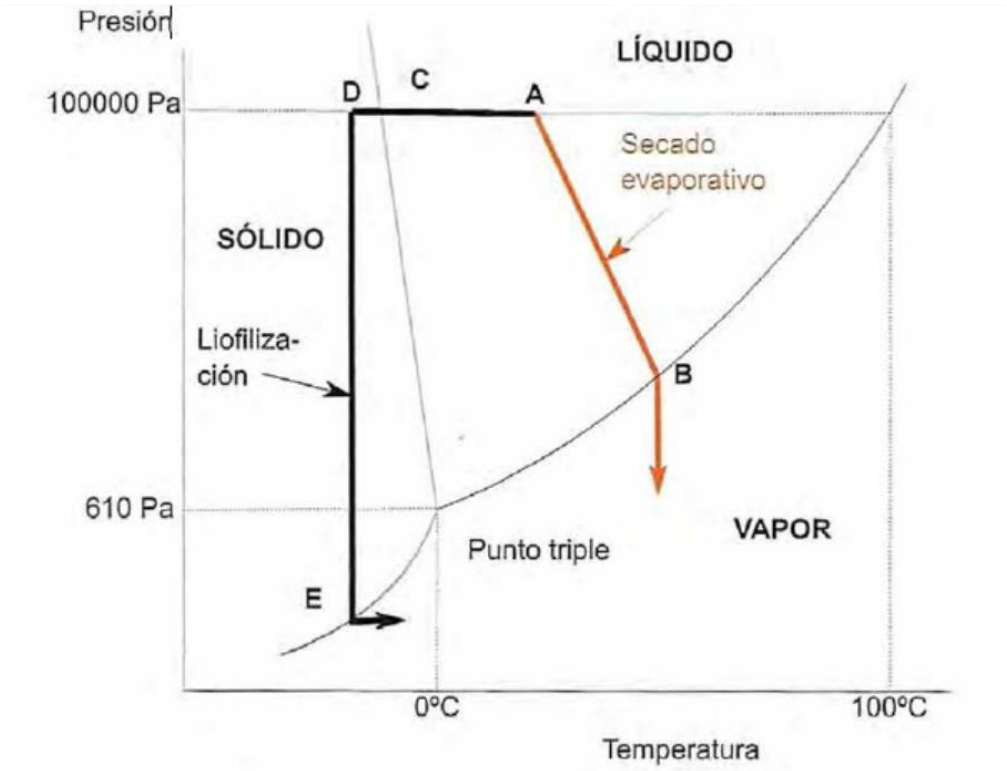


Figura 5. (Casp y Abril, 2003, p.389) Comparación del secado evaporativo y la liofilización.

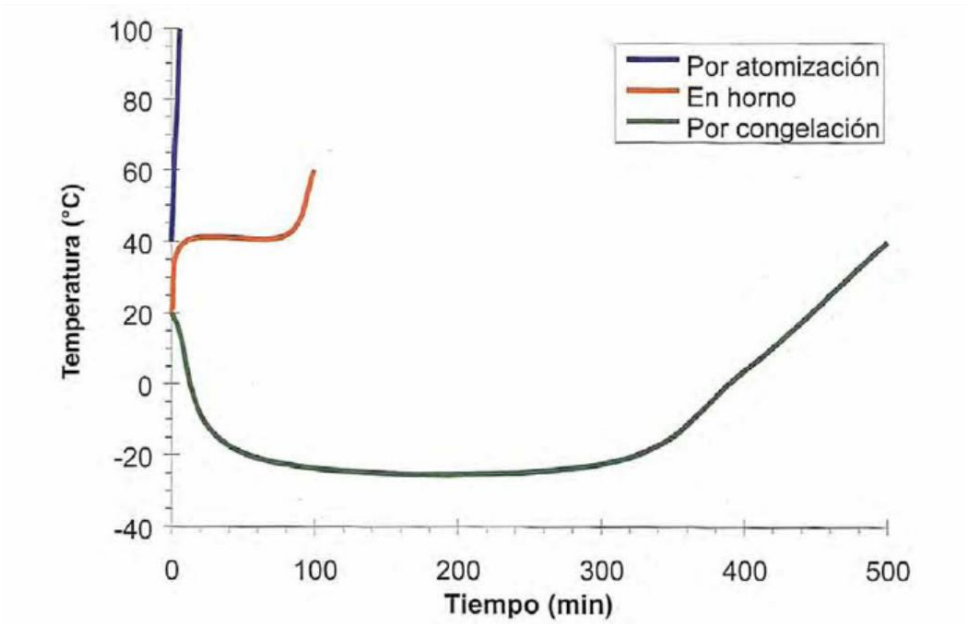


Figura 6. (Casp y Abril, 2003, p.389) Exposición de tiempo y temperatura para tres métodos de secado.

El secado por atomización requiere exposiciones a temperaturas de más de 100°C durante periodos de segundos, el secado en homo requiere temperaturas típicas de 60°C durante

periodos de minutos, y la liofilización expone el material a temperaturas por debajo de 0°C durante periodos de horas. (Casp y Abril, 2003, p. 390)

Por otra parte, como los cristales sublimados de hielo dejan cavidades, el material seco contiene miles de intersticios por los que el agua puede penetrar produciendo una rápida y completa rehidratación, cuando sea necesaria. (Casp y Abril, 2003, p. 390)

1.3.7. Ciclo de liofilización

La liofilización es una operación esencialmente cíclica, que se desarrolla siguiendo una serie de etapas. Es importante la selección y preparación del alimento antes de su secado por congelación, sólo pueden utilizarse materias primas de calidad. También es importante el almacenamiento del producto liofilizado, antes de su rehidratación y uso. En la figura 7 aparecen las diferentes etapas del proceso, desde la preparación inicial del producto hasta su reconstitución y uso. En las etapas específicas del proceso de liofilización, se indica la variación de la temperatura durante el ciclo típico. (Casp y Abril, 2003, p. 390)

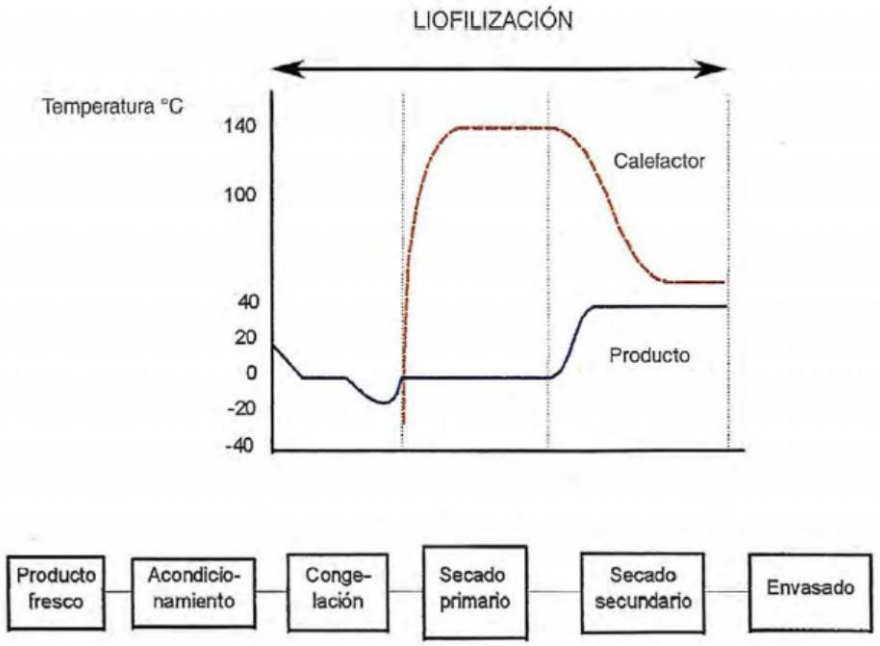


Figura 7. (Casp y Abril, 2003, p.390) Etapas del secado por liofilización

1.3.7.1. Acondicionamiento de la materia prima

La liofilización es un proceso caro, con el que se obtienen productos de alto valor añadido, por lo tanto, es de importancia fundamental el seleccionar materias primas de calidad y aplicarles unos tratamientos previos adecuados que consigan mantener dicha calidad. (Casp y Abril, 2003, p. 391)

Los tratamientos más comunes, antes de liofilizar productos sólidos, son los siguientes:

- **Selección:** debe hacerse una selección cuidadosa, en la que se elimine la materia prima dañada, sobremadura, o con aspecto o color inadecuados. (Casp y Abril, 2003, p. 391)
- **Limpieza:** Eliminación de todos los residuos adheridos, cuerpos extraños, etc. Normalmente se realiza un lavado. (Casp y Abril, 2003, p. 391)
- **Inactivación de enzimas:** para evitar pardeamientos enzimáticos. Puede hacerse por un procedimiento térmico (escaldado) o químico. Entre los sistemas químicos más difundidos están los tratamientos con ácido ascórbico, ácido cítrico y el sulfitado (adición de SO,), que también inhiben las reacciones de pardeamiento no enzimático. (Casp y Abril, 2003, p. 391)
- **Preparación del producto:** se puede hacer un troceado o pinchado del mismo, con lo cual se favorecerá el efecto de la sublimación y la rehidratación posterior. (Casp y Abril, 2003, p. 391)

En el caso de productos líquidos: extractos de café, zumos de frutas, etc. será necesario, para reducir el costo del proceso, hacer que la cantidad de agua a eliminar sea mínima, es decir efectuar una preconcentración. (Casp y Abril, 2003, p. 391)

1.3.8. Almacenamiento después del secado

El contenido residual de humedad del material seco es un factor crítico que afecta a su vida durante el almacenamiento. Muchos materiales liofilizados son higroscópicos por lo que deben envasarse en condiciones de mínima humedad, y además pueden ser sensibles a la oxidación. Por lo tanto, los productos liofilizados se deben envasar manteniendo el vacío o romperlo en atmósfera de nitrógeno o de anhídrido carbónico secos. En este último caso, tanto el transporte a la envasadora como el pesado y el propio envasado, debe hacerse en atmósfera de gas protector. (Casp y Abril, 2003, p. 396)

Los envases utilizados deben cumplir las mismas exigencias que los utilizados para los demás productos deshidratados: ser impermeables al vapor de agua y al oxígeno y proteger al producto frente a daños mecánicos. (Casp y Abril, 2003, p. 396)

1.3.9. Rehidratación y usos

El método de rehidratación afecta a la calidad final percibida de algunos alimentos, especialmente carnes crudas, que pueden requerir la adición de algún ablandador enzimático. (Casp y Abril, 2003, p. 396)

1.3.10. Transferencia de calor y transferencia de masa

Los perfiles de temperatura y humedad dentro del alimento durante la liofilización dependen de los coeficientes de transmisión de calor y de masa. El calor debe transferirse desde el producto al frente de sublimación, que es la línea que indica el límite entre el producto congelado y el producto seco. Dependiendo de la fuente de calor, la transferencia de calor puede tener lugar a través de la capa congelada, a través de la capa deshidratada o a través de ambas. Cuando se produce la sublimación del hielo, el vapor de agua toma el camino hacia la superficie por algún mecanismo de transferencia de masa, lo cual depende, como se ha indicado

antes, de la estructura del producto deshidratado por congelación. (Casp y Abril, 2003, p. 396-397)

Una de las formas más comunes de realizar la liofilización es colocar el alimento, sea líquido o sólido, sobre una bandeja a través de la cual se transfiere el calor. Para suplementar la transferencia de calor, se coloca a menudo una fuente de radiación sobre el producto, en una disposición similar a la indicada en la figura 6. De esta forma, la transferencia de calor se produce a través de la capa congelada por conducción desde la placa hacia el fondo del alimento y por radiación en la parte superior, como se ha indicado antes. El calor debe entonces ser conducido a través de la capa deshidratada hacia el frente de sublimación. La transferencia de masa se produce desde el frente de sublimación, a través del producto seco, hacia la superficie donde el vapor es eliminado por el vacío. La estructura del producto seco determina, en gran medida, la cantidad de humedad transferida durante la liofilización. (Casp y Abril, 2003, p. 396-397)

La estimación de los tiempos de secado durante la liofilización se ha basado sobre predicciones de los coeficientes de transmisión de calor y de masa bajo condiciones simplificadas, sin embargo, a pesar de todo, las ecuaciones de estas estimaciones son muy complejas. (Casp y Abril, 2003, p. 396-397)

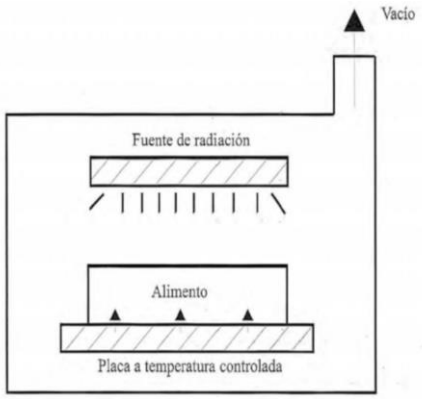


Figura 8. (Casp y Abril, 2003, p.397) Distribución de un liofilizador que utilizo transmisión de calor por conducción y por radiación.

1.4. Marco conceptual

1.4.1. Actividad de agua:

Es la cantidad de agua disponible para la actividad microbiana, bioquímica o enzimática. La reducción del contenido de agua del alimento, que implica una disminución paralela de su actividad de agua, justifica el desarrollo y empleo de procesos de deshidratación tales corno el secado, la evaporación, la liofilización o la concentración por congelación. La actividad de agua se define como el cociente entre la presión de vapor del agua en el alimento y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. (Rodríguez, 2002, p. 154)

1.4.2. Calor latente:

En evaporación, calor necesario para evaporar el disolvente de la disolución hasta alcanzar el grado de concentración requerido (Rodríguez, 2002, p. 201).

1.4.3. Calor sensible:

En evaporación, calor necesario para alcanzar la temperatura de ebullición de la disolución (Rodríguez, 2002, p. 201).

1.4.4. Fracción o capa seca:

Parte liofilizada del alimento en un momento dado. Aumenta progresivamente con el tiempo de operación (Rodríguez, 2002, p. 201).

1.4.5. Frente de hielo

Punto o puntos del alimento desde donde se sublima el hielo durante su liofilización. Dicho frente se desplaza hacia el interior de la pieza conforme avanza la operación (Rodríguez, 2002, p. 201).

1.4.6. Humedad

La humedad indica la cantidad de agua presente en una muestra. Puede expresarse en base seca o en base húmeda (Singh y Heldman, 2009, p. 14).

1.4.7. Liofilización:

La liofilización, también llamada criodeshidratación o secado en estado congelado, es otra de las técnicas de conservación de alimentos por reducción de su actividad de agua. Destaca frente a las restantes por respetar en grado sumo las propiedades organolépticas y nutritivas del alimento procesado. Otra ventaja asociada a esta técnica es la porosidad del producto tratado, que le confiere una muy buena rehidratabilidad, (Rodríguez, 2002, p. 202)

1.4.8. Rehidratabilidad de un alimento:

Capacidad de rehidratación de un alimento previamente desecado. Esta propiedad mide el grado y velocidad con que el producto adquiere agua hasta alcanzar un contenido próximo al de su estado original. Depende del tipo y condiciones de la técnica de deshidratación utilizada (Rodríguez, 2002, p. 201).

1.4.9. Sublimación

El agua del producto pasa, por tanto, directamente del estado sólido al estado de vapor, sin pasar por el estado líquido (Casp, A. y Abril, J. 2003, p. 385).

1.4.10. Pitahaya amarilla

La pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus) es un fruto exótico apetecido no sólo por su agradable sabor sino también por su exuberante color y forma (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 112).

Capitulo II

Desarrollo o contenido

2.1. Desarrollo del tema

El proceso de liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos que permite prolongar el tiempo de vida útil conservando las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con la calidad. Consiste en la eliminación del agua de un producto por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones remanentes de agua no congelable. La sublimación ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua. La liofilización se considera uno de los mejores métodos de conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos. Los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo. La porosidad influye fuertemente en la capacidad de rehidratación de los vegetales deshidratados; a mayor porosidad mayor capacidad de rehidratación. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 121),

La capacidad de rehidratación se puede considerar como una medida del daño estructural o celular ocurrido durante el secado o la deshidratación del alimento. En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 121).

Como pretratamiento en diferentes métodos de conservación de materiales biológicos se ha empleado con éxito la deshidratación osmótica (DO), para mejorar propiedades físicas, fisicoquímicas y nutricionales relacionadas con la calidad del producto final, y reducir el tiempo de proceso y el ahorro energético. La DO consiste en extraer agua de un producto que

se sumerge en una solución osmótica (SO) hipertónica, durante un tiempo y en una temperatura específicos. Se ha utilizado ampliamente como pretratamiento el secado con aire, la pasteurización, la congelación, la fritura, y el microondas; sin embargo, en la literatura científica no se encuentra la DO como pretratamiento a la liofilización. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 121),

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Material biológico

Se emplearon pitahayas amarillas (Selenicereus megalanthus), en estado de madurez 4 o 5 según la norma NTC 3554.

2.2.2. Método

El primer paso a seguir en la metodología de liofilización es reconocer las propiedades del producto que se va a tratar, relacionadas con su naturaleza física y química a fin de establecer límites en cuanto a color y conductividad entre otros, Así mismo se hace necesario determinar el porcentaje de agua contenida en el producto previa congelación a razón de la formación de cristales durante el proceso. De igual manera se requiere determinar el grado de cristalización y la conductividad del hielo; durante el procedimiento en el cambio de fases se debe inspeccionar y relacionar que tan homogéneos o no se hayan los componentes de la muestra y cuáles son las variables de estado intensivas. (Lopez, M. 2016, p. 5)

Por lo anterior, se hace necesario desarrollar los siguientes análisis a fin de garantizar un proceso de liofilización exitoso: (Lopez, M. 2016, p. 5)

- **Análisis de las características de textura y propiedades de producto a obtener**: Determinar el prototipo del producto final basado en el estado inicial de la materia prima. (Lopez, M. 2016, p. 5)

- **Análisis de congelación a emplear:** determinar si la fruta se congelara mediante corrientes de aire o por contacto con superficies frías. (Lopez, M. 2016, p. 5)
- **Análisis térmico:** Se realiza como finalidad de establecer una relación entre la temperatura y las propiedades físicas de la muestra**.** (Lopez, M. 2016, p. 5)
- **Análisis térmico diferencial:** Es una técnica cualitativa que indica la temperatura a la cual tiene lugar el cambio energético en estudio y si el proceso es endotérmico o exotérmico. (Lopez, M. 2016, p. 5)
- **Análisis de la tecnología de vacío a aplicar:** Generalmente en el proceso de liofilización se aplica la técnica de secado al vacío. (Lopez, M. 2016, p. 5)

Una vez determinados los parámetros anteriores se da inicio al proceso de liofilización el cual se distribuye en 3 fases y una cuarta que tiene que tiene relación al almacenamiento del producto: (Lopez, M. 2016, p. 5)

- Congelación
- Secado primario por sublimación (cambiar estado congelado del producto al gaseoso sin pasar por el estado líquido).
- Secado secundario por sublimación. (Lopez, M. 2016, p. 5)

2.2.2.1. Congelación:

El producto debe congelarse de modo tal que se pruebe que durante el posterior proceso (sublimación) las alteraciones del mismo serán mínimas. Por ello se debe determinar la velocidad óptima de enfriamiento que coincide con la temperatura a la que ocurre el punto máximo de solidificación cita que con esto lo que se busca es evitar que dentro de la estructura sólida del producto después de congelado se halle líquido en su interior lo cual obstaculizaría una fase de sublimación correcta y no se garantiza que el producto pase del estado sólido al

gaseoso omitiendo el estado líquido. En esta fase corresponde lograr la cristalización del contenido del agua que posee el mismo. (Lopez, M. 2016, p. 6)

2.2.2.2. Secado Primario:

Terminada la fase anterior, el producto se introduce en las bandejas de la cámara hermética del liofilizador, en el cual se da inicio al secado primario donde se extrae la mayor parte del agua, proceso denominado etapa conductiva, corresponde al calentamiento de la muestra que presenta como característica principal el incremento considerable de la velocidad de sublimación hasta alcanzar el punto máximo de la fase; toma un total del 10-15% del tiempo total de proceso; a esta fase le corresponde también una disminución de la velocidad en la sublimación por dos razones, la primera es que durante el desarrollo del proceso se le atribuye al producto como condición directa, la formación de una capa porosa seca por el calor suministrado que opone resistencia a recibir mayor calor; la segunda razón está atribuida al vapor generado en el momento en que se comienza a derretir el hielo con el suministro de calor, a esta etapa se le conoce con el nombre de difusión. Durante este proceso mediante el control del calor suministrado se procura que la muestra se conserve siempre en estado sólido-gaseoso, lo cual garantiza la conservación de las propiedades de composición iniciales y que pueda regresar a su estado de origen si se decide rehidratarlo. “El proceso de secado se debe realizar cuidadosamente de modo tal que se garantice que la humedad del producto final sea menor al 5% en peso, de lo contrario puede suceder que el producto se degrade durante su almacenamiento”. (Lopez, M. 2016, p. 6)

2.2.2.3. Secado Secundario:

El secado secundario por sublimación se le conoce como etapa de difusión (paso de hielo a vapor), en este proceso la velocidad continúa disminuyendo y su valor se aproxima al punto cero; la razón por la cual la velocidad continúa decreciendo es directa a la mayor intensidad de

calor que se debe suministrar a fin de remover la cantidad de agua que se encuentra adherida al producto. El almacenamiento del producto se debe emplear a bajas temperaturas que garantizan la conservación de las propiedades iniciales en estado fresco de la muestra. Por su parte, el empaque debe ser impermeable al oxigeno por tanto se aplica tecnología de empaque al vacío. (Lopez, M. 2016, p. 7)

El proceso de liofilización representa una extracción en promedio del 97% del contenido de agua señalando una media de 10 veces mayor contenido de producto almacenado y transportado frente a las mismas condiciones de espacio de almacenamiento y transporte de productos no liofilizados. (Lopez, M. 2016, p. 7)

2.3. Ventajas de la liofilización

La liofilización presenta una serie de ventajas frente a otras técnicas de secado, en particular la estructura original del alimento se mantiene mejor y la retención de aromas y nutrientes es excelente. La textura es aceptable, especialmente con vegetales. Los productos liofílizados presentan una mayor calidad que los mismos productos deshidratados por otros métodos. Los alimentos liofílizados pueden ser almacenados a temperatura ambiente durante largos periodos y su rehidratación es fácil. Sin embargo, los costes de la liofilización son usualmente prohibitivos para aplicaciones ordinarias: son aproximadamente el doble que en el secado en cinta a vacío y casi cinco veces los de la atomización. La liofilización es un proceso caro, tanto en términos de inversión como en costes de operación y también en tiempo de proceso. No obstante, dichos costes pueden ser asumidos por la ventaja que supone la alta calidad de los productos obtenidos. (Casp, A. y Abril, J. 2003, p. 386 - 387)

La liofilización se aplica por tanto únicamente a productos de precio alto. Su uso está prácticamente restringido a té y café instantáneos, usos militares, montañismo, etc. Es típico el café liofilizado. para el que se utilizan sólo variedades aromáticas, que no soportan tratamientos

enérgicos como los que se dan en la atomización. El café atomizado procede de variedades sin aroma. También se liofilizan productos como los champiñones destinados a las sopas deshidratadas, o bien frutas como las fresas, blandas y frágiles y con colores y sabores delicados. Las fresas deshidratadas por cualquier otro procedimiento, cuando se reconstituyen tienen la apariencia de una mermelada. (Casp, A. y Abril, J. 2003, p. 386 - 387)

La liofilización presenta una serie de ventajas, entre las cuales se citan las siguientes:

- La temperatura de trabajo es muy baja y por lo tanto los productos termolábiles no se alteran.
- No existe peligro de oxidación.
- No hay agua libre, por tanto, no hay peligro de hidrólisis ni de crecimiento microbiano.
- Al evaporarse el hielo, quedan poros que permiten una rehidratación o reconstitución rápida.
- La humedad residual es baja.
- La duración de la conservación es larga.
- La retención de aromas es muy alta.
- Son productos de peso ligero que no necesitan cadenas de refrigeración para su distribución.

Pero también presenta algunos inconvenientes: (Casp, A. y Abril, J. 2003, p. 386 - 387)

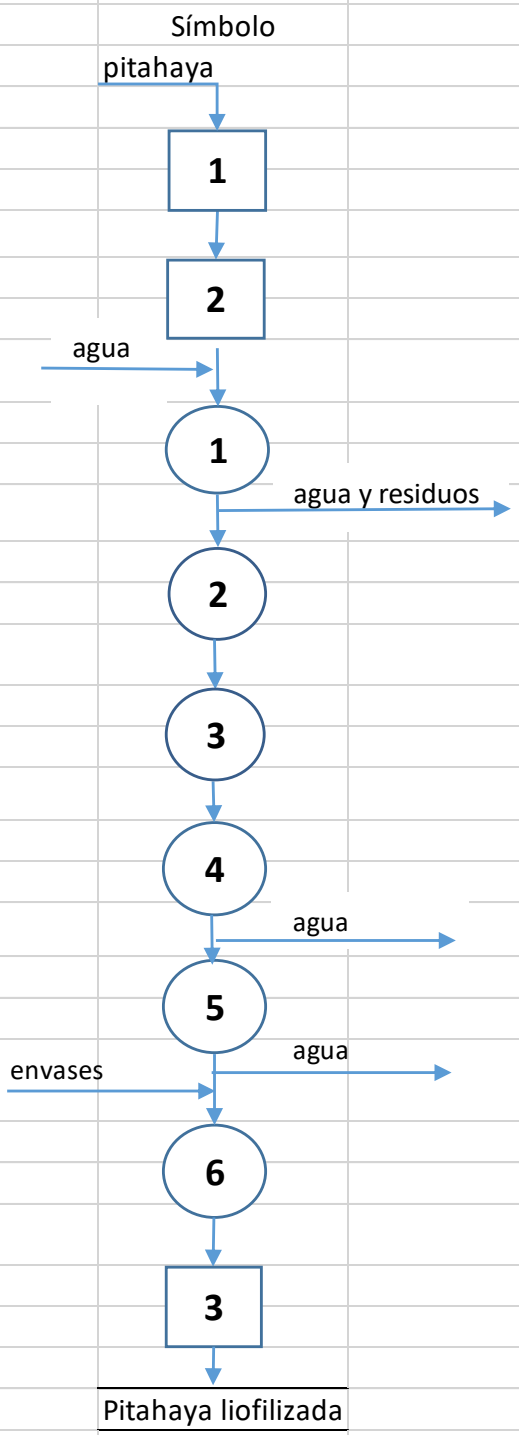
- Gran inversión en equipamiento (alrededor de tres veces el de los otros métodos).
- Altos costes de energía (también alrededor de tres veces el de los otros métodos).
- Proceso lento y largo (entre 4 y 10 horas por ciclo de secado).
- Posibles daños a productos, debido al cambio de pH que se produce cuando se concentran los solutos, como consecuencia de que el agua pura se convierte en hielo.

La liofilización es útil cuando se cumplen en el producto uno o más de los siguientes requisitos:

- Es inestable.
- Es sensible al calor.
- Cuando se requiere una rápida y completa rehidratación.
- Presenta un valor alto.
- Debe minimizarse su peso.
- No es aconsejable su almacenamiento en refrigeración o en congelación. (Casp, A. y Abril, J. 2003, p. 386 - 387)

2.4. Diagrama de procesos de operación

Concepto diagramado: Liofilización de la pitahaya amarilla	Diagrama de método: actual
Diagrama N° : 1	Fecha: 25/02/19
Diagramado por : Br. Navarrete Roca Ilan Jesús	



Resumen	
evento	Numero
operación	6
inspección	3

2.5. Descripción del diagrama de procesos de operación de la Liofilización de la pitahaya amarilla

2.5.1. Recepción e Inspección

Las condiciones de recepción de la materia prima deben evitar la contaminación o daños físicos, requiere inspección previa al uso y análisis fisicoquímico como microbiológico (este último cuando se requiera). (Lopez, M. 2016, p. 9)

2.5.2. Selección y clasificación

En esta actividad del proceso se verifica el estado de la materia prima de modo tal que se encuentre dentro de los parámetros establecidos en la anterior, de lo contrario es removida si presenta oxidación a causa de microorganismos bacterianos que habitan en su superficie o en el interior. (Lopez, M. 2016, p. 10)

La fruta debe tener una madurez adecuada. en estado de madurez 4 o 5 según la norma NTC 3554. Si es muy madura la fruta es muy blanda y si es muy inmadura no reúne las características organolépticas necesarias, se sugiere que el tamaño de la fruta sea uniforme para obtener un liofilizado homogéneo.

2.5.3. Lavado

Corresponde realizar la remoción de rastros de agentes contaminantes a causa del almacenaje y transporte para ello es introducida en el lavador de fruta, el cual ha sido previamente lavado y desinfectado. (Lopez, M. 2016, p. 10)

2.5.4. Acondicionado

Se puede realizar una **Inactivación de enzimas***:* para evitar pardeamientos enzimáticos. Puede hacerse por un procedimiento térmico (escaldado) o químico. Entre los sistemas químicos más difundidos están los tratamientos con ácido ascórbico, ácido cítrico y el sulfitado

(adición de SO,) como son los meta bisulfito de sodio o de potasio, que también inhiben las reacciones de pardeamiento no enzimático, claro que estas deben ser dosificadas correctamentes ya que tienes respuestas negativas en altas dosis y si son usadas debe indicarse en la etiqueta ya que los sulfitos son alérgenos.

Se puede hacer un troceado o un troquelado incluso cortarlo en pequeñas laminas donde la materia prima pasa por la troqueladora a fin de obtener un producto uniforme en cuanto a su tamaño se refiere, el grosor de la lamina va a determinar el tiempo de la sublimación

Por ejemplo, las pitahayas se cortaron en rodajas laminares de 40 mm de diámetro y 5 mm de altura

2.5.5. Congelado

Una vez la materia prima se encuentra en óptimas condiciones de limpieza y tamaño, es llevada al cuarto frio o congelador a fin de obtener la mayor cristalización posible del agua contenida en su interior. (Lopez, M. 2016, p. 11)

2.5.6. Primer secado

Una vez congelado el producto, se pasa a la cámara donde tendrá lugar el proceso de sublimación del agua. Es decir, después de la formación de los cristales, se produce una sublimación del hielo formado, controlando el nivel de vacío en el liofilizador y con un cuidadoso aporte de calor. Es necesario un vacío elevado (baja presión absoluta) en el liofilizador para favorecer la sublimación, cuando la presión de vapor sobre el hielo disminuye, lo hace también la temperatura y son necesarias presiones bajas para que se sublime el hielo. Normalmente se requieren presiones de alrededor de 130-260 Pa para la liofilización de los alimentos. (Casp y Abril, 2003, p.392)

2.5.7. Segundo secado

Es la eliminación del agua ligada, que puede ser agua de cristalización, agua dispersada al azar en un material vitreo, agua intracelular o agua absorbida. Cuando el agua que estaba en forma de hielo se ha eliminado por sublimación, aún queda el agua ligada que hay que eliminar. Para eliminar esta agua, se realiza una evaporación bajo vacío, manteniendo la misma presión, o menor, que durante la desecación primaria y elevando la temperatura del producto desde 20 hasta 60°C según la naturaleza del alimento. (Casp y Abril, 2003, p.394)

2.5.8. Envasado

Deben envasarse en condiciones de mínima humedad, y además pueden ser sensibles a la oxidación. Por lo tanto, los productos liofilizados se deben envasar manteniendo el vacío o romperlo en atmósfera de nitrógeno o de anhídrido carbónico secos. En este último caso, tanto el transporte a la envasadora como el pesado y el propio envasado, debe hacerse en atmósfera de gas protector. Los envases utilizados deben cumplir las mismas exigencias que los utilizados para los demás productos deshidratados: ser impermeables al vapor de agua y al oxígeno y proteger al producto frente a daños mecánicos. (Lopez, M. 2016, p. 10)

2.5.9. Inspeccionado

En esta etapa se realiza controles de calidad posteriores al proceso de liofilización, características tales como humedad del producto frente al peso, evaluación del color, sabor y aroma de una muestra representativa del lote. (Lopez, M. 2016, p. 11)

2.6. Deshidratación osmótica como pretratamiento

Como pretratamiento en diferentes métodos de conservación de materiales biológicos se ha empleado con éxito la deshidratación osmótica (DO), para mejorar propiedades físicas, fisicoquímicas y nutricionales relacionadas con la calidad del producto final, y reducir el tiempo de proceso y el ahorro energético. La DO consiste en extraer agua de un producto que se sumerge en una solución osmótica (SO) hipertónica, durante un tiempo y en una temperatura específicos. Se ha utilizado ampliamente como pretratamiento el secado con aire, la pasteurización, la congelación, la fritura, y el microondas; sin embargo, en la literatura científica no se encuentra la DO como pretratamiento a la liofilización. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 122).

2.6.1. Metodología

Las frutas se lavaron, se pelaron y se cortaron en rodajas de 40 mm de diámetro y 5 mm de altura. En el tratamiento de liofilización (LF) se emplearon muestras frescas (sin pretratamiento), mientras que en el tratamiento de osmoliofilización (OLF), las muestras previamente se sometieron a un pretratamiento osmótico. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 122).

2.6.1.1. Pretratamiento osmótico.

Las rodajas se deshidrataron en soluciones osmóticas de sacarosa comercial con 55 ºBrix durante 35 min a 25ºC. Se empleó un volumen de solución osmótica de 5 L, con una relación muestra-solución de 1:20. La solución osmótica se agitó a 240 rpm empleando un agitador mecánico. Transcurridos los 35 min las rodajas se retiraron de la solución, se lavaron inmediatamente con agua destilada para retirar la sacarosa remanente en la superficie y se sometieron al proceso de liofilización. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 122).

2.6.1.2. Liofilización

Las rodajas de pitahaya fresca (PF) y osmodeshidratadas (PDO) se colocaron en un liofilizador de bandejas (Labconco, 6 L, USA) y se congelaron a -35ºC. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 123).

Una vez congeladas las muestras de los dos tratamientos se aplicó una presión de vacío de 8 Pa para el proceso de sublimación. El calor de sublimación fue suministrado por 3 placas localizadas dentro de la cámara del liofilizador. Para determinar las curvas de secado las muestras se calentaron desde -35 hasta 35ºC y se registraron las variaciones de humedad. El tiempo del proceso de secado para los tratamientos liofilizados y osmoliofilizados fue de 12 h. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 123).

Para evaluar el contenido de humedad (curvas de secado), actividad de agua (aw) y porosidad (ε) se tomaron muestras en diferentes tiempos de secado (3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12h). Los cambios de volumen (DV) se midieron en la fruta fresca (tiempo cero) y en la fruta seca (al final del proceso, 12 h). La capacidad de rehidratación de las muestras LF y OLF se estimó mediante la inmersión de las muestras en recipientes de vidrio, cada uno con 80 mL de agua destilada a 25ºC. La relación en peso de muestra - agua destilada fue de 1:15. Se retiraron muestras de los recipientes en diferentes tiempos hasta alcanzar 180 min, se secaron con papel absorbente y se calculó su peso y su contenido de humedad (base seca). (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 123).

2.6.2. Resultados

Las muestras de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) fresca presentaron un contenido de humedad promedio de 3,393 ± 0,0034 (Kg agua/Kg m.s) y 19,23 ºBrix, mientras que las muestras deshidratadas osmóticamente obtuvieron 2,685 ± 0,0041 (Kg agua/ Kg m.s) y 24,51 ºBrix. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 123).

2.6.3. conclusión del pretratamiento con deshidratación osmótica

El autor nos indica lo siguiente, que la liofilización es un método adecuado para la conservación de rodajas de pitahaya, ya que posibilita reducir la actividad de agua por debajo de 0,4; conservando significativamente el volumen, aumentando la porosidad, y permitiendo una rehidratabilidad aproximada a su contenido inicial de humedad. La aplicación de un pretratamiento osmótico a la liofilización de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*), empleando soluciones de sacarosa con 55 ºBrix, no es adecuada porque produce encogimiento de la fruta, baja capacidad de rehidratación, no influye significativamente en la pérdida de agua, y, en consecuencia, no reduce el tiempo de secado. (Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., 2010, p. 126).

2.7. Temperatura y grosor en el liofilizado de pitahaya

El autor de esta investigación realizó 4 repeticiones por el método de liofilización a diferentes variables como temperatura previa el tratamiento de liofilización (Tc) y grosor de corte (g) en rodajas, a estas repeticiones se asignaron códigos para poder identificarlos. (Pasquel, E. 2016, p. 31).

Tabla 2.

Variables y repeticiones del tratamiento de liofilización

Liofilización							
L1		L2		L3		L4	
Tc	g	Tc	G	Tc	G	Tc	G
-10	5 mm	-20° C	5 mm	-10° C	10 mm	-20° C	10 mm

Nota: A cada repetición se asignó la letra L y un número diferente, para identificar las repeticiones que se evaluaron (Pasquel, E. 2016, p. 31).

Tabla 3.

Valor nutricional pitahaya deshidratada por liofilización

	Código	Humedad (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)	Vit. C (mg)
Liofilización	L1	9,88	2,21	3,66	21,16	4,85
	L2	10,11	1,99	1,26	30,73	4,95
	L3	10,50	2,51	2,07	21,08	5,01
	L4	14,38	2,82	1,23	28,26	5,04

Nota: Se Identifica las cantidades de los análisis fisicoquímicos en porcentaje excepto vitamina C que está en partes por millón (Pasquel, E. 2016, p. 49).

En la cual se concluye que el mejor grosr al momento de laminar la pitahaya es 5mm. Y la temperatura optima -20°, ya que con estos parámetros se obtuvieron mejores resultados.

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

En esta investigación el autor nos señala lo siguiente que 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. (Huayama, P. 2013, p. 4)

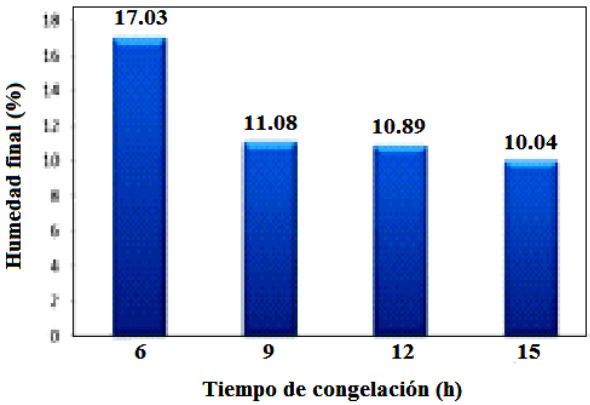


Figura 9. (Huayama, P. 2013, p. 4) Contenido de humedad de la pitahaya liofilizada.

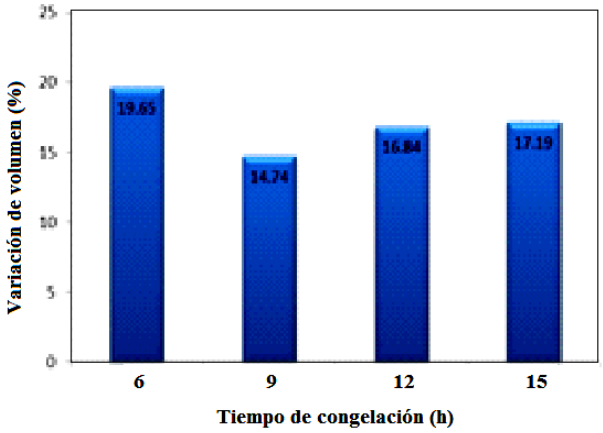


Figura 10. (Huayama, P. 2013, p. 5) Variación de volumen de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados.

Tabla 4.

Capacidad de rehidratación de la pitahaya 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

Recuperado de (Huayama, P. 2013, p. 5)

Conclusiones previas.

El tiempo optimo 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. (Huayama, P. 2013, p. 32)

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. (Huayama, P. 2013, p. 32)

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 %. (Huayama, P. 2013, p. 32)

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. (Huayama, P. 2013, p. 32)

Por lo tanto, podemos concluir que una liofilización obtima en la pitahaya se da a una temperatura de -10° C por un lapso de 9 horas donde se conserva su estructura y su rehidratación es alta.

2.8.Opinión critica

El proceso de liofilización para deshidratar alimentos es uno de los procesos mas costosos, es por ello que solo debe utilizarse para alimentos atractivos para el mercado, como por su alta calidad, aroma, sabor y aporte nutricional.

La exportación de la pitahaya es muy baja debido que esta fruta se deteriora con facilidad y no cumple con los estándares de calidad, es por ello que la liofilización es un método para poder exportarla en otra presentación más estable, también la pitahaya tiene un gran aporte nutricional, como en fibra y vitamina C, esta última siendo conservada a través de la liofilización.

Es por ello que recomiendo liofilizar la pitahaya para darle una mayor estabilidad y conservación de nutrientes así se podrá exportar con valor agregado y llegar a otros mercados, beneficiando a los agricultores de este fruto.

2.9. Conclusiones

Se concluye que al pesar que la liofilización es un proceso costoso es favorable liofilizar la pitahaya ya que se obtiene mayores estándares de calidad y la conservación de aroma, sabor y nutrientes, es por ello que se debe liofilizar la pitahaya.

Usar una deshidratación osmótica como pretratamiento es desfavorable para la liofilización ya que se forma una costra por la sacarosa que impide la difusión del vapor y en consecuencia aumenta el tiempo de secado, maltratando al producto, también se produce un encogimiento del producto.

El grosor del corte de la pitahaya y la temperatura previa al liofilizado con mejor resultado es de 5mm. Y -20° C respectivamente, obteniendo una humedad baja y un alto contenido de vitamina C fibra y carbohidratos.

El mejor tiempo de congelación para obtener un mejor producto final en el proceso de la liofilización de la pitahaya es de 9 horas.

Por todo lo expuesto se recomienda liofilizar la pitahaya ya que tiene un gran potencial económico y sus características organolépticas y nutricionales se conservan en gran medida, lo que le hace un producto atractivo para liofilizar e ingresar al mercado internacional.

3. Referencias bibliográficas

Ayala, A., Serna, L. y Mosquera, E., (2010), Liofilización de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus). *VITAE*. *17* (2). 121-127.

Casp, A. y Abril, J. (2003). *PROCESOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa

Huayama, P. y Tirado, I. (2013), Efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus) liofilizada, *Agroindustrial Science*. *3* (1). 27-33.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC 3554. *Frutas frescas. Pitahaya amarilla.* Bogotá: ICONTEC; 1996. Pp. 1-14.

Lopez M. (2016). *Formulación del proceso de liofilización en frutas y hortalizas como valor agregado a su presentación a mercados tipo exportación*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia

Medina, P. y Mendoza, F., (2011). *Elaboración de mermelada y néctar a partir de la pulpa de pitahaya y determinación de capacidad antioxidante por el método dpph (1,1 difenil-2- picril hidrazila).* (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Montesinos, A., Rodríguez, L., Ortiz, R., Fonseca, M., Ruíz, G., y Guevara, F. (2015). Pitahaya (Hylocereus spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, *36*(Supl. 1), 67-76. Recuperado en 26 de febrero de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500007&lng=es&tlng=es.

Pasquel, E. (2016). *Evaluación de métodos de deshidratación en pitahaya (selenicereus megalanthus), para el aprovechamiento de fruta que no reúne estándares de exportación en fresca.* (tesis de pre grado) Universidad de las americas. Ecuador.

Rodríguez, F. (Ed). (2002). *Ingeniería de la industria alimentaria*. Madrid, España: EDITORIAL SÍNTESIS, S, A.

Singh, R. y Heldman, D. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos.* Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA, S.A.

4. Anexos

4.1 Anexo 1

Figura 11 Grados de maduración de la pitahaya amarilla de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana (NTC-3554).