

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA 107
DE AMAZONAS



13 MAY 2013
01 ED

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

"EFECTO DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN EN LA CAPACIDAD DE
REHIDRATACIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA (SELENICEREUS MEGALANTHUS)
LIOFILIZADA"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR:

Bach. IDELSO TIRADO URIARTE

ASESOR:

Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA

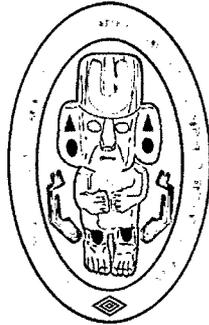
COASESOR:

Ing. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA

CHACHAPOYAS - PERÚ

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL
“TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS”



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“EFECTO DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN EN LA CAPACIDAD DE
REHIDRATACIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*)
LIOFILIZADA”

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR: Br. IDELSON TIRADO URIARTE

ASESOR: Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA

COASESOR: Ing. ERICK ALDO AUQUÍNIVIN SILVA

CHACHAPOYAS – PERÚ

2012

DEDICATORIA

A Dios y a todas las personas que me apoyaron incondicionalmente para que este trabajo de investigación se convierta en realidad.

IDELSO

AGRADECIMIENTOS

¿Cómo hace una persona para decir “muchas gracias”, cuando hay tantas personas a quien agradecer? Obviamente, este trabajo de investigación es un gracias a Dios y a mis dos bisabuelitos, que fueron poderosos modelos de rol.

Agradezco a todos los familiares y personas ajenas que me apoyaron incondicionalmente durante mi vida universitaria.

Agradezco al ing. Polito Michael y al ing. Erick Aldo, por su participación y cooperación como asesores de la tesis.

Agradezco al Técnico Ever García por brindar las facilidades en laboratorio.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D, Dr. Hab. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

Rector

Dr. ROBERTO JOSÉ NERVI CHACÓN

Vicerrector Académico (e)

Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN

Vicerrectora Administrativa (e)

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “**EFEECTO DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN EN LA CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) LIOFILIZADA**”, presentado por el tesista **TIRADO URIARTE IDELSO**, egresado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Escuela académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial. El docente UNTRM-A que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones dadas, para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 05 de noviembre de 2012



Ing. Polito Michael Huayama Soplá

Docente Auxiliar UNTRM-A

VISTO BUENO DEL COASESOR

El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la tesis titulada “**EFECTO DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN EN LA CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) LIOFILIZADA**”, presentado por el tesista **TIRADO URIARTE IDELSO**, egresado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Escuela académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial. El docente UNTRM-A que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones dadas, para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 05 de noviembre de 2012



Ing. Erick Aldo Auquiñivin Silva

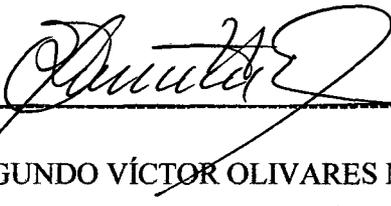
Docente Asociado UNTRM-A

VISTO BUENO DEL JURADO



M. Sc. ELENA VICTORIA TORRES MAMANI

Presidente



Ing. SEGUNDO VÍCTOR OLIVARES MUÑOZ

Secretario



Ing. HELÍ HUMBERTO AGUIRRE SAQUINAULA

Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 30 de NOVIEMBRE del año 2012, siendo las 10.00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Ing. ELENA VICTORIA TORRES MAMANI

Secretario: Ing. SEGUNDO VICTOR OLIVARES MUÑOZ

Vocal: Ing. HELI HUBERTO AGUIRRE ZAQUINALLA

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) IDELSO TIRADO UZIARTE

titulado "EFECTO DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN EN LA CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) LIOFILIZADA"

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN (X), DESAPROBACIÓN () por mayoría (), por unanimidad (X); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 11.50 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.

SECRETARIO

PRÉSIDENTE

VOCAL



Form6- T

ÍNDICE GENERAL

	Pág
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES DE LA UNTRM.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR	v
VISTO BUENO DEL COASESOR.....	vi
JURADO EVALUADOR	vii
ÍNDICE DE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Pitahaya	4
2.2. liofilización.....	4
2.2.1. Proceso de liofilización.....	6
2.2.2. Beneficios de la liofilización	10
2.3. Capacidad de rehidratación	11

III. MATERIAL Y MÉTODOS	13
3.1. Material biológico	13
3.2. Métodos experimentales	13
3.2.1. Caracterización fisicoquímica de la pitahaya amarilla.....	14
3.2.1.1. Determinación de pH	14
3.2.1.2. Determinación de acidez titulable.....	14
3.2.1.3. Determinación de sólidos solubles totales (°Brix).....	14
3.2.1.4. Determinación de índice de madurez.....	14
3.2.1.5. Determinación de humedad	15
3.2.2. Obtención de pitahaya liofilizada.....	15
3.2.3. Determinación del efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) liofilizada.	18
3.2.4. Evaluación sensorial de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus</i> <i>megalanthus</i>) liofilizada	19
IV. RESULTADOS	20
4.1. Materia prima	20
4.1. Producto en proceso	20
4.1.1. Perfil de temperatura durante el proceso de liofilización	20
4.1.2. Variación de humedad	21
4.1.3. Variación de volumen	22
4.1.4. Efecto de los tratamientos estudiados en la capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada.....	23

V. DISCUSIONES	30
VI. CONCLUSIONES	34
VII. RECOMENDACIONES	35
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXOS	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición nutricional de pitahaya.	4
Tabla 2. Características físicoquímicas de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>).	20
Tabla 3. Cambios de humedad de la pitahaya amarilla liofilizada.....	21
Tabla 4. Cambios de volumen de la pitahaya amarilla liofilizada.....	22
Tabla 5. Capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada (Kg agua/Kg m.s).....	23
Tabla 6. Resultados de evaluación sensorial para determinar el color de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada	27
Tabla 7. Resultados de evaluación sensorial para determinar el sabor de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada.	28
Tabla 8. Resultados de evaluación sensorial para determinar la textura de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada	29

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de fases de agua pura.....	5
Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de pitahaya amarilla liofilizada	17
Figura 3. Evolución de la temperatura de pitahaya en el proceso de liofilización	20
Figura 4. Contenido promedio de humedad de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados	21
Figura 5. Variación de volumen de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados	22
Figura 6. % de capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos.....	23
Figura 7. Efecto del tiempo de congelación sobre la capacidad de rehidratación con medio de inmersión a 20 °C	24
Figura 8. Variación de la capacidad de rehidratación para los 4 tratamientos	25

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	56
Fotografía 2. Lavado de la pitahaya	56
Fotografía 3. Pelado de la pitahaya	57
Fotografía 4. Cortado de la pitahaya	57
Fotografía 5. Rodajas de pitahaya	58
Fotografía 6. Congelación de la pitahaya	58
Fotografía 7. Liofilización de la pitahaya.....	59
Fotografía 8. Empacado al vacío de la pitahaya liofilizada.....	59
Fotografía 9. Capacidad de rehidratación.....	60
Fotografía 10. Evaluación sensorial de la pitahaya liofilizada	61

RESUMEN

La liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de los alimentos, la cual permite prolongar el tiempo de vida útil del producto manteniendo significativamente las propiedades fisicoquímicas relacionadas con su calidad. En la investigación se determinó el efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) liofilizada, se realizaron pruebas fisicoquímicas a la pulpa de pitahaya amarilla previa a los procesos de congelación y liofilización. Posteriormente las frutas se lavaron, pelaron y cortaron en rodajas de 4 cm de diámetro y 0,5 cm de espesor y se colocaron en bandejas adecuadas y ordenadas en la congeladora a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, se ensayaron cuatro tiempos de congelación; 6, 9, 12 y 15 horas, La liofilización se llevó a cabo a una temperatura de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde la pitahaya permaneció en las condiciones de vacío a una presión de 4,6 Torr, por un periodo de 8 horas. La capacidad de rehidratación se estimó mediante la inmersión de las muestras en vasos de precipitación con agua destilada hasta 180 minutos, la relación peso de muestra: agua destilada fue de 1:15. Los resultados experimentales 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 a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la liofilización de pitahaya es de 9 horas, dando como resultado 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 de las características organolépticas (color, sabor y textura).

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

ABSTRACT

Lyophilization is of interest as an alternative method of food preservation, which can prolong the shelf life significantly while maintaining the physicochemical properties relating to their quality. The investigation determined the effect of freezing time in the rehydration ability of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) lyophilized, physicochemical tests were performed to yellow pitahaya pulp prior to freezing and lyophilization. Subsequently fruits were washed, peeled and cut into slices of 4 cm diameter and 0.5 cm thick and placed in suitable trays and arranged in the freezer at - 10 ° C were tested four times freezing, 6, 9, 12 and 15 hours, the lyophilization is carried out at a temperature of 55 ° C where it remained pitahaya vacuum conditions at a pressure of 4.6 Torr, for a period of 8 hours. The rehydration capacity was estimated by immersing the samples in beakers with distilled water to 180 minutes, the weight of sample: distilled water was 1:15. The experimental results were processed with SPSS 15.0, showing the end of the significant differences in the ability of rehydration and organoleptic characteristics of the treatment, the best time of freezing at - 10 ° C for lyophilization pitahaya is 9 hours, giving as result rehydration capacity of 2.832 (kg water / kg DM) equivalent to 65.57% compared to its initial moisture 4.319 (kg water / kg DM), and successfully in the sensory evaluation of the organoleptic characteristics (color, flavor and texture).

Keywords: yellow pitahaya, lyophilization and rehydration capacity.

I. INTRODUCCIÓN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se considera fruto exótico, apetecida por su agradable sabor, exuberante color y forma ovoide (Ayala *et al.*, 2010), además por sus propiedades biofuncionales y medicinales. Es un cactus perenne y epifito nativo del trópico suramericano. Colombia e Israel son los mayores productores de pitahaya amarilla en el mundo con una producción estimada de 2 200 Tn/año, el cual es exportado en fresco, más del 70 % se destina al mercado de la Unión Europea, 10 % al de Asia y el 20 % a otros mercados (Aponte *et al.*, 2009).

Según el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA, 2009), en Perú las principales regiones que producen pitahaya son: Amazonas, Ancash y Lima en forma comercial, también existe en forma nativa. Actualmente el Kilogramo cuesta S/. 15.00, lo cual hace una fruta exquisita y sobre todo rentable a los productores; en el año 2009 Perú logró el ingreso de pitahaya al mercado de Alemania con una exportación de 380,26 Kg con un valor FOB US\$ 2 239,90. Esta exportación va en aumento, por la apertura de nuevos mercados en España, Francia, y algunos países del medio oriente.

En la Región Amazonas se produce pitahaya amarilla, en la provincia de Bongará, actualmente se cultiva 13 has de pitahaya con una producción de 6 – 8 Tn, su sistema de producción no es tecnificado y no se transforma lo que constituye limitantes para la apertura de mercados y la ampliación de cultivos. (Dirección de Información Agraria – Amazonas, 2012).

No se encuentran investigaciones sobre métodos de conservación o procesamiento de pitahaya amarilla que ayuden a resolver al menos en parte, la falta de alternativas en este campo. Motivo por el cual se ha desarrollado la presente investigación con la finalidad de dar un valor agregado a dicha fruta, aportando un producto semielaborado que conserve

las características de la fruta fresca como sabor, color, textura, aroma y esencias, además de conservar sus propiedades nutritivas y un largo tiempo de vida útil, fácil de transportar, poco volumen de líquido, fácil de reconstruir, mínima actividad microbiana y enzimática y seguridad de manejo. Este estudio será una herramienta que promueva la inversión para el desarrollo de la agroindustria en la provincia de Bongará, especialmente en los productores del sector, diversificando la producción frutícola e identificando oportunidades para este tipo de materia prima.

La importancia de la Pitahaya radica por su productividad, rentabilidad, variabilidad genética y adaptabilidad a condiciones ambientales diversas; el uso principal es alimenticio, la pulpa contiene captina, utilizado como tónico cardíaco, mientras que sus semillas contienen un aceite de suave y seguro efecto laxante, también se reporta el consumo de las flores como legumbre y recientemente el uso de brotes de tallos como verdura para la elaboración de guisos. La pulpa puede someterse a congelamiento, concentración, deshidratación, fermentación, procesamiento térmico y preservación química (Rodríguez *et al.*, 2005).

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se consume como fruta fresca natural y procesada; en zumos, cócteles, con yogur, helados, dulces, mermeladas, jaleas, gelatinas y bebidas refrescantes, en algunos países se emplea como colorante (López, 1999).

El proceso de liofilización es un método de conservación de alimentos que permite prolongar la vida útil conservando las propiedades fisicoquímicas relacionadas con la calidad; es considerada como uno de los mejores métodos de conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos.

Con estos antecedentes el sector agrícola productor de materias primas se incentivará para incrementar nuevas áreas de producción con un sistema de tecnología, generando

nuevas plazas de trabajo, tanto de mano de obra calificada y no calificada, mejorando los ingresos económicos de las familias que se dedican a esta actividad frutícola.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Pitahaya

La Pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) es una planta perenne cactácea que crece sobre árboles, troncos secos y a veces piedras y muros; con un sabor ligeramente dulce, tiene forma ovalada, de color rojo o amarillo intenso, con pupos en su contorno; su pulpa es consistente y espumosa (ver Anexo F, Fotografía 1).

En la Tabla 1 se encuentra que esta fruta presenta un alto contenido de agua y carbohidratos, cuenta con propiedades medicinales importantes, su valor energético es elevado (superior al de la zanahoria y la lechuga), la vitamina A es reducida, las vitaminas B1, B2 y C están casi ausentes, tienen baja cantidad de potasio, la presencia de fósforo es casi nula y su contenido de hierro es más elevado que en la mayoría de las verduras (Monsalve y Sandra, 2002).

Tabla 1. Composición nutricional de la pitahaya amarilla

Factor nutricional*	Contenido	Factor nutricional*	Contenido
Calorías	50.0	Fosforo	16.0 mg
Agua	85.4 g	Hierro	0.3 mg
Carbohidratos	13.2 g	Niacina	0.2 mg
Fibra	0.5 g	Riboflavina	0.0 mg
Proteínas	0.4 g	Tiamina	0.0 mg
Cenizas	0.4 g	Vitamina A	0.9 mg
Calcio	10.0 g	Ácido Ascórbico	4.0 mg

Fuente: ICBF, INCAP Y FAO

* Por 100 g de fruta

2.2. Liofilización

La liofilización es una forma de secado que consiste en la congelación de la muestra y la eliminación del agua como vapor por sublimación del material congelado en una cámara al vacío. Después de que la humedad se sublima como

vapor, este se extrae con bomba de vacío mecánico o inyectores de chorro de vapor. Se debe trabajar a una presión de vapor y temperatura por debajo del punto triple del agua ($p = 4,6 \text{ Torr}$ y $T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$), si en estas condiciones se aporta el calor latente de sublimación unos $2,84 \text{ MJ/Kg}$ el hielo se transforma en vapor (Olivares, 2010).

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 $0 \text{ }^\circ\text{C}$), tal y como se ilustra en la Figura 1. (Karel, 1975).

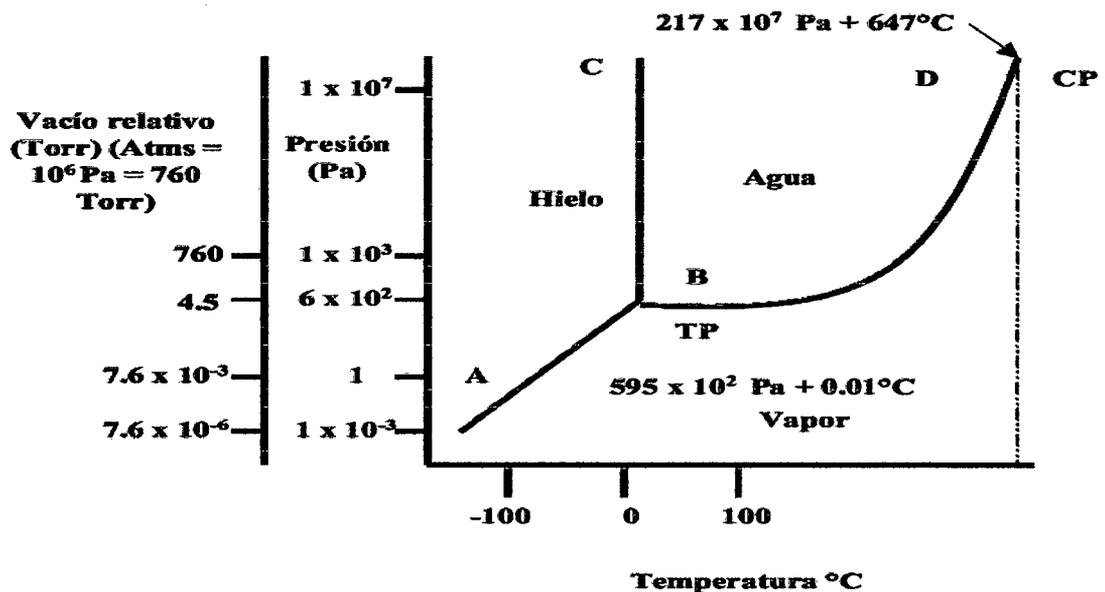


Figura 1. Diagrama de fases de agua pura

El diagrama de fases de la Figura 1 está separado por líneas en tres regiones, las cuales representan el estado sólido, líquido y gaseoso del agua pura. La línea (A-B) representa el equilibrio sólido – gas, y es la zona en donde se realizaría la liofilización, la línea (B – D) representa el equilibrio líquido – gas (evaporación), y la (B – C) representa el equilibrio líquido – sólido (fusión). El punto de intersección

de las líneas TP representa el llamado Punto Triple del Agua en el cuál los tres estados se encuentran en equilibrio, y tiene un único valor para presión y temperatura siendo un punto de referencia el cual en la escala Celsius es definido (0 °C) (Goff, 1992).

La liofilización contrasta con los métodos más convencionales en donde el agua es eliminada por evaporación. En este proceso es de interés una verdadera y adecuada congelación, además es conveniente que el producto mantenga un adecuado estado de rigidez (Welti, 1985).

Tal y como se ha mencionado previamente, estas condiciones de presión y temperatura a las cuales se realiza la liofilización reducen al mínimo el arrastre de sustancias y el daño a la estructura del producto, obteniéndose la pérdida de peso y conservación de los productos deseables, manteniendo el contenido y distribución de los componentes en su interior, ya que un producto liofilizado tiene una alta estructura rígida, una alta capacidad de rehidratación y una baja densidad manteniendo las propiedades iniciales de un alimento fresco como son: apariencia, forma, sabor y color (Welti y Chanes *et al*, 2004).

El tiempo total de liofilización debe ser lo suficientemente largo como para que el contenido de humedad sea inferior a 5% en peso, y evitar así la degradación del producto final durante su almacenamiento (Olivares, 2010).

2.2.1. Proceso de liofilización

El proceso de liofilización incluye tres etapas: pre-congelación, secado primario, y secado secundario.

a) Pre-congelación

La liofilización es un cambio de estado de la fase sólida a gaseosa. Para que el material sea liofilizado debe ser primeramente congelado. El método de congelación y temperatura final del alimento congelado pueden afectar la calidad del material liofilizado (Welti *et al*, 2004).

En la sublimación, los espacios grandes y pequeños formados durante la congelación, facilitarán la difusión del agua, en alimentos sólidos y alimentos que tengan estructura como gel o celular, los cristales individuales son separados de otros ocasionando que no se forme una estructura porosa. Estos espacios funcionan como difusores de vapor en el alimento seco, pero pueden llegar a atenuar la influencia negativa en las características finales del producto (Heldman y Hartel, 1997).

El proceso de congelación es una parte importante de la liofilización ya que los pequeños espacios del material no congelado repercuten en la estabilidad de la estructura del producto liofilizado, además de poder afectar la calidad final del producto (Heldman y Hartel, 1997).

La forma de congelar un alimento depende de: La estructura del alimento y los niveles de temperatura para formar un estado vítreo durante el proceso de congelamiento. Con respecto a su estructura, los alimentos a ser liofilizados deben tener un porcentaje alrededor del 70 %, que en este caso el agua es el solvente y los materiales disueltos el agua son los solutos. La mayoría de las muestras a ser liofilizadas se deben de encontrar por debajo del punto eutéctico, en este momento el agua al cambiar a su estado sólido en el proceso de congelación se separa

de los solutos creando áreas de mayor concentración de sólidos. Los solutos tendrán un menor punto de congelación que el del agua, sin embargo un alimento no se considerará completamente congelado hasta que todas las mezclas de solutos lleguen a la temperatura eutéctica que es la temperatura en la cual el alimento se encuentra completamente congelado (Sahagian y Douglas, 1996).

Para obtener resultados óptimos, es muy importante tener un buen sistema de congelación, con la finalidad de no dañar las estructuras internas de los productos durante la formación de los cristales de hielo, lo que produce pérdida de textura durante la rehidratación (Lombraña *et al*, 2001).

Otro aspecto de congelación a considerar es: A qué temperatura se logra la formación del estado vítreo durante el proceso, al irse congelando la suspensión llega a aumentar su viscosidad a la vez que su temperatura es disminuida, para que finalmente el producto congelado en la temperatura de transición vítrea forme un sólido vítreo (Blond y Le Meste, 2004).

b) Secado primario

Una vez que el producto congelado se introduce a la cámara del liofilizador es calentado bajo condiciones de vacío, para remover el hielo por sublimación, tratando de conservar al producto durante el proceso por debajo de su temperatura eutéctica (Heldman y Hartel, 1997).

El vapor de agua producido por la sublimación del agua congelada, y por la desorción de humedad en la capa seca durante el secado

primario, es transportado por difusión a través de la estructura porosa del material seco (Liapis *et al*,1996).

La duración del secado primario depende varios factores como la temperatura de las placas calefactoras, características del sistema de refrigeración, espesor del producto, humedad del producto y otros, todos los factores se deben manejar de tal forma que se pueda minimizar el tiempo de duración del proceso y maximizar la velocidad de sublimación en la interfase de la capa seca. Un buen manejo de dichos factores permitirá un proceso de secado constante, obteniendo un producto de calidad óptima (Izkara y Lombraña, 1996).

c) Secado secundario

En esta etapa, el agua es removida completamente por lo que la humedad residual ligada al material sólido es extraída dejando un producto seco, en esta etapa se lleva a cabo la difusión de las moléculas del agua en el material seco hacia el exterior del alimento (Izkara y Lombraña, 1996).

El secado secundario incluye la remoción de la humedad desde la capa seca del producto es decir, el agua que no está congelada. El agua no congelada es absorbida en la superficie por los solutos cristalinos, ocasionando una hidratación de ellos, y por consiguiente los solutos disuelven las partículas sólidas amorfas, las características antes mencionadas caracterizan al secado secundario como etapa final del secado primario (Liapis *et al*, 1996).

2.2.2. Beneficios de la liofilización

El secado convencional hace que el material se encoja, dañando las células. Sin embargo, en la operación de liofilización, los componentes sólidos son retenidos en su lugar por el hielo rígido. La sublimación del hielo deja espacios vacíos, preservando así estructura biológica y química del producto, ofreciendo una mejor retención de sabor y protege la estructura primaria del producto (Irzyniec *et al*, 1995).

Debido a sus cualidades, la liofilización tiene mucho y variados usos en el laboratorio y en la industria de alimentos. Se usa para lograr la estabilidad en almacenamiento a largo plazo de los materiales biológicos, en la preparación de muestras tisulares para la microscopía electrónica.

Además, la liofilización tiene aplicaciones en el análisis químico donde es muy conveniente tener la muestra en forma seca o donde la concentración de la muestra aumenta la sensibilidad del análisis. Es ideal en estas instancias porque los componentes de la muestra permanecen estables y no cambian su composición química (Labconco, 2003).

Los alimentos liofilizados conservan su color, sabor, textura y otros atributos originales, lo que no se logra con los otros métodos de secado. Además se detiene toda posibilidad de desarrollo bacteriano y no se producen modificaciones debidas a acción enzimática u oxidativa, provocadas por el oxígeno atmosférico (Ratti, 2001; Brennan *et al*, 1998).

2.3. Capacidad de rehidratación

La capacidad de rehidratación se refiere a la cantidad máxima de agua que el producto es capaz de tomar en la inmersión (Arriola *et al*, 2005).

La capacidad de rehidratación se puede considerar como una medida del daño estructural o celular ocurrido durante el secado (Ayala *et al*, 2010).

La rehidratación es un complejo proceso con el objetivo de restaurar las propiedades de la materia prima cuando el material seco está en contacto con una fase líquida. En la mayoría de los casos se emplea agua en exceso. Cuando las cavidades están llenas con aire, el agua no puede saturar el material, por lo que es importante conocer la estructura porosa para predecir de la difusividad de la humedad en los alimentos. Usualmente, el alimento seco es mojado en agua antes de ser cocinado o consumido, así la rehidratación es un criterio de calidad importante. En la práctica, la mayoría de los cambios que ocurren durante el secado son irreversibles y la rehidratación no puede considerarse simplemente como el proceso inverso a la deshidratación (Sahagian y Douglas, 1996).

En el fenómeno de rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) La absorción de agua dentro del material deshidratado, b) La lixiviación de solutos y c) El hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño y volumen inicial. Para medir la capacidad de rehidratación, Ecuación 1 (Sahagian y Douglas, 1996).

$$CR = \frac{\text{Contenido de agua absorbida}}{\text{Masa de muestra liofilizada}}$$

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

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

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material biológico

Se empleó frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en su estado de madurez fisiológica, provenientes del distrito de Pedro Ruíz, provincia de Bongará, Región Amazonas, ubicado a una altura de 1 935 m.s.n.m., siendo sus coordenadas geográficas 5°53'38" Latitud Sur y 77°44'52" Longitud Oeste. Las características fisicoquímicas resaltantes para la selección de pitahaya fueron: consistencia firme, color amarillo, índice de madurez 5,56 y 14,4 °Brix.

3.2. Métodos experimentales

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 (Anexo F), las rodajas de pitahaya se congelaron a -10 °C empleando 4 valores de tiempo de congelación, 6, 9, 12 y 15 horas. El objetivo de esta etapa es encontrar el tiempo de congelación en el cual la pitahaya amarilla liofilizada tiene la mejor capacidad de rehidratación, mejor conservación de las características organolépticas como sabor, color, textura, menor daño estructural y un secado rápido.

La liofilización se llevó a cabo en un liofilizador marca TERRONI modelo LC – 1500 con campana acrílica, panel de comando, software de control de proceso en PC, y bomba de vacío (ver Anexo F). Una vez congelada las rodajas de pitahaya se trasladaron al liofilizador, y se programó en la PC la opción de refrigeración hasta alcanzar una temperatura menor a 5 °C (positivo), una vez alcanzada ésta temperatura se prendió la opción calefacción hasta 55 °C. La pitahaya permaneció en

las condiciones de bajo vacío por el compresor, refrigeración encendido y producto calentando por un periodo de 8 horas.

Los cambios de humedad (% H) y volumen (ΔV) se midieron en la fruta fresca (tiempo cero) y en la fruta seca (al final del proceso, 8 horas). La capacidad de rehidratación se estimó mediante la inmersión de las muestras en vasos de precipitación, con agua destilada a 20 °C. La relación en peso de muestra – agua destilada fue de 1:15. Se retiraron las muestras de los recipientes en diferentes tiempos hasta alcanzar los 180 min. Se secaron con papel absorbente y se calculó su peso para determinar la cantidad de agua ganada (ver Anexo F).

3.2.1. Caracterización físico-química de la pitahaya amarilla (ver anexo A)

a) Determinación de pH

Se determinó mediante el método potenciométrico (A.O.A.C., 1998) con la ayuda de un pH-metro (QUIMIS, modelo Q-400MT2), que mide el potencial de hidrógeno.

b) Determinación de acidez titulable

El porcentaje de acidez se determinó mediante el método de titulación ácido – base (A.O.A.C., 1998), con la ayuda de una bureta, fenolftaleína como sustancia indicadora y como titulante hidróxido de sodio (0,1N).

c) Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)

Los azúcares (°Brix), representan los sólidos totales presentes en el fruto y para su determinación se empleó el método hidrométrico o brixométrico (A.O.A.C., 1998). Se utilizó un refractómetro (EXTECH, modelo RF80, rango 0 a 45°Brix), previamente calibrado

d) Determinación de índice de madurez

Una de las medidas químicas para determinar el grado de madurez de un fruto es la determinación del contenido de azúcares, la cual se expresa en °Brix, que al relacionarse con la acidez del fruto nos permite conocer el índice de madurez (Castro y Castro, 2007).

$$\text{Índice de Madurez (IM)} = \frac{\text{°Brix}}{\text{Acidez Total}}$$

e) Determinación de humedad

Se determinó mediante un analizador automático de humedad (modelo AMB 50), previamente calibrado.

3.2.2. Obtención de pitahaya liofilizada

La metodología que se desarrolló en la presente investigación se muestra en la Figura 3 cuyas principales etapas se describen a continuación:

- a. Materia prima:** Se utilizó los frutos maduros de pitahaya amarilla.
- b. Selección:** Se seleccionó las frutas en estado maduro con buena apariencia de color, tamaño y libres de plagas y enfermedades.
- c. lavado:** Se realizaron con agua potable para eliminar impurezas impregnadas en el fruto.
- d. Pelado:** Se realizó utilizando un cuchillo con la finalidad de extraer la cáscara de la pitahaya.
- e. Cortado:** Se cortó en rodajas similares de 4 cm de diámetro y 0,5 cm de altura.
- f. Congelación:** Se realizó a -10 °C en una congeladora modelo FC4D, aplicando 4 valores de tiempo de congelación, 6, 9, 12 y 15 horas.

- g. Liofilización:** Se llevó a cabo en un liofilizador marca TERRONI modelo LC – 1500 con campana acrílica, panel de comando, software de control de proceso en PC, y bomba de vacío. Una vez congelada las rodajas de pitahaya se trasladaron al liofilizador, y se programó en la PC en fase de refrigeración hasta alcanzar una temperatura menor a 5 °C, una vez alcanzada ésta temperatura se programó en la PC la fase de calefacción hasta 55 °C manteniendo el vacío, el proceso de secado se realizó durante 8 horas.
- h. Envasado:** Se realizará en bolsas de polietileno
- i. Capacidad de rehidratación:** La capacidad de rehidratación se estimó mediante la inmersión de las muestras en vasos de precipitación, con agua destilada a 20 °C. La relación en peso de muestra – agua destilada fue de 1:15. Se retiraron las muestras de los recipientes en diferentes tiempos hasta alcanzar los 180 min. Se secaron con papel absorbente y se calculó su peso para determinar cuánto de agua ha ganado.

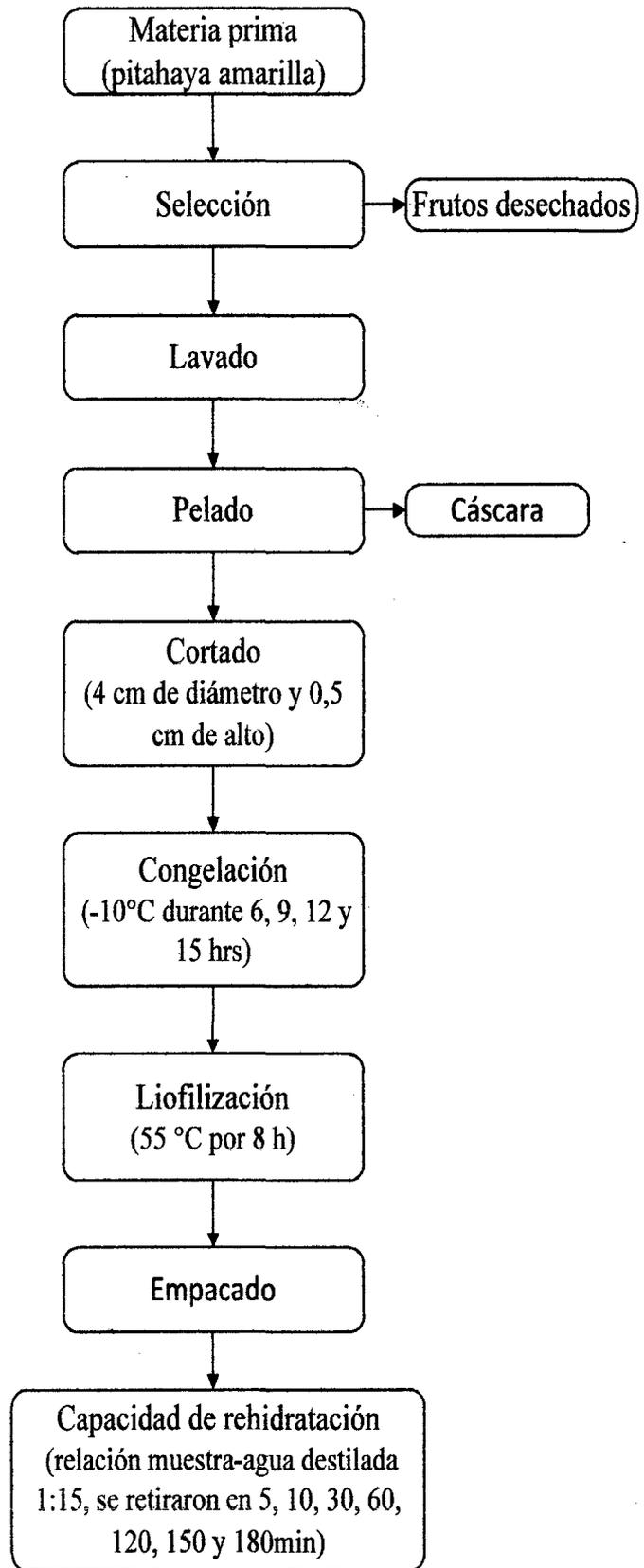


Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de pitahaya amarilla liofilizada

3.2.3. Determinación del efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) liofilizada

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 4 tratamientos y 4 repeticiones con arreglo factorial 4A x B, donde A representa el tiempo de congelación y B representa la capacidad de rehidratación.

El modelo aditivo lineal para Diseño Completamente al Azar (DCA) es el siguiente (Espinoza, 2003).

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

- $i = 1, 2, 3, 4$ tratamientos
- $j = 1, 2, 3, 4$ repeticiones

Además:

Y_{ij} : capacidad de rehidratación

μ : Efecto de la media general

A_i : Efecto del i –ésimo tiempo de congelación

ε_{ijk} : Error experimental

comparaciones múltiples

Para las comparaciones múltiples se empleó la prueba Tukey al 95% de confianza.

3.2.4. Evaluación sensorial de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) liofilizada

Se evaluó los atributos de color, sabor y textura; para los cuales se dispuso de 4 tratamientos (T₁, T₂, T₃ y T₄) que corresponden a los tiempos de congelación 6, 9, 12 y 15 horas respectivamente en el proceso de liofilización, estas muestras se presentaron a panelistas semi-entrenados de 15 personas, utilizando el test de escala hedónica de 7 puntos.

El modelo lineal aditivo para el test de escala hedónica es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$$j = 15$$

$$i = 1 \text{ a } 4$$

La hipótesis a probar será:

H₀ = No existe diferencia entre los niveles de tratamientos.

H_a = Si existe diferencia significativa al 5 %.

IV. RESULTADOS

4.1. MATERIA PRIMA

En la Tabla 2 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicas efectuado a la pitahaya amarilla.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

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

Fuente: Elaboración propia

*expresado en ácido cítrico

4.2. PRODUCTO EN PROCESO

4.2.1. Perfil de temperatura durante el proceso de liofilización

En la Figura 3 se presenta la evolución de la temperatura en el proceso de liofilización con una curva exponencial durante 8 horas de proceso.

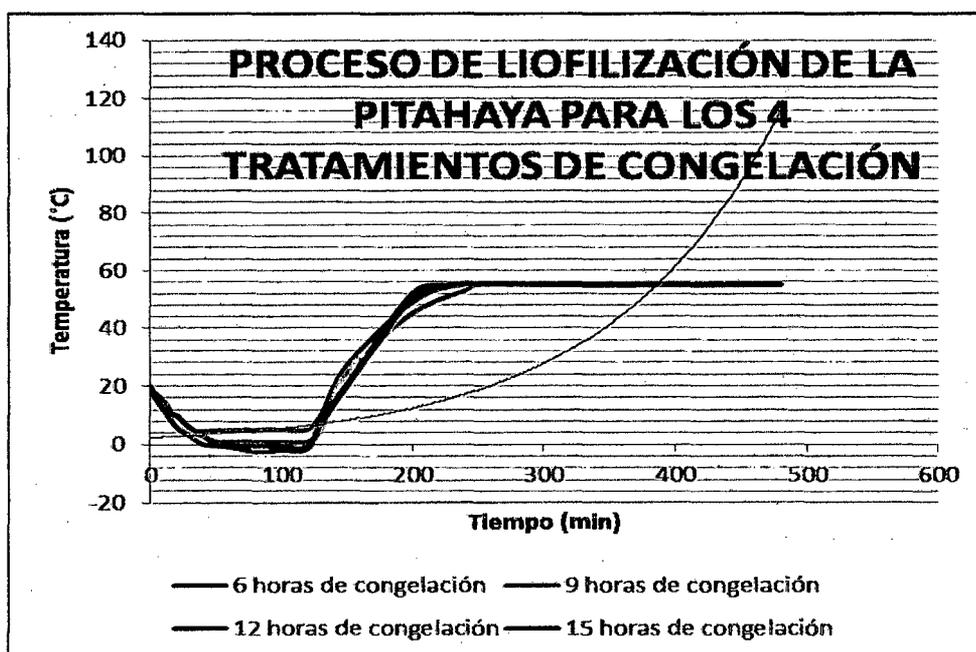


Figura 3. Evolución de la temperatura de pitahaya en el proceso de liofilización.

4.2.2. Variación de humedad

En la Tabla 3 se observa que el contenido de humedad de los tratamientos en estudio a las 8 horas de liofilización fueron similares para los tiempos de congelación, excepto el tiempo de congelación más corto (6 horas) que obtuvo un contenido de humedad mayor con 17,03 % al finalizar el proceso.

Tabla 3. Cambios de humedad de la pitahaya amarilla liofilizada

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

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se observa el comportamiento del contenido promedio de la humedad de la pitahaya liofilizada, teniendo en cuenta el tiempo de congelación.

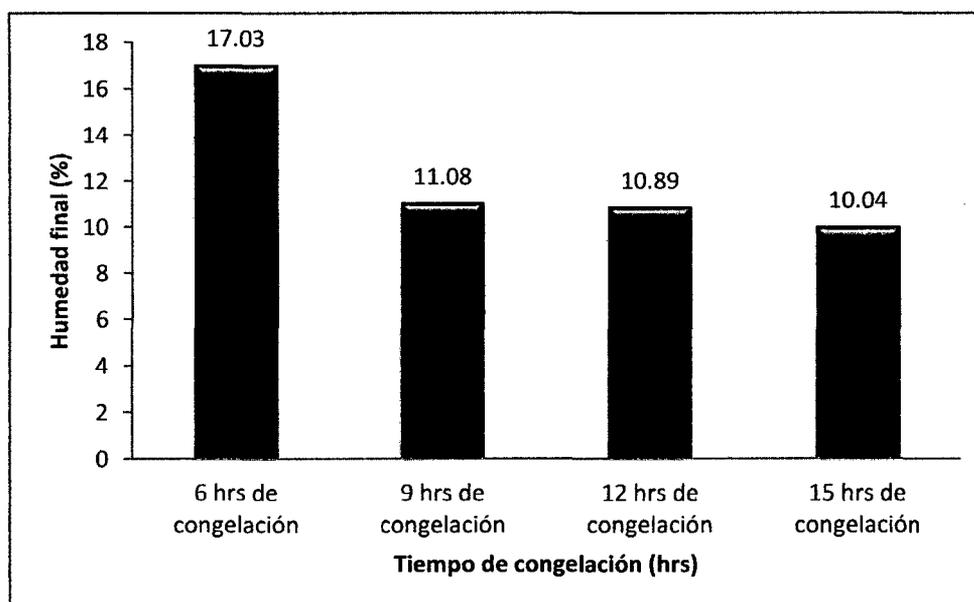


Figura 4. Contenido promedio de humedad de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados

4.2.3. Variación de volumen

En la Tabla 4 se observa la variación de volumen a las 8 horas de liofilizado de los tratamientos en estudio pronunciándose algunas diferencias para todos los tiempos de congelación, habiendo alcanzado un promedio de variación el que menos sufrió cambio de 14,74 %.

Tabla 4. Cambios de volumen de la pitahaya amarilla liofilizada

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

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se observa el comportamiento de la variación de volumen de la pitahaya liofilizada, teniendo en cuenta el tiempo de congelación.

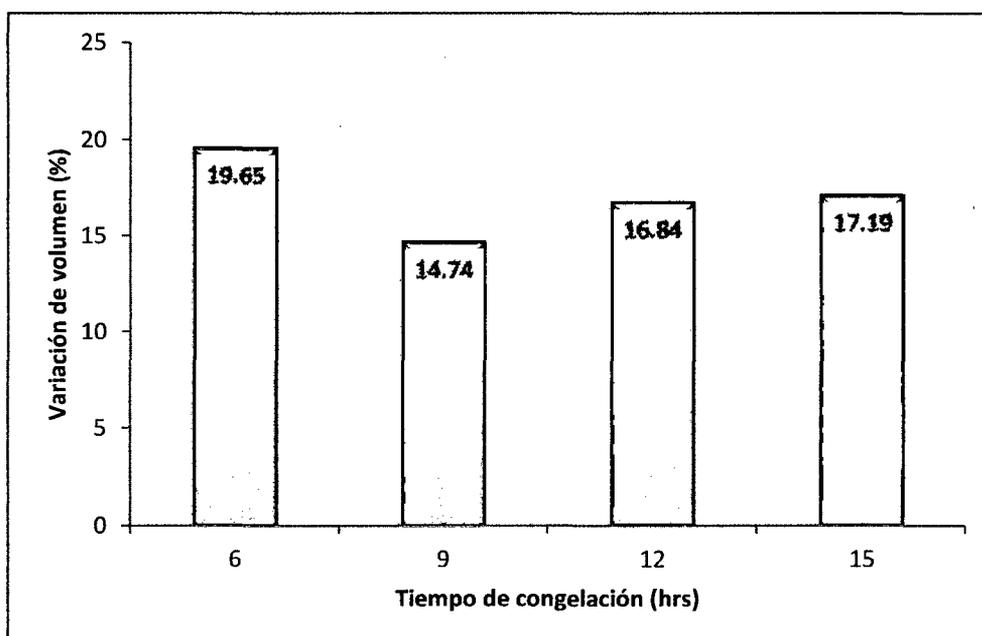


Figura 5. Variación de volumen de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados

4.2.4. Efecto de los tratamientos estudiados en la capacidad de rehidratación (CR) de la pitahaya liofilizada

La Tabla 5 muestra la capacidad de rehidratación en (Kg agua/Kg m.s) de la pitahaya amarilla liofilizada, donde se observa que la mayor CR a los 180 min de inmersión alcanzaron 2,832 (Kg agua/Kg m.s) equivalente a 65,57 % en relación al contenido de humedad inicial de 4,319 (Kg agua/Kg m.s).

Tabla 5. Capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla liofilizada

Tratam	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

Fuente: Elaboración propia

La Figura 6 representa el comportamiento de la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla liofilizada, teniendo en cuenta el tiempo de congelación.

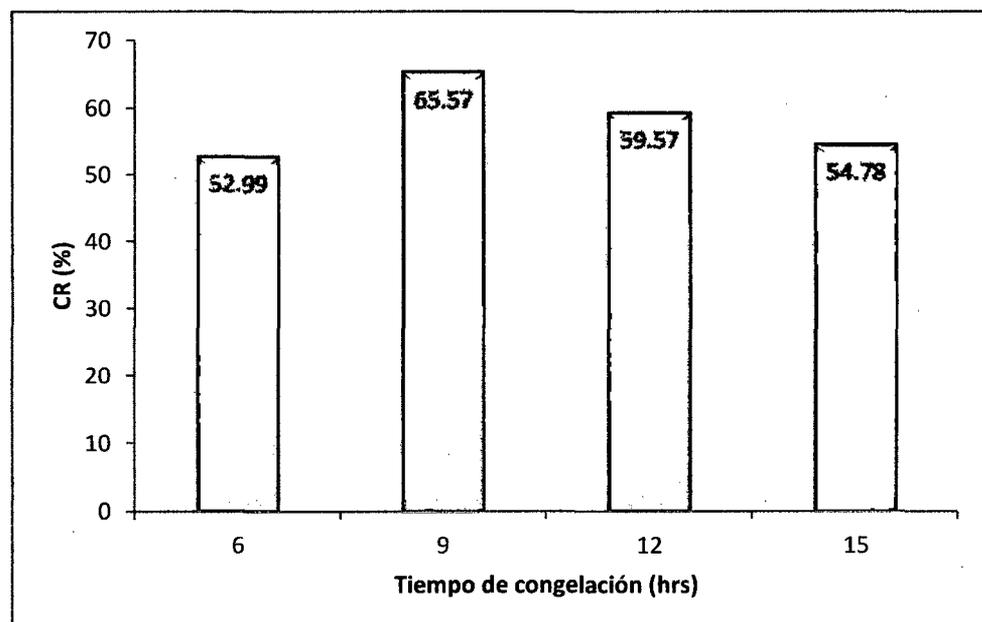


Figura 6. % de capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada, según los tratamientos estudiados.

En la Figura 7 se muestra la evolución de la capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada, se aprecia que para tiempos de congelamiento largos, la rehidratación es un poco más rápida, pero a medida que transcurre el tiempo de rehidratación los valores intermedios de congelamiento (9 y 12 hrs) son las que absorben una mayor cantidad de agua. También se observa que a medida que pasa el tiempo la absorción de agua se hace más lenta por lo que los poros se saturan rápidamente en los primeros minutos y cabe mencionar que a los 180 min del proceso de rehidratación no se ha llegado a un equilibrio de humedad lo que significa que puede seguir incrementándose la absorción de agua.

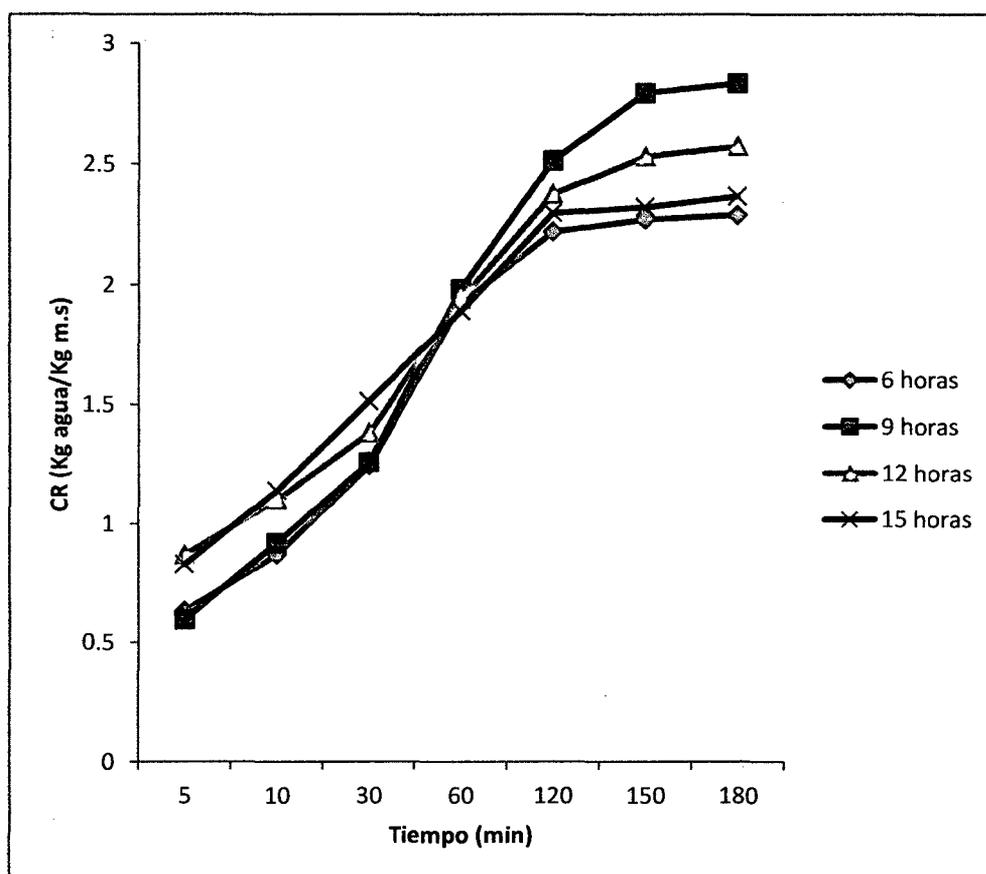


Figura 7. Efecto del tiempo de congelación sobre la capacidad de rehidratación con medio de inmersión a 20 °C.

En la Figura 8 se aprecia que a los 180 min de proceso de rehidratación la que tiene mayor capacidad es la que se trató a un tiempo de congelación de 9 horas, también se observa que a menor y mayor tiempo de congelación del indicado anteriormente su capacidad de rehidratación es más baja.

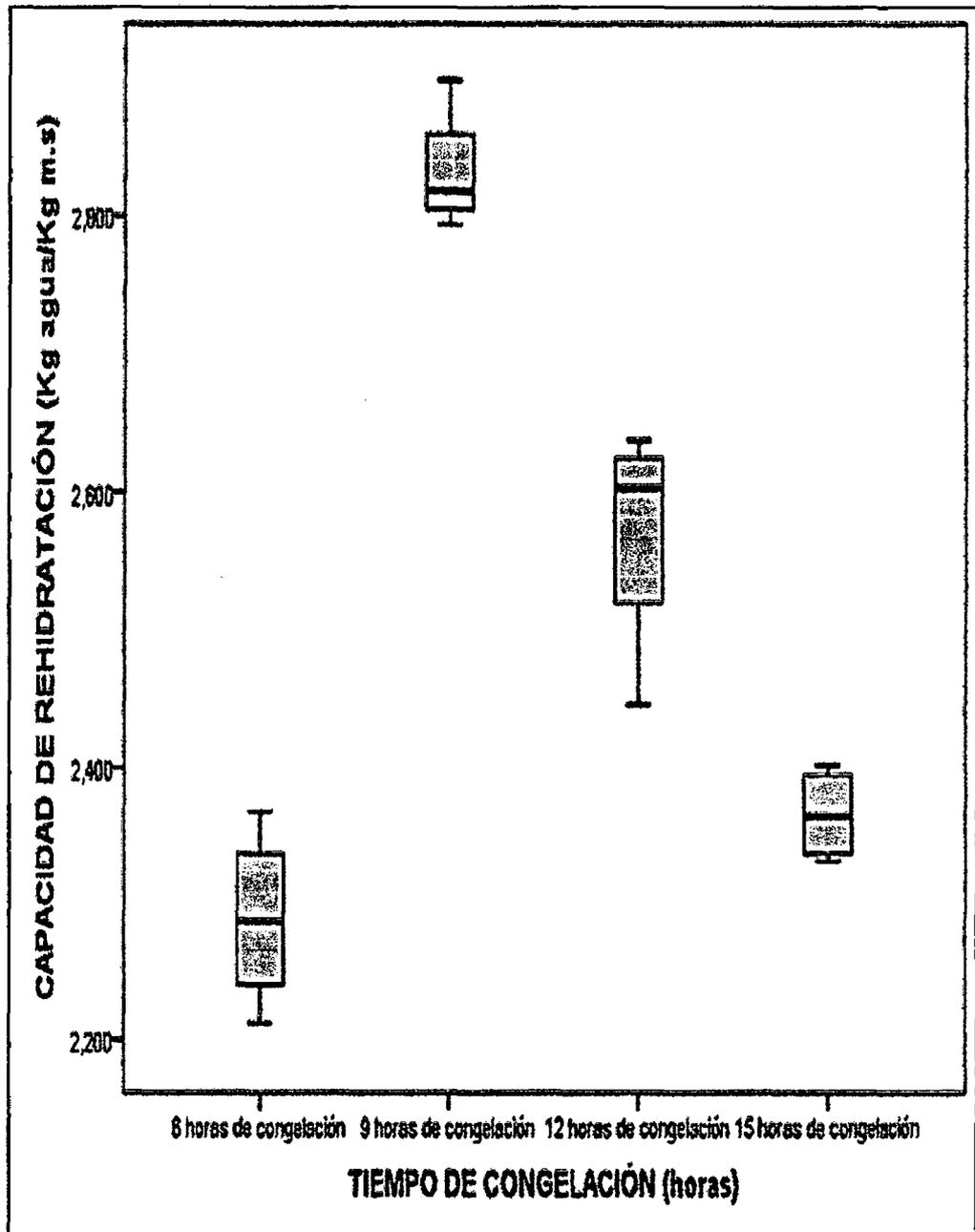


Figura 8. Variación de la capacidad de rehidratación para los 4 tratamientos

La capacidad de rehidratación (Tabla 5), de los tratamientos estudiados tienen una diferencia notoria, obteniéndose valores entre 52,99 % y 65,57 %.

Mediante el ANVA, mostrado en el anexo C (Tabla C1.1), se comprobó que el tiempo de congelación tiene un efecto significativo sobre la capacidad de rehidratación.

Con la prueba Tukey, mostrado en el anexo (Tabla C1.2), se comprobó que existen diferencias significativas entre la diferencia de medias, excepto las comparaciones de 6 y 15 horas de congelación que no son significativas.

Con las pruebas Tukey y Duncan, mostrado en el anexo (Tabla C1.3), se comprobó que existen diferencias significativas en los tratamientos de estudio, obteniéndose tres subconjuntos homogéneos, donde los tiempos de congelación 6 y 15 horas son equivalentes entre sí y con valores inferiores en la capacidad de rehidratación. Ambas pruebas arrojaron resultados iguales dando como mejor tratamiento a la congelación durante 9 horas.

4.2.5. Efecto del tiempo de congelación en las características organolépticas de la pitahaya liofilizada

En la Tabla 6, 7 y 8 se presentan los resultados de la evaluación sensorial para determinar los atributos de color, sabor y textura de mejor aceptación. Para el cual se dispuso de 4 tratamientos (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) que corresponden a los tiempos de congelación 6, 9, 12 y 15 horas respectivamente en el proceso de liofilización, estas muestras se presentaron a panelistas semi-entrenados de 15 personas, utilizando el test de escala hedónica de 7 puntos (Anexo D).

Tabla 6. Resultados de evaluación sensorial para determinar el color de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada.

Panelistas	Tratamientos			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	3	3	6	2
2	5	5	4	4
3	4	6	5	3
4	5	6	6	4
5	6	3	6	4
6	6	6	6	5
7	5	6	4	4
8	6	4	6	4
9	5	7	7	5
10	2	5	6	3
11	5	5	4	5
12	5	6	5	6
13	5	5	6	4
14	4	5	5	3
15	3	5	6	6
TOTAL	69	77	82	62
PROMEDIO	4,60	5,13	5,47	4,13

En la Tabla 6 se observa que el tratamiento T₃ (12 horas de congelación) obtiene en promedio el mejor resultado, indicando que a los panelistas optaron por la escala 5 (me gusta ligeramente) concerniente a color.

Mediante el ANVA, mostrado en el anexo E (Tabla E1.1), se comprobó que para los tratamientos al 5 % de significancia existe efecto significativo sobre el color de la pitahaya liofilizada.

Con las pruebas de Tukey y Duncan, mostrado en el anexo E (Tabla E1.2), se comprobó que existe significación estadística entre los tratamientos de estudio, Tukey lo agrupa en dos subconjuntos perteneciendo al grupo más significativo los tiempos de congelación 6, 9 y 12 horas. Sin embargo la prueba Duncan es más decisiva ya que lo agrupa en tres subconjuntos, donde al tiempo de congelación de 6 horas no lo considera dentro del más significativo.

Tabla 7. Resultados de evaluación sensorial para determinar el sabor de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada.

Panelistas	Tratamientos			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	3	4	7	3
2	4	5	6	4
3	4	5	5	4
4	4	5	5	5
5	3	5	6	5
6	4	6	5	5
7	4	6	6	5
8	4	5	6	5
9	4	6	6	6
10	4	6	6	5
11	4	5	5	6
12	4	5	6	5
13	4	4	6	6
14	4	6	5	5
15	4	6	6	5
TOTAL	58	79	86	74
PROMEDIO	3,87	5,27	5,73	4,93

En la Tabla 7 se observa que el tratamiento T₃ (12 horas de congelación) obtiene en promedio el mejor resultado, indicando que a los panelistas optaron por la escala 6 (me gusta moderadamente) concerniente a sabor.

Mediante el ANVA, mostrado en el anexo E (Tabla E2.1), se comprobó que para los tratamientos en estudio al 5 % de significancia existe efecto significativo sobre el sabor de la pitahaya liofilizada.

Con las pruebas de Tukey y Duncan, mostrado en el anexo E (Tabla E2.2), se comprobó que existe significación estadística entre los tratamientos de estudio, donde ambas pruebas lo agrupan en tres subconjuntos siendo 6 horas de congelación la menos significativa y los mejores 9 y 12 horas de congelación.

Tabla 8. Resultados de evaluación sensorial para determinar la textura de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada.

Panelistas	Tratamientos			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	2	3	7	3
2	4	4	5	5
3	5	5	6	3
4	2	5	6	3
5	6	4	5	4
6	6	6	5	5
7	4	5	5	5
8	6	4	5	4
9	5	6	7	4
10	3	5	5	5
11	4	6	3	4
12	5	6	7	7
13	5	4	6	4
14	3	6	6	4
15	3	5	6	6
TOTAL	63	74	84	66
PROMEDIO	4,2	4,93	5,6	4,4

En la Tabla 8 se observa que el tratamiento T₃ (12 horas de congelación) obtiene en promedio el mejor resultado, indicando que a los panelistas optaron por la escala 6 (me gusta moderadamente) concerniente a textura.

Mediante el ANVA, mostrado en el anexo E (Tabla E3.1), se comprobó que para los tratamientos al 5% de significancia existe efecto significativo sobre la textura de la pitahaya liofilizada.

Con las pruebas de Tukey y Duncan, mostrado en el anexo E (Tabla E3.2), se comprobó que existe significación estadística entre los tratamientos de estudio, donde ambas pruebas lo agrupan en dos subconjuntos siendo los tiempos de congelación 9 y 12 horas los que conservan mejor su textura según los panelistas.

V. DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se observa que la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) fresca presentó: pH 5,19; % de acidez 2,59; índice de madurez 5,56; humedad 82,21 % y 14,4 °Brix. (Rodríguez, 2005) determinó: pH 5,05; % de acidez 2,54; índice de madurez 5,00; humedad 83,18 % y 14 °Brix. Se observa una semejanza en los resultados. (Ayala *et al.*, 2010) determinó: humedad 84,14 %, índice de madurez 4 y 19,23 °Brix. Esta diferencia en el contenido de humedad puede ser debido a la procedencia e índice de madurez de la pitahaya. Los alimentos vegetales y animales están compuestos principalmente por agua; desde un 7.3% en el caso de la harina de avena, hasta un 94.7% en caso de la lechuga; las carnes y mariscos tienen un contenido aproximado de 65% (Krokida *et al.*, 1998).

En la Figura 3 se observa que a un tiempo de 6 hrs de congelación a -10 °C, luego de que la muestra de pitahaya ha sido llevada al liofilizador no desciende por debajo de los 5 °C para empezar la sublimación tal como lo indica (Manual de operaciones del liofilizador), esto se debe posiblemente a que la congelación ha sido lenta y no ha alcanzado una estructura sólida, a lo que contribuye (Parzanese, 2008), que en una congelación lenta la temperatura deseada se alcanza de 3 a 72 hrs en aparatos domésticos de congelación.

En la Tabla 3 se muestra la diferencia en el contenido de humedad de los tratamientos en estudio a las 8 hrs de secado, donde se puede observar que a menor tiempo de congelación a -10 °C presenta mayor contenido de humedad esto se debe posiblemente a que tiempo de congelación es muy corto, entonces el agua libre de la pitahaya no ha sido congelado en su totalidad, por ende la sublimación es lenta. Lo que contribuye (Parzanese, 2008), que el objetivo de la congelación es congelar el agua libre del producto. Con esto se busca que el producto congelado tenga una estructura sólida, sin

que haya líquido concentrado, de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación.

En la Tabla 3 se observa que a las 8 horas de liofilización se alcanza un contenido de humedad final de 10,04 % la más baja, indicando que no se ha llegado al % de humedad deseado que es por debajo del 5 % en peso según (Olivares, 2010), además menciona que aproximadamente se requiere de 1 hora por cada 0,1 cm de espesor de la muestra, esto conllevó a liofilizar por 8 horas, pero de acuerdo a los resultados se debe liofilizar por más de este tiempo indicado.

Respecto a los cambios de volumen (Tabla 4), una reducción del volumen superior al 15 % se considera un colapso estructural (Ayala *et al.*, 2010); por consiguiente la muestra liofilizada con una previa congelación a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 9 horas no presentó un colapso estructural ($\Delta V = 14,74\%$), en cambio los demás tratamientos sí sufrieron colapso estructural.

La Tabla 5 muestra la capacidad de rehidratación (CR) de la pitahaya liofilizada, donde a los 180 min de proceso el mejor tratamiento que tuvo mayor CR fue la muestra congelada a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 9 horas obteniendo como resultado 2,832 (Kg agua/Kg m.s) $\equiv 65,57\%$. Ayala *et al.* (2010), obtuvo como resultado 2,614 (Kg agua/Kg m.s). Esta discrepancia de CR se debe posiblemente a la humedad inicial de la fruta fresca, ya que la pitahaya en éste trabajo de investigación tuvo una humedad inicial de 4,319 (Kg agua/Kg m.s) y el de Ayala *et al.* tuvo 3,393 (Kg agua/Kg m.s); también la diferencia puede ser a otros factores tales como velocidad de congelación, presión y temperatura de liofilización. Las condiciones de 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 preservación de los productos deseables, pero 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 por lo que mantiene las propiedades iniciales de un alimento fresco como son: apariencia, forma, sabor y color (Welti, Chanes *et al*, 2004).

En la Figura 8, se observa que a una congelación de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 9 hrs la capacidad de rehidratación es la mejor, pero a tiempos de congelación cortos (6 hrs) y largos (15 hrs) su capacidad de rehidratación es baja. A tiempos cortos posiblemente el agua libre no ha congelado en su totalidad, por ende la liofilización no es buena. Lo que contribuye (Parzanese, 2008), que el objetivo de la congelación es congelar el agua libre del producto. Con esto se busca que el producto congelado tenga una estructura sólida, sin que haya líquido concentrado, de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación y a tiempos de congelación largos se debe a que cuando el producto es congelado por mucho tiempo, los poros son grandes, lo que causa que se debilite la estructura (Ruiz, Gómez *et al.*, 2004). Asimismo, cuando la estructura de la pitahaya liofilizada es débil, se presenta desprendimiento de pequeñas porciones debido al exceso de agua presente durante la deshidratación.

En la Figura 7 se aprecia que los tratamientos liofilizados no alcanzaron el contenido de humedad de equilibrio a los 180 minutos de proceso, lo que significa que puede seguir incrementándose hasta valores cercanos al contenido de humedad de la fruta fresca 4,319 (Kg agua/Kg m.s). Comportamiento similar obtuvo (Ayala *et al.*, 2010) en la rehidratación de pitahaya liofilizada que a los 180 min de proceso no alcanzo el equilibrio de contenido de humedad. Así pues, la deshidratación de la pitahaya liofilizada es un proceso reversible, asociado con mínimos daños estructurales y encogimiento celular (Krokida, 2003).

Con respecto al efecto del tiempo de congelación en la CR de la pitahaya liofilizada (Tabla 5 y Anexo C), se determinó que el tratamiento T₂ es el que ha tenido mayor ganancia de agua, es decir a un tiempo de congelación durante 9 horas, de acuerdo con el análisis estadístico, se obtuvo que existe diferencia significativa entre los tratamientos de estudio, siendo el tratamiento T₂ el más significativo; por lo tanto se elige como mejor tratamiento el T₂ que es a un tiempo de congelación durante 9 horas. La capacidad de rehidratación se refiere a la cantidad máxima de agua que el producto es capaz de tomar en la inmersión (Arriola *et al*, 2005).

Referente a la evaluación sensorial de las características organolépticas para determinar el tiempo de congelación para liofilizar pitahaya con respecto al color, sabor y textura (Tabla 6, 7 y 8 y Anexo E), se determinó que el tratamiento con mejor aceptación de color, sabor y textura es T₃ con un promedio de 5,47; 5,73 y 5,6 respectivamente, correspondiendo a la escala 6 “me gusta moderadamente”, es decir con un tiempo de congelación durante 12 horas, seguido del tratamiento T₂, es decir con un tiempo de congelación durante 9 horas, de acuerdo con el análisis estadístico, se obtuvo que al 5 % no existe diferencia significativa entre estas muestras, por lo tanto se elige como mejor procedimiento la T₂ que se alternó con un tiempo de congelación durante 9 horas. Para obtener resultados óptimos, es muy importante tener un buen sistema de congelación, de forma de no dañar las estructuras internas de los productos durante la formación de los cristales de hielo, lo que produce pérdida de textura durante la rehidratación y deterioro de sus propiedades iniciales de un alimento fresco como son: apariencia, forma, sabor y color (Lombraña *et al.*, 2001).

VI. CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

VII. RECOMENDACIONES

Emplear pitahaya amarilla con un óptimo estado de madurez y sanidad, con un índice de madurez 5,56 y 14,4 °Brix.

Realizar trabajos de investigación concerniente a parámetros óptimos de temperatura y presión para liofilizar y tomar en cuenta el índice de madurez de la fruta y el tiempo de liofilizado.

Evaluar los costos de producción de la pitahaya liofilizada, para determinar la rentabilidad el producto.

Evaluar la posibilidad de utilizar la pitahaya liofilizada como materia prima para la obtención de zumos, cócteles, yogur, helados, dulces, mermeladas, jaleas, gelatinas y bebidas refrescantes.

Para evaluar la rehidratación de productos liofilizados se recomienda tomar en consideración la temperatura.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. Arriola Guevara E., T. García Herrera, G. Guatemala Morales, J. Nungaray Arellano, O. Gonzáles Reynoso, J. Ruíz Gómez (2006). “Comportamiento del aguacate has liofilizado durante la operación de rehidratación”. Revista mexicana de ingeniería química. Vol. 5 Num.1
2. Ayala A. Alfredo, Liliana Serna, Esmeralda Mosquera (2010). “Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)”. Revista de la facultad de química farmacéutica. Vol. 17 Num. 2
3. Aponte B. Juan, Carlos Julian, Giraldo Cuartas (2009). “Cinética de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)”. Revista de la facultad de química farmacéutica. Vol. 17 Num. 2
4. Blond G y Le Meste M. (2004). “Principles of frozen storage”. Inc. New York
5. Castro, E. M. y W. Castro. 2007. “Análisis de productos agroindustriales. Manual de prácticas de laboratorio y problemas”. Trujillo - Perú
6. Espinoza, E. (2003). “Evaluación Sensorial de los Alimentos”. 1^{ra} edición Tacna – Perú
7. Dirección de información agraria - Amazonas (2012)
8. Goff HD. (1992). “Low – temperatura stability and the glassy state in frozen foods”. Food research international, 25:317-325
9. Heldman D. R y Hartel R. W. (1977). “Principles of food processing”. Chapman & hall book. New York. E. U. A. PP. 211:218

10. Izkara J y Lombroña J. I. (1996). "Experimental estimation of effective transport coefficients in freeze drying for simulation and optimization purposes". *Drying technology*, 14 (3&4): 743:763
11. Karel M. (1975). "Physical principles of food preservation". New York, pp. 287:294
12. Krokida MK. 2003. "Rehydration kinetics of dehydrated products"
13. Liapis A. I, Pikal M. J y Bruttini R. (1966). "Research and development needs and opportunities in freeze drying". *Drying technology*, 14 (6): 1265:1300
14. Lombroña J, Izkara J y Zuazo I. (2001). "Moisture diffusivity behavior during freeze drying under microwave heating power application". *Drying technology*, 19 (8): 1613:1627
15. López lucía (1999). "Alimentos: la pitahaya variedad de usos". Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) – México
16. Monsalve B. Sandra P. (2002). "El néctar de pitaya como una alternativa en la reducción de pérdidas postcosecha de esta fruta". Universidad de la Salle – Bogotá
17. Olivares Muñoz, Segundo V. (2010). "Manual de prácticas y problemas de ingeniería de operaciones agroindustriales II". Segunda edición Chachapoyas- Perú
18. Rodríguez Rodríguez Diana; María del Pilar Patiño Gutiérrez y Diego Miranda Lasprilla (2005). "Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)" *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* vol.58 nro.2 Medellín - Colombia

19. Rothmayr WWW. (1975). "heat and mass transfer". Goldblith S. A and advanced food technology. New York: academic press, pp. 203:222
20. Ruth López Montañez (2009). "Cultivos frutícolas con potencial de exportación para el valle de chillón" INIA – Ministerio de Agricultura – Perú
21. Sahagian M. E y Douglas H. G. (1996). "Fundamental aspects of the freezing process". Inc. New York. pp. 15, 20:39
22. Torres E. (2007). "Caracterización fisicoquímica y organoléptica del néctar de babaco (Carica pentagona)". Chachapoyas – Perú
23. Vilorio Matos A., D. Corbelli Moreno, M. J. Moreno Álvarez, D. R. Belén (2002). "Estabilidad de betalainas en pulpa de tuna (Opuntia boldinghii Br. et R.) sometidas a un proceso de liofilización". Revista de la Facultad de Agronomía. Vol. 19 Num. 4
24. Viteri P. y F. Cornejo (2007). "Estudio de Estabilidad de la Pulpa de Mora sometida a un Proceso de Liofilización". Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción escuela superior politécnica del litoral – Ecuador
25. Welti Chanes J. S. (1985). "Influencia de las condiciones de secado por automatización y liofilización sobre la calidad y estabilidad de los triturados de naranja". Tesis Doctoral. Universidad de Valencia – España
26. Welti Chanes J, Bermúdez D, Valdez A, Alzamora S. (2004) "Principles of freeze – concentration and freeze - drying". New York, 2:13:24

ANEXOS

ANEXO A

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL FRUTO DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*)

1. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES (°BRIX) – MÉTODO BRIXOMÉTRICO

1.1. PROPÓSITO

Medir la cantidad de sólidos totales que se encuentran en la pulpa de pitahaya. El grado °Brix es el porcentaje de materia sólida, o sólidos totales, disueltos en un líquido. En soluciones acuosas de sacarosa, sirve como una medida del contenido de sacarosa.

1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Refractómetro o Brixómetro
- Probeta
- Vaso beaker

1.3. PROCEDIMIENTO

- Poner una o dos gotas de la muestra sobre el prisma
- Presionar el botón para abrir la entrada de luz.
- En el campo visual se verá el resultado de los grados °Brix
- Limpiar la muestra del prisma con un pedazo de papel o algodón limpio y mojado.

Determinación de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles se determina con el índice de refracción. Este método se emplea mucho en la elaboración de frutas y hortalizas, para determinar la concentración de sacarosa de estos productos.

La concentración de sacarosa se expresa con el grado °Brix. A una temperatura de 20°C el grado °Brix equivale al porcentaje de peso de la sacarosa contenida en una solución acuosa. Si a 20°C, en una solución tiene 60°Brix, esto significa que la solución contiene el 60% de sacarosa.

En productos tales jugos y mermeladas, la presencia de otras sustancias sólidas influye en la refracción de la luz. Sin embargo el índice de refracción y el grado °Brix son suficientes para determinar en contenido de sólidos solubles del producto.

2. DETERMINACIÓN DEL pH MÉTODO POTENCIÓMETRO

2.1. PROPÓSITO

Llevar el control del pH durante el procesamiento nos permite conocer la acidez puntual de la pulpa, para controlar las posibles reacciones que pueden darse durante el proceso de elaboración de productos.

2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- pH-metro
- Electrodos
- Beaker de 200mL

2.3.PROCEDIMIENTO

- Ajustar el pH – metro con unja solución buffer estándar
- Tomar una muestra de jugo de pulpa de pitahaya
- Llenar 50 mL de jugo a un vaso se precipitación de 100 mL y llevarlo al potenciómetro
- Apuntar la lectura de pH del jugo que aparece en la pantalla del equipo.

3. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ – MÉTODO DE TITULACIÓN

3.1. PROPÓSITO

Determinar el porcentaje de acidez del jugo de pitahaya en función al ácido cítrico.

3.2.EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos

- Balanza de precisión
- Equipo de titulación

Materiales

- Beaker de 100mL
- Bureta de 40mL
- matraz Erlenmeyer 125mL

Reactivos

- agua destilada
- fenolftaleína
- hidróxido de sodio 0,1N

3.3. PROCEDIMIENTO

- Colocar 20 mL de muestra de jugo de pitahaya (homogenizar la muestra) en un matraz Erlenmeyer de 125 mL
- Diluir con agua destilada a nueve veces su volumen
- Añadir 3 gotas de fenolftaleína
- Finalmente titular con solución de hidróxido de sodio 0,1N hasta la aparición de un color rosado persistente cuando menos un minuto
- Anotar los resultados del gasto de titulación y utilizar la fórmula empleada para determinar la cantidad de acidez

3.4. CALCULOS

$$Acidez = \frac{V * N * Meq}{W} * 100$$

Dónde:

V: volumen gastado de NaOH

N: normalidad del ácido 0,1N

Meq: miliequivalente del ácido (cítrico)

4. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD – MÉTODO AUTOMÁTICO (BALANZA DE DETERMINACIÓN DE HUMEDAD)

4.2. PROPÓSITO

La humedad representa el contenido de agua libre, es decir, a la pérdida de peso por eliminación del agua libre, expresado en porcentaje. El agua se elimina por calentamiento de la muestra en la balanza automática de determinación de humedad, a una temperatura de 121°C, hasta peso constante.

4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza de determinación de humedad modelo AMB MOISTURE BALANCE
- Espátula con mango de madera

4.4. PROCEDIMIENTO

- Conectar correctamente al circuito eléctrico de la balanza de humedad
- Encender el equipo
- Calibrar el equipo
- Pesar entre 2 y 3 g de muestra de pitahaya tratando de que quede esparcido en toda la superficie del plato de aluminio que porta la muestra (accesorio del equipo)
- Proceder a la determinación automática de la humedad, hasta que suena la alarma que es señal del final de la prueba
- Tomar nota del porcentaje final de humedad de la muestra, mostrada en la pantalla del equipo

ANEXO B

PERFIL DE TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN DE CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS

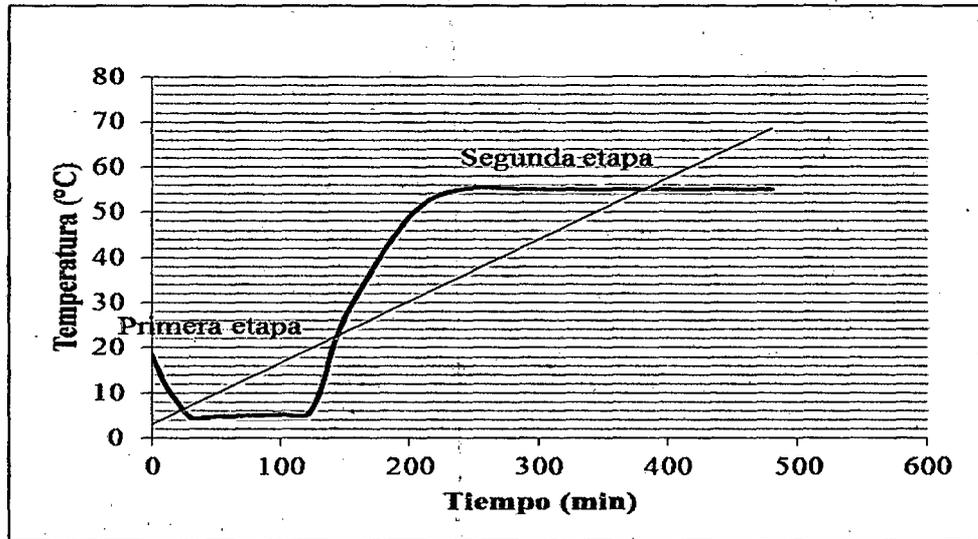


Figura B1. Evolución de la temperatura de pitahaya amarilla durante 8 horas de liofilización para un tiempo de 6 horas de congelación:

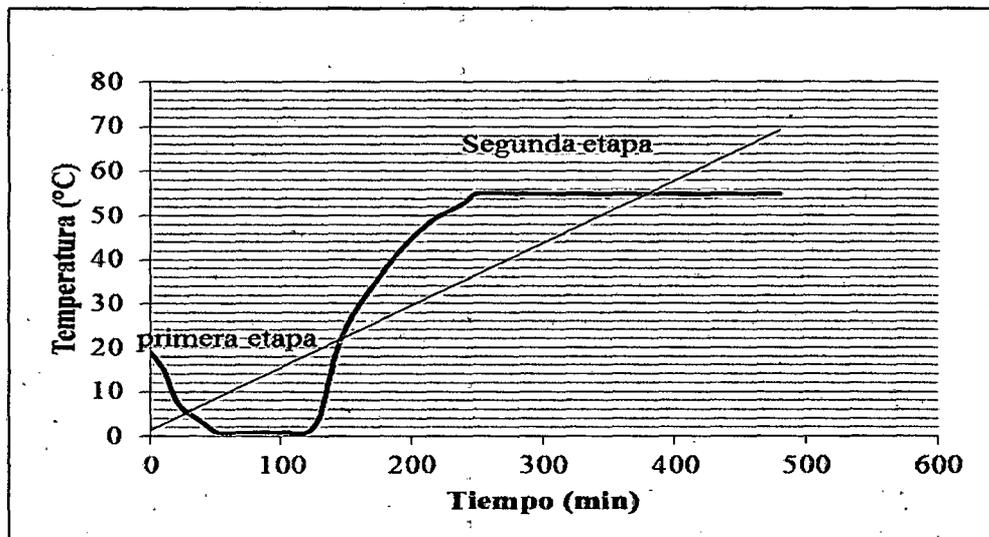


Figura B2. Evolución de la temperatura de pitahaya amarilla durante 8 horas de liofilización para un tiempo de 9 horas de congelación.

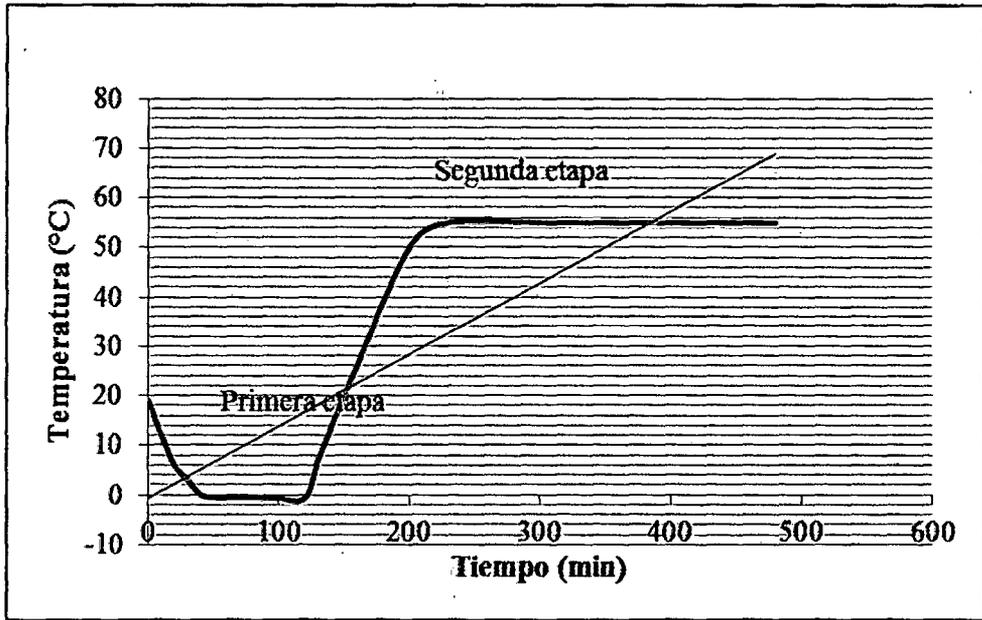


Figura B3. Evolución de la temperatura de pitahaya amarilla durante 8 horas de liofilización para un tiempo de 12 horas de congelación.

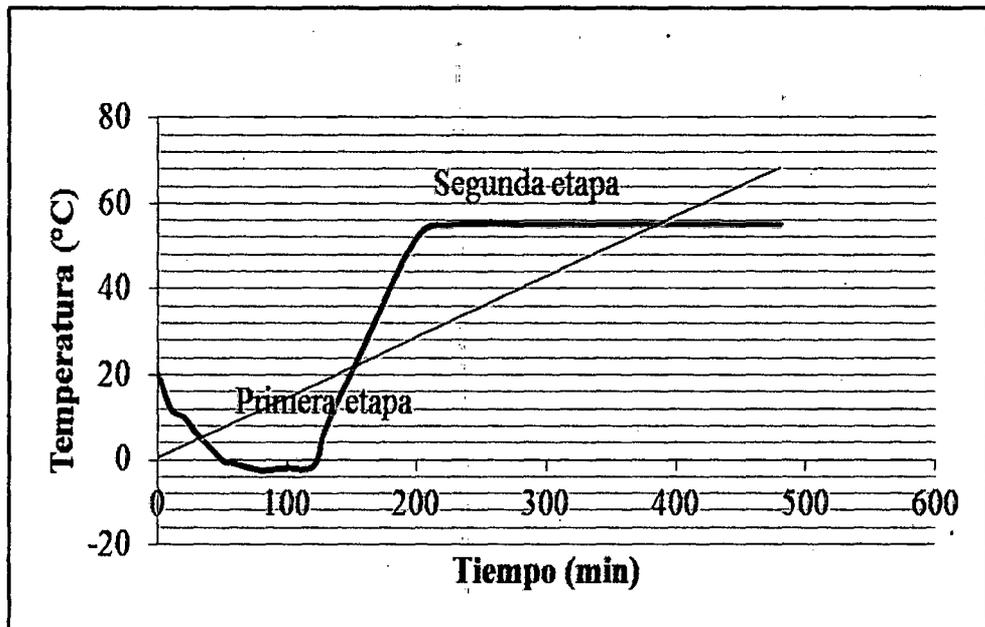


Figura B4. Evolución de la temperatura de pitahaya amarilla durante 8 horas de liofilización para un tiempo de 15 horas de congelación.

ANEXO C

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL FACTOR QUE AFECTÓ A LA CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN DE LA PITAHAYA LIOFILIZADA

Se analizaron con el software SPSS 15.0 para Windows, con la finalidad de obtener el mejor tiempo de congelación para la liofilización de la pitahaya amarilla.

Tabla C1. Capacidad de Rehidratación (Kg agua/Kg m.s) de la pitahaya liofilizada

Tratamiento	Tiempo de congelación (hrs)	Capacidad de rehidratación (Kg agua/Kg m.s)			
T ₁	6	2,212	2,306	2,268	2,368
T ₂	9	2,898	2,820	2,816	2,794
T ₃	12	2,612	2,594	2,446	2,638
T ₄	15	2,402	2,332	2,342	2,388

C1.1. ANVA para determinar la capacidad de rehidratación de la pitahaya liofilizada

Tabla C1.1 Prueba de efectos inter - sujetos (variable dependiente: capacidad de rehidratación)

Fuente de variación	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
TG	0,709	3	0,236	63,143	0,000
Error	0,045	12	0,004		
Total corregida	0,754	15			

Fuente: Elaboración propia

Como $\alpha = 0,05 > 0,000$; entonces decimos que existe diferencia significativa en el tiempo de congelación.

C1.2. Prueba de comparaciones múltiples

Tabla C1.2. Comparaciones múltiples mediante pruebas Post hoc para determinar la capacidad de rehidratación usando HSD de Tukey.

	(I) Tiempo de congelación	(J) Tiempo de congelación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey		9 hrs de congelación	-0,54350	0,04326	0,000	-0,6719	-0,4150
	6 hrs de congelación	12 hrs de congelación	-0,28400	0,04326	0,000	-0,4124	-0,1555
		15 hrs de congelación	-0,07750	0,04326	0,324	-0,2059	0,0509
	9 hrs de congelación	12 hrs de congelación	0,25950	0,04326	0,000	0,1310	0,3879
		15 hrs de congelación	0,46600	0,04326	0,000	0,3375	0,5944
	12 hrs de congelación	15 hrs de congelación	0,20650	0,04326	0,002	0,0780	0,3349

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

Fuente: Elaboración propia

Tabla C1.3. Comparaciones múltiples mediante subconjuntos usando la prueba Tukey y Duncan para la capacidad de rehidratación

	Tiempo de congelación	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
HSD de Tukey(a)	6 hrs de congelación	4	2,28850		
	15 hrs de congelación	4	2,36600		
	12 hrs de congelación	4		2,57250	
	9 hrs de congelación	4			2,83200
	Sig.			0,324	1,000
Duncan(a)	6 hrs de congelación	4	2,28850		
	15 hrs de congelación	4	2,36600		
	12 hrs de congelación	4		2,57250	
	9 hrs de congelación	4			2,83200
	Sig.			0,098	1,000

e muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D

FORMATO TEST ESCALA HEDÓNICA

Nombre:

Fecha:

Producto: Pitahaya amarilla liofilizada

Por favor pruebe cada una de las muestras y califique usted el color, sabor y textura de acuerdo a la siguiente escala:

- Me gusta mucho = 7
- Me gusta moderadamente = 6
- Me gusta ligeramente = 5
- No me gusta ni me disgusta = 4
- Me disgusta ligeramente = 3
- Me disgusta moderadamente = 2
- Me disgusta mucho = 1

Muestras	Color	Sabor	Textura
T ₁
T ₂
T ₃
T ₄

Comentarios:.....
.....
.....
.....

ANEXO E
RESULTADOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL
COLOR, SABOR Y TEXTURA DE MAYOR ACEPTACIÓN DE LA
PITAHAYA LIOFILIZADA

Tabla E1. Resultados de evaluación sensorial para determinar el color de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada.

Panelistas	Muestras			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	3	3	6	2
2	5	5	4	4
3	4	6	5	3
4	5	6	6	4
5	6	3	6	4
6	6	6	6	5
7	5	6	4	4
8	6	4	6	4
9	5	7	7	5
10	2	5	6	3
11	5	5	4	5
12	5	6	5	6
13	5	5	6	4
14	4	5	5	3
15	3	5	6	6

E1.1. Análisis de varianza

Modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$$j = 15$$

$$i = 1 \text{ a } 4$$

La hipótesis a probar será:

H₀ = No existe diferencia entre los niveles de tratamientos.

H_a = Si existe diferencia significativa al 5 %.

Tabla E1.1. Prueba de efectos inter - sujetos (variable dependiente: Aceptabilidad del color de pitahaya liofilizada).

Fuente de variación	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
BLOQ	23,833	14	1,702	1,664	0,101
TRATAM	15,533	3	5,177	5,061	0,004
Error	42,966	42	1,023		
Total corregida	82,333	59			

Fuente: Elaboración propia

E1.2. Comparaciones múltiples

Tabla E1.2. Comparaciones múltiples mediante subconjuntos usando la prueba Tukey y Duncan para la aceptabilidad del color de pitahaya liofilizada.

Tiempo de congelación		N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de	15 hrs de congelación	15	4,13		
Tukey(a,b)	6 hrs de congelación	15	4,60	4,60	
	9 hrs de congelación	15		5,13	
	12 hrs de congelación	15		5,47	
	Significación		0,591	0,104	
Duncan(a,b)	15 hrs de congelación	15	4,13		
	6 hrs de congelación	15	4,60	4,60	
	9 hrs de congelación	15		5,13	5,13
	12 hrs de congelación	15			5,47
	Significación		0,213	0,156	0,372

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 1,023.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 15,000

b Alfa = ,05.

Tabla E2. Resultados de evaluación sensorial para determinar el sabor de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada.

Panelistas	Muestras			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	3	4	7	3
2	4	5	6	4
3	4	5	5	4
4	4	5	5	5
5	3	5	6	5
6	4	6	5	5
7	4	6	6	5
8	4	5	6	5
9	4	6	6	6
10	4	6	6	5
11	4	5	5	6
12	4	5	6	5
13	4	4	6	6
14	4	6	5	5
15	4	6	6	5

E2.1. Análisis de varianza

Modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$$j = 15$$

$$i = 1 \text{ a } 4$$

La hipótesis a probar será:

H₀ = No existe diferencia entre los niveles de tratamientos.

H_a = Si existe diferencia significativa al 5 %.

Tabla E2.1. Prueba de efectos inter - sujetos (variable dependiente: Aceptabilidad de sabor de pitahaya liofilizada)

Fuente de variación	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
BLOQ	5,600	14	0,400	0,992	0,478
TG	28,317	3	9,439	23,411	0,000
Error	16,933	42	0,403		
Total corregida	50,850	59			

Fuente: Elaboración propia

E2.2. Comparaciones múltiples

Tabla E2.2. Comparaciones múltiples mediante subconjuntos usando la prueba Tuckey y Duncan para la aceptabilidad del sabor de la pitahaya liofilizada

Tiempo de congelación	N	Subconjunto			
		1	2	3	
DHS de	6 hrs de congelación	15	3,87		
Tukey(a,b)	15 hrs de congelación	15		4,93	
	9 hrs de congelación	15		5,27	5,27
	12 hrs de congelación	15			5,73
	Significación		1,000	0,484	0,200
Duncan(a,b)	6 hrs de congelación	15	3,87		
	15 hrs de congelación	15		4,93	
	9 hrs de congelación	15		5,27	5,27
	12 hrs de congelación	15			5,73
	Significación		1,000	0,158	0,051

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 0,403.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 15,000

b Alfa = 0,05.

Tabla E3. Resultados de evaluación sensorial para determinar la textura de mejor aceptación de la pitahaya liofilizada.

Panelistas	Muestras			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	2	3	7	3
2	4	4	5	5
3	5	5	6	3
4	2	5	6	3
5	6	4	5	4
6	6	6	5	5
7	4	5	5	5
8	6	4	5	4
9	5	6	7	4
10	3	5	5	5
11	4	6	3	4
12	5	6	7	7
13	5	4	6	4
14	3	6	6	4
15	3	5	6	6

E3.1. Análisis de varianza

Modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$$j = 15$$

$$i = 1 \text{ a } 4$$

La hipótesis a probar será:

H₀ = No existe diferencia entre los niveles de tratamientos.

H_a = Si existe diferencia significativa al 5 %.

Tabla E3.1. Prueba de efectos inter - sujetos (variable dependiente: Aceptabilidad de textura de pitahaya liofilizada)

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
BLOQ	21,433	14	1,531	1,258	0,273
TRAT	17,650	3	5,883	4,836	0,006
Error	51,100	42	1,217		
Total corregida	90,183	59			

Fuente: Elaboración propia

E3.2. Comparaciones múltiples

Tabla E3.2. Comparaciones múltiples mediante subconjuntos usando la prueba Tukey y Duncan para la aceptabilidad de textura de la pitahaya liofilizada

	Tiempo de congelación	N	Subconjunto	
			1	2
DHS de	6 hrs de congelación	15	4,20	
Tukey(a,b)	15 hrs de congelación	15	4,40	
	9 hrs de congelación	15	4,93	4,93
	12 hrs de congelación	15		5,60
	Significación		0,278	0,360
Duncan(a,b)	6 hrs de congelación	15	4,20	
	15 hrs de congelación	15	4,40	
	9 hrs de congelación	15	4,93	4,93
	12 hrs de congelación	15		5,60
	Significación		0,092	0,105

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

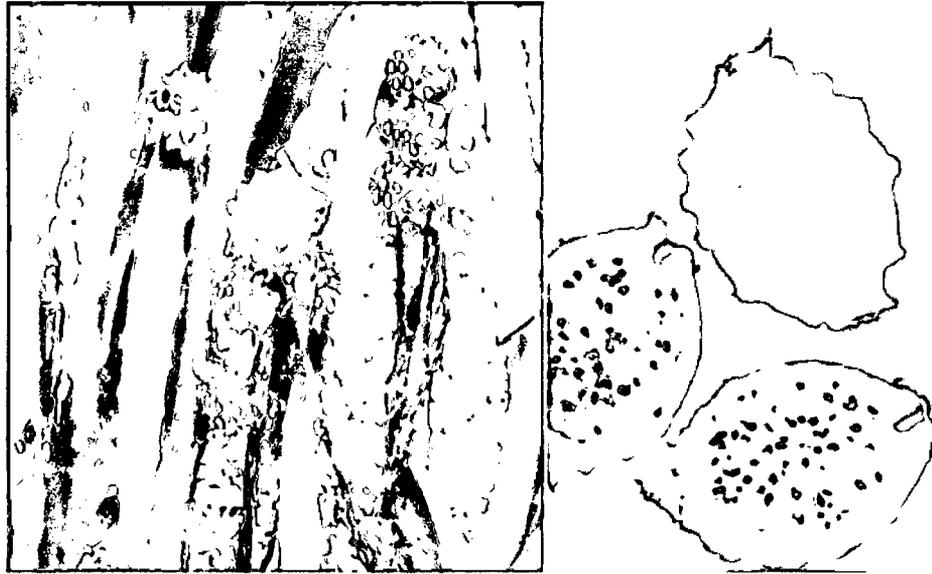
El término error es la Media cuadrática (Error) = 1,217.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 15,000

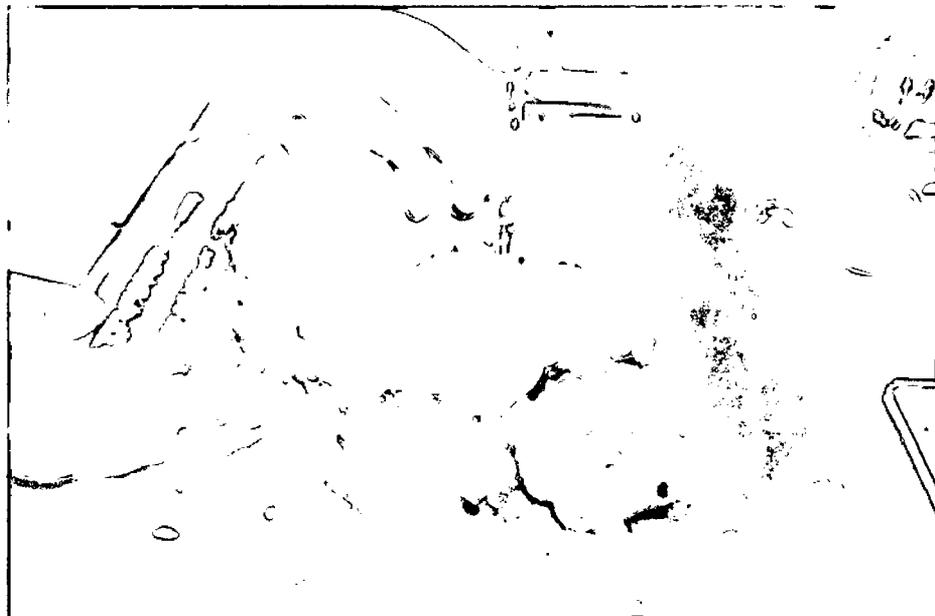
b Alfa = 0,05.

ANEXO F

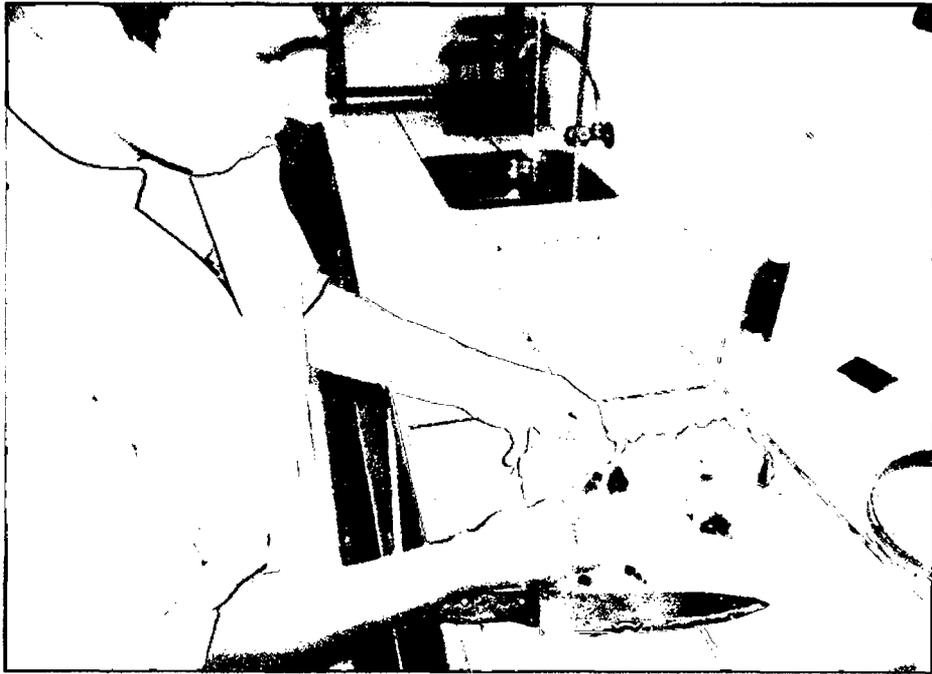
OBTENCIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA LIOFILIZADA



Fotografía 1. Pitahaya amarilla



Fotografía 2. Lavado de la pitahaya



Fotografía 3. Pelado de la pitahaya



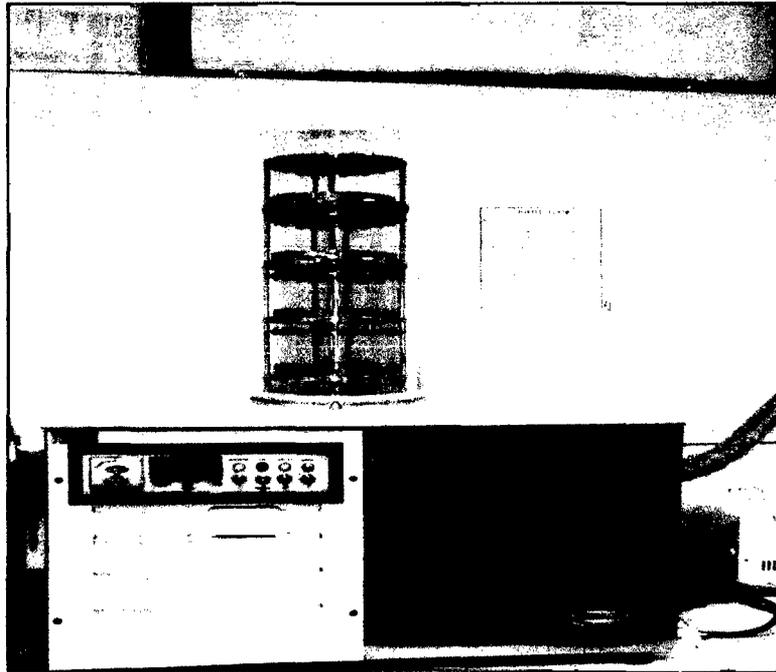
Fotografía 4. Cortado de la pitahaya



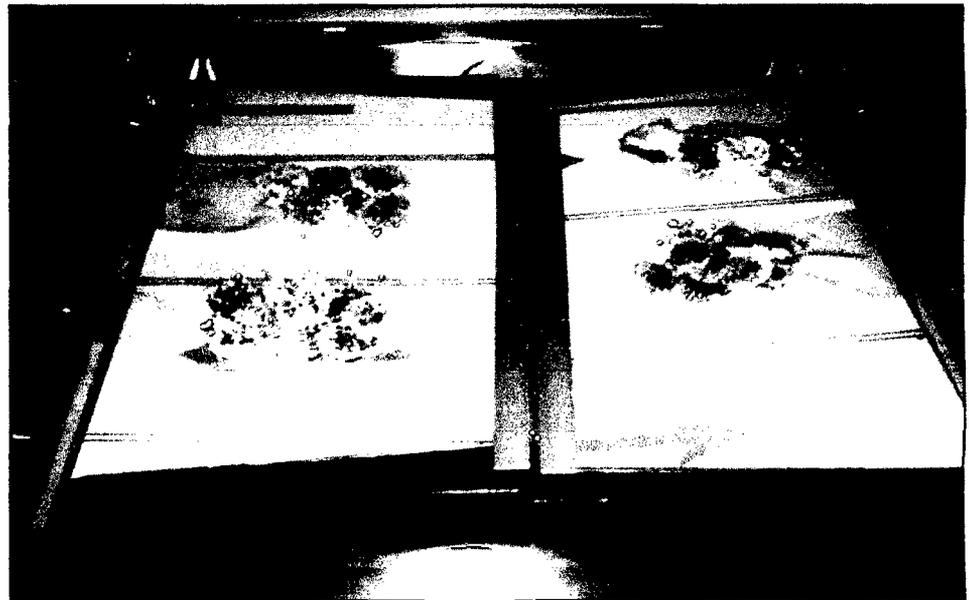
Fotografía 5. Rodajas de pitahaya



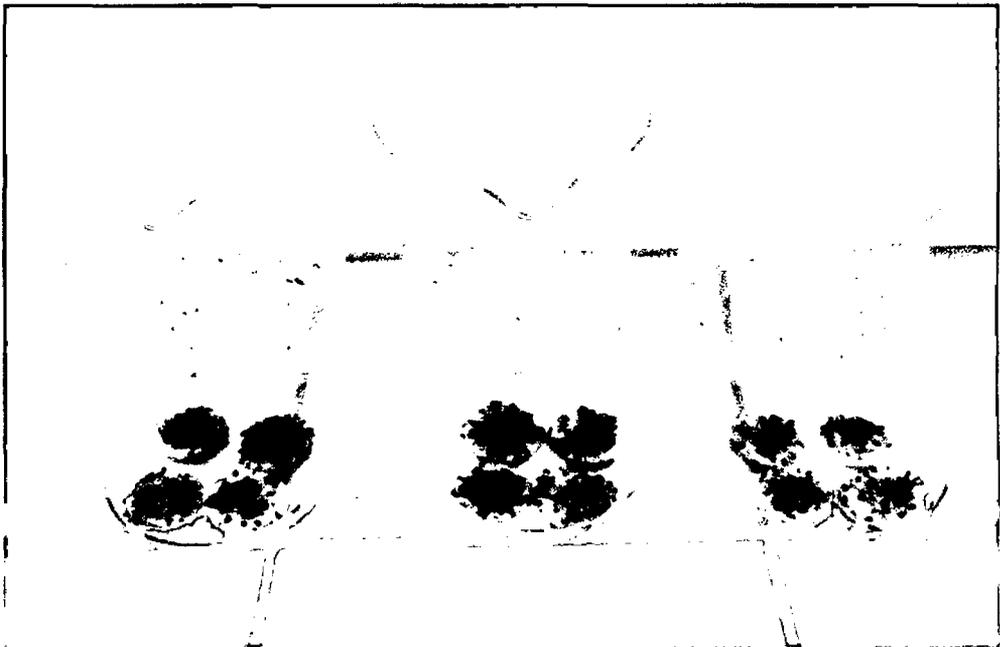
Fotografía 6. Congelación de la pitahaya



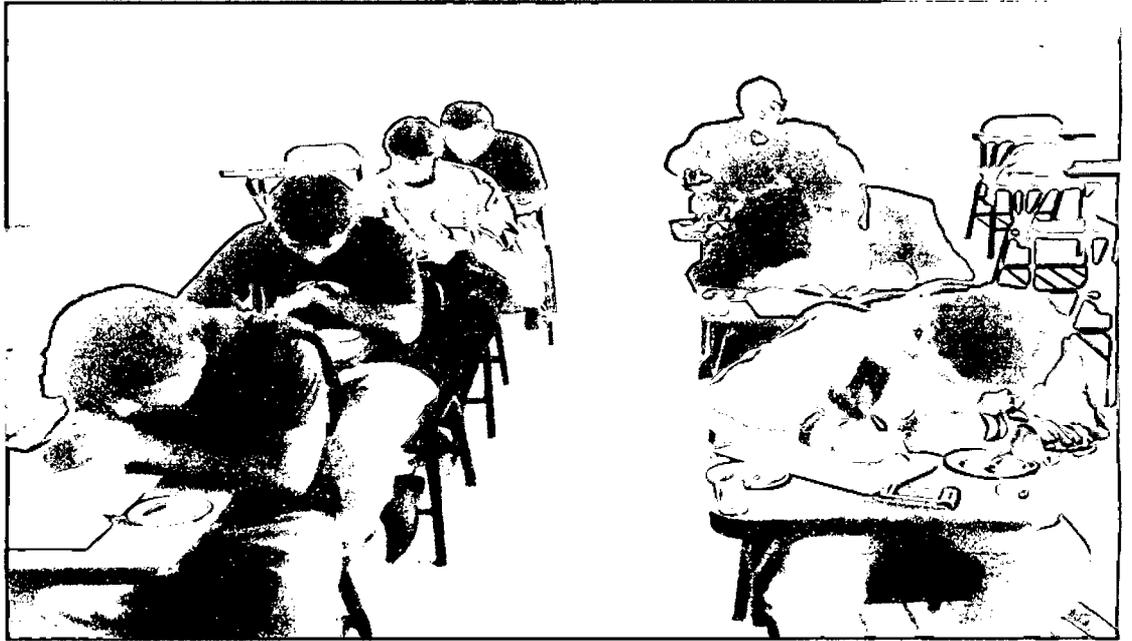
Fotografía 7. Liofilización de la pitahaya



Fotografía 8. Empacado al vacío de la pitahaya liofilizada



Fotografía 9. Capacidad de rehidratación



Fotografía 10. Evaluación sensorial de la pitahaya liofilizada