

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Elaboración de un producto liofilizado a partir de pulpa de  
pitahaya roja”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

Presentado por:

Cristina Borbor Auria

Edgar Loor Calle

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## DEDICATORIA

A Dios por cuidarme y darme fuerzas para no rendirme y continuar durante todos mis años de carrera. A mi mamá, Cristina Auria por todo su amor, paciencia y sacrificio porque sin ella no hubiera podido conseguir este logro. A mi hermana Marjorie Navia y mi sobrino Steven quienes siempre me brindaron su apoyo.

**Cristina Borbor Auria**

A Dios por siempre guiarme y darme fuerzas y para continuar y seguir avanzando.

A mis padres Yenny Calle y Edberto Loor por darme su apoyo, paciencia, amor y ánimos en todo momento porque sin ellos no hubiera podido conseguir este logro.

A mis hermanos que siempre me han brindado consejos y apoyado para no rendirme en los peores momentos.

**Edgar Loor Calle**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi guía a lo largo de mi vida. A mi familia por darme siempre su apoyo. A Azael por su paciencia, apoyo incondicional, sus valiosos consejos y siempre creer en mis capacidades. A Edgar por su perseverancia y dedicación para desarrollar juntos este trabajo. A mis amigos, Geomara, Kevin, Ana, Jani, Tati, Anthony, Paul y Carlos quienes me acompañaron a lo largo de la universidad e hicieron de esta una experiencia gratificante. A mis amigas de la carrera que son bellas y unas niñas tan dulces. A los profesores de la carrera por su formación durante estos años.

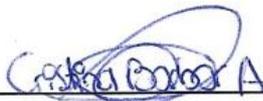
### **Cristina Borbor Auria**

A Cristina por su gran empeño y dedicación para desarrollar juntos este proyecto. A mis amigos Jannia, Tony, Karla, Cristel y Anabelén quienes me enseñaron el significado de la verdadera amistad y por sus ánimos y apoyo en todo momento. A todos los profesores que me enseñaron a amar la carrera y a crecer como persona, en especial a la profesora MSc. María Fernanda Morales que siempre me brindó consejos para mi futuro.

### **Edgar Loor Calle**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Cristina Dennisse Borbor Auria y Edgar Fabián Loor Calle damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

Cristina Borbor Auria



---

Edgar Loor Calle

# EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:

**HAYDEE DEL  
ROCIO TORRES  
CAMBA**

---

**Haydeé Torres Camba, MSc.**

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:

**CESAR MIGUEL  
MOREIRA  
VALENZUELA**

---

**César Moreira Valenzuela, PhD.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) es una fruta tropical rica en vitaminas, minerales, fibra y baja en calorías además de ser considerado un alimento funcional. Con el paso de los años ha ganado popularidad en el mercado internacional aumentando la demanda de exportación y consumo entre los habitantes. El desperdicio de fruta rechazada para exportación puede llegar a alcanzar valores altos de pérdida de fruta, por lo que, al no ser utilizada en ningún proceso las empresas dedicadas a su venta se ven afectadas económicamente, debido a esto se buscan diversas alternativas para aprovechar estos rechazos como el desarrollar un producto liofilizado con un alto valor nutricional para darle un valor agregado a la materia prima no apta para exportación. Se realizó la producción del liofilizado de 3 kg de pitahaya a escala de laboratorio utilizando un liofilizador Labconco de 6 L. Al producto final obtenido se le realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos esperando que cumpla los parámetros de calidad realizando una comparación con normativas, y otros estudios de productos similares. Adicionalmente se realizó una propuesta a través de un layout para la línea de proceso a mayor escala junto con un análisis de costos. Finalmente, el producto liofilizado presentó niveles de reducción por debajo del 90% de humedad, 9.10 °Brix, 3.86 pH y 3.92 mg AG Eq/g cumpliendo así con los parámetros establecidos por las normativas y que la inversión para dicha línea de producción genera ganancias a partir del cuarto año de producción.

**Palabras Clave:** Pitahaya roja, liofilización, molienda, línea de proceso

## **ABSTRACT**

*Red pitaya (Hylocereus undatus) is a tropical fruit rich in vitamins, minerals, fiber and low in calories, as well as being considered a functional food. Over the years it has gained popularity in the international market, increasing demand for export and consumption among the inhabitants. The waste of fruit rejected for export can reach high values of fruit loss, so that, since it is not used in any process, the companies dedicated to its sale are economically affected, due to this, various alternatives are sought to take advantage of these rejections such as developing a lyophilized product with a high nutritional value to give added value to the raw material not suitable for export. The production of the 3 kg pitaya lyophilisate was carried out on a laboratory scale using a Labconco 6 L lyophilizer. Physicochemical and microbiological analyzes were carried out on the final product obtained, hoping that it meets the quality parameters, making a comparison with regulations, and other studies of similar products. Additionally, a proposal was made through a layout for the process line on a larger scale together with a cost analysis. Finally, the lyophilized product presented reduction levels below 90% of humidity, 9.10 °Brix, 3.86 pH and 3.92 mg AG Eq / g, thus complying with the parameters established by the regulations and that the investment for said production line generates profits from of the fourth year of production.*

*Keywords: Red pitaya, lyophilization, process line*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación del problema.....	1
1.3 Objetivos.....	1
1.3.1 Objetivo General.....	1
1.3.2 Objetivos Específicos.....	1
1.4 Marco Teórico.....	2
1.4.1 Pitahaya roja ( <i>Hylocereus undatus</i> ).....	2
1.4.2 Origen y distribución.....	2
1.4.3 Taxonomía y Morfología.....	3
1.4.4 Características fisicoquímicas.....	5
1.4.5 Composición y valor nutricional.....	5
1.4.6 Maduración y tiempo de vida útil.....	6
1.4.7 La pitahaya en relación con la salud.....	7
1.4.8 Proceso de Liofilización.....	8
1.4.9 Aplicaciones y beneficios de la pitahaya liofilizada.....	14

CAPÍTULO 2.....	17
2. Metodología .....	17
2.1 Caracterización de la materia prima .....	17
2.1.1 Contenido de humedad.....	17
2.1.2 Determinación de grados °Brix .....	17
2.1.3 Determinación de pH .....	17
2.1.4 Determinación del contenido de polifenoles totales .....	18
2.2 Proceso de elaboración del liofilizado .....	18
2.2.1 Liofilización de la materia prima.....	18
2.2.2 Diagrama de flujo.....	19
2.2.3 Diagrama de recorrido sencillo .....	19
2.3 Layout de planta piloto .....	19
2.4 Caracterización del producto terminado .....	20
2.4.1 Contenido de humedad.....	20
2.4.2 Determinación de grados °Brix .....	20
2.4.3 Determinación de pH .....	21
2.4.4 Contenido de polifenoles totales .....	21
2.4.5 Análisis microbiológicos de mohos y levaduras .....	21
2.5 Estimación de costos.....	22
CAPÍTULO 3.....	22
3. Resultados y Análisis.....	22
3.1 Caracterización de materia prima y producto terminado .....	22
3.2 Diagramas de proceso .....	26
3.2.1 Diagrama de flujo de proceso .....	26
3.2.2 Diagrama de recorrido sencillo .....	27
3.3 Layout de planta piloto .....	28
3.4 Análisis de costos.....	30

3.4.1	Costos directos .....	30
3.4.2	Costos indirectos .....	30
3.4.3	Punto de equilibrio .....	34
3.4.4	Flujo de caja.....	34
CAPÍTULO 4.....		35
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	35
4.1	Conclusiones.....	35
4.2.	Recomendaciones.....	36
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
SSC	Contenido de sólidos solubles
CA	Acidez titulable
LDL	Lipoproteínas de baja densidad
HDL	Lipoproteínas de alta densidad
PLC	Controlador lógico programable
GAE	Equivalente de ácido gálico
CIBE	Centro de investigaciones biotecnológicas del Ecuador
PDA	Agar de dextrosa y papa
PC	Punto de control
SRI	Servicio de rentas internas
PVP	Precio de venta al público
VAN	Valor actual neto
TIR	Tasa interna de retorno
MP	Materia prima

## SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
KW	Kilowatts
Pa	Pascal
mbar	Milibar
L	Litros
Fe	Hierro
P	Fósforo
μL	Microlitros
kg	Kilogramos
g	Gramos
cm	Centímetros
mm	Milímetros
Cal	Calorías
°C	Celsius
h	Hora
rpm	Revolución por minuto
μm	Micro moles
nm	Nanómetros
UFC	Unidades formadoras de colonias
mm	Milímetros
ppm	Partes por millón
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
N	Nitrógeno
μg	Microgramos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Pitahaya <i>Hylocereus undatus</i> .....	4
Figura 1.2 Pasos del proceso de liofilización.....	9
Figura 1.3 Etapas del proceso de liofilización.....	9
Figura 1.4 Esquema de secado por sublimación.....	10
Figura 1.5 Esquema de un liofilizador .....	13
Figura 1.6 Comparación del contenido nutricional de pitahaya .....	16
Figura 2.1 Símbolos estándar para planificación.....	19
Figura 3.1 Muestra Pitahaya fresca de grado de maduración 1 .....	22
Figura 3.2 Muestra Pitahaya liofilizada de grado de maduración 1 .....	22
Figura 3.3 Muestra Pitahaya fresca de grado de maduración 2 .....	22
Figura 3.4 Muestra Pitahaya liofilizada de grado de maduración 2 .....	22
Figura 3.5 Resultados del algoritmo del software Corelap .....	29
Figura 3.6 Distribución: Áreas de proceso dados .....	29
Figura 3.7 Distribución de las áreas del proceso de pitahaya liofilizada.....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Taxonomía de la pitahaya <i>Hylocereus undatus</i> .....	3
Tabla 1.2. Características de la pitahaya .....	5
Tabla 1.3. Composición nutricional de la pitahaya roja .....	6
Tabla 1.4 Diferencias entre el secado .....	11
Tabla 3.1. Resultados de análisis fisicoquímicos .....	24
Tabla 3.2. Resultados de análisis microbiológicos .....	25
Tabla 3.3 Costos de mano de obra directa.....	30
Tabla 3.4 Costos de mano de obra indirecta .....	31
Tabla 3.5 Costos de materiales indirectos.....	31
Tabla 3.6 Costos de empaque.....	31
Tabla 3.7 Costos de equipos .....	32
Tabla 3.8 Costos de depreciación de equipos.....	32
Tabla 3.9 Costos de insumos .....	33
Tabla 3.10 Mermas del proceso de liofilizado para una pitahaya de 500 kg .....	33
Tabla 3.11 Costos de producción unitarios y pvp .....	34
Tabla 3.12 Punto de equilibrio .....	34
Tabla 3.13 Valores del TIR y VAN.....	34

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2.1 Equipos del proceso.....	22
Diagrama 3.2.1. Diagrama de flujo del proceso.....	26
Diagrama 3.2.2. Diagrama de recorrido sencillo.....	28

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

### 1.1 Descripción del problema

La empresa patrocinadora al tener poco tiempo en el mercado no cuenta con una línea de producción y se dedica principalmente a la venta y exportación de pitahaya roja. Los países donde la fruta es exportada tienen estándares de calidad y presentación para aceptar la fruta, debido a esto aquellas frutas que no cumplen con parámetros establecidos es considerada como rechazo y al momento representa pérdidas para la empresa debido a que no existe un destino final para dicha fruta.

### 1.2 Justificación del problema

Una empresa que se dedica a la exportación de frutos de árboles y arbustos, registran subproductos inutilizados en su operación de pitahaya roja; ya que, existe fruto que no se exporta por estar fuera de calificación (rechazo). Al momento, la empresa está buscando formas de comercializar este rechazo que hoy recibe tratamiento térmico para su conservación (pulpa congelada). Este proyecto busca darle un valor agregado a este fruto rechazado. Para el efecto, se propone que este sea utilizado como materia prima para una nueva línea de proceso que permita la comercialización del rechazo y que genere ingresos adicionales a la empresa, en un futuro mediato. La propuesta puede abarcar al sector exportador de Pitahaya Roja.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un producto liofilizado con un alto valor nutricional a partir de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*), para darle un valor agregado a la materia prima no apta para exportación.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar la línea de proceso para la liofilización de la pitahaya roja.
2. Determinar los parámetros tiempo, presión y velocidad óptimos para

liofilizar la pitahaya roja.

3. Caracterizar el producto final mediante la realización de pruebas de laboratorio estableciéndose aspectos organolépticos, físicos-químicos y microbiológicos.
4. Estimar costos de equipos, infraestructura, mano de obra, materiales, entre otros, de tal manera que se presupueste las necesidades del proyecto.

## **1.4 Marco Teórico**

### **1.4.1 Pitahaya roja (*Hylocereus undatus*)**

La pitahaya es una fruta tropical muy importante ya que es rica en vitaminas, minerales, fibra y baja en calorías que ayuda en la prevención de algunas enfermedades; al aportar con múltiples beneficios, tener un sabor agradable y una apariencia atractiva, en la actualidad se comercializa ampliamente muchos países. Los principales países importadores son Estados Unidos, Alemania, Francia, Países Bajos, Rusia, Reino Unido y Canadá (Rodrigues, De Oliveira, & Sousa, 2018).

A nivel industrial la fruta puede tener los siguientes usos: elaboración de jugos o refrescos usando la pulpa, extracción de aceites esenciales a partir de las semillas, elaboración de dulces, colorante natural o suplementos para la salud a partir de la cáscara, elaboración de tónicos cardíacos que regulan la presión arterial o pueden actuar como laxante; de la cáscara también se puede extraer pectina un compuesto utilizado como agente gelificante, espesante, estabilizador y emulsionante (Rodrigues, De Oliveira, & Sousa, 2018).

### **1.4.2 Origen y distribución**

El término pitahaya cuyo significado haitiano es “fruta escamosa” por las escamas y brácteas en la piel del fruto (Tinitana, 2014); también es comúnmente conocida como fruta del dragón, pertenece a la familia de las *Cactaceae* y se las puede encontrar en dos géneros separados denominados *Hylocereus* y *Selenicereus* (Jalgaonkar, Kumar, Bibwe, & Kannaujia, 2020).

La especie *Hylocereus undatus* se considera nativa del sur de México, Costa

Rica, el Salvador y la costa del Pacífico de Guatemala. Según estudios, se cree que en la época precolombina se distribuyó en diversos países tropicales de América y el Caribe por la dispersión de aves y personas que propagaban y cultivaban la especie por sus frutos comestibles y como fines medicinales (Rojas & Praciak, 2020).

*H. undatus* se adapta con facilidad en diversas áreas, es por esto, que puede crecer en bosques tropicales secos, bosques tropicales caducifolios, matorrales espinosos, bosques costeros y bosques espinosos. Además crecen en áreas rocosas, alteradas, desérticas, matorrales marítimos y bordes de camino (Jalgaonkar, Kumar, Bibwe, & Kannaujia, 2020). Esta especie a nivel mundial se encuentra distribuida en países como Vietnam, Australia, Tailandia, Malasia, México, Israel, Brasil, USA, Colombia y Ecuador (Trujillo, 2014).

### 1.4.3 Taxonomía y Morfología

#### 1.4.3.1 Descripción botánica

La pitahaya roja *Hylocereus undatus* se puede llamar de muchas formas, esto dependerá de la variedad y país de cultivo, esto se detalla en la tabla 1.1; además de su árbol taxonómico y categoría:

**Tabla 1.1. Taxonomía de la pitahaya *Hylocereus undatus***  
[Rojas & Praciak, 2020]

<b>Nombre común o vulgar:</b>	Fruta del dragón, pitahaya, pitaya, pitajaya, flor de cáliz, junco, fresa pera, Bella de la noche, etc.
<b>Categoría:</b>	Fruta
<b>Dominio:</b>	Eukaryota
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Tracheophyta
<b>Orden:</b>	Caryophyllales
<b>Familia:</b>	Cactaceae
<b>Género:</b>	Hylocereus
<b>Especie:</b>	<i>Hylocereus undatus</i>

#### 1.4.3.2 Morfología de pitahaya

La planta es un cactus trepador perenne, se denomina trepador porque son

capaces de desarrollar raíces aéreas en la parte inferior del tallo que facilitan el anclaje en troncos, rocas o paredes; y pueden absorber agua (Osuna, y otros, 2016). Los tallos son triangulares normalmente de 3 ángulos, aunque a veces pueden tener entre 4 a 5, son de color verde oscuro, alargados que pueden medir hasta 6 m según sus condiciones de cultivo y poseen muchas ramificaciones (Rodrigues, De Oliveira, & Sousa, 2018). Tienen 3 costillas que miden entre 1,6 - 2,6 cm de largo, los bordes de las aristas entre las areolas son convexas y están separados a una distancia entre 2 – 4 cm entre sí; cada aréola tiene aproximadamente entre 1-3 espinas cortas que miden 3mm de largo. En las ramificaciones, axilares a las espinas están las yemas cuya función es producir tallos o flores (Trujillo, 2014).

Las flores son grandes, alargadas y en forma de campana, miden alrededor de 29 cm de largo y 23 cm de ancho; el color de sus pétalos es verde o amarillo verdoso (Verona, Urcia, & Paucar, 2020). La piel del fruto es de color rojo-rosa y está cubierta por brácteas rojas y verdes en las puntas; en el interior se encuentra pulpa que posee un sabor característico agrídulce, esta representa el 60 a 80% del peso total de la fruta, es transparente y contiene miles de pequeñas semillas negras distribuidas homogéneamente (Ver Figura 1.1) (Le Bellec, Vaillant, & Imbert, 2006). La fruta tiene forma de una baya carnosa, ovoide cuyas dimensiones son entre 6 – 12cm de largo y 25,5 – 29,1 de ancho; su peso oscila entre 300 – 800g, algunos pueden pesar hasta 900g (Verona, Urcia, & Paucar, 2020).



**Figura 1.1 Pitahaya *Hylocereus undatus***  
[Jalgaonkar, Kumar, Bibwe, & Kannaujia, 2020]

#### 1.4.4 Características fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas de la pitahaya dependen de factores como condiciones climáticas, ubicación geográfica del cultivo y variedad (Vargas, y otros, 2020). En la tabla 1.2 se muestra las características para la especie *Hylocereus undatus*:

**Tabla 1.2. Características de la pitahaya**  
[Le Bellec, Vaillant, & Imbert, 2006]

Característica	Valor Promedio	Unidad
Peso	300 – 800g	g
Sólidos solubles totales	16 – 18	°Brix
pH	5,72	-
Acidez titulable	2,4 – 3,4	g/L

#### 1.4.5 Composición y valor nutricional

La pitahaya roja proporciona un bajo aporte calórico y posee un alto valor nutricional en comparación con la variedad de color amarilla, en su composición se destaca el alto contenido en ácido ascórbico o vitamina C, carbohidratos, fibra, fósforo, calcio y niacina. Valores de hidratos de carbono entre 9 – 15 g por cada 100g de fruta se absorben lentamente en el sistema por la acción de la fibra presente en la pitahaya, siendo un alimento ideal para personas con diabetes (Andrade, 2015).

La textura gelatinosa de la pulpa se debe a la fibra presente en el fruto; esta textura otorga varios beneficios al consumidor, entre ellos regular el tracto digestivo, ayuda en el estreñimiento y colesterol, entre otros (Andrade, 2015). Además, es una fruta rica en betacianinas, este componente tiene como función eliminar radicales libres y antioxidantes siendo beneficiosos para personas que tienen enfermedades metabólicas (Verona, Urcia, & Paucar, 2020).

Las semillas de la pitahaya poseen un contenido notable de ácidos grasos para la especie *Hylocereus undatus* predominan ácido linoleico, oleico y palmítico siendo 50,8%, 21,5% y 12,6% respectivamente (Hai, Linh, Huynh, & Quintella, 2021). La tabla 1.3 detalla la composición de la pitahaya roja:

**Tabla 1.3. Composición nutricional de la pitahaya roja [Rodrigues, De Oliveira, & Sousa, 2018]**

Componentes	Valor	Unidad
Calorías	36	Cal
Agua	89	%
Carbohidratos	9,2	g
Proteína	0,5	g
Grasa	0,1	g
Fibra	0,3	g
Cenizas	0,5	g
Vitamina C	25	mg
Fósforo	19	mg
Calcio	6,0	mg
Hierro	0,4	mg
Niacina	0,2	mg
Riboflavina	0,03	mg
Tiamina	0,01	mg

#### **1.4.6 Maduración y tiempo de vida útil**

La pitahaya se considera una fruta climatérica, aunque, esto puede cambiar según su tipo de cosecha. El criterio de madurez que más se destaca en la fruta es cuando se observa que las brácteas cambian a un color amarillo. Otros parámetros por considerar son el peso, contenido de sólidos solubles (SSC), betacianinas, calificación sensorial como sabor, firmeza, mucílago, contenido de almidón y acidez titulable (TA) (Jalgaonkar, Kumar, Bibwe, & Kannaujia, 2020). En la investigación de (Jalgaonkar, Kumar, Bibwe, & Kannaujia, 2020) se menciona que es recomendable que la proporción de SSC y TA sea de 40:1 para garantizar una fruta de calidad.

El tiempo de vida útil de la pitahaya a 20°C se estima que es entre 10 – 12 días porque disminuye la calidad de la pulpa al perder su sabor característico agrídulce. A temperaturas de almacenamiento entre 4 – 8°C en refrigeración después de 15 – 18 días, la cáscara presenta lesiones como marchitamiento de brácteas y fisuras en la piel reduciendo la calidad externa del fruto pero, la

parte interna no presenta cambios sensoriales (Vargas, y otros, 2010).

#### **1.4.7 La pitahaya en relación con la salud**

La pitahaya roja es una fruta con un alto valor nutricional, al tener un alto contenido de ácido ascórbico dicho compuesto ayuda a la producción de colágeno, leucocitos, huesos y dientes; adicionalmente, ayuda a la prevención de enfermedades o infecciones y absorción de hierro (Fe) de los alimentos (Verona, Urcia, & Paucar, 2020); también posee una actividad antioxidante previniendo enfermedades cardiovasculares, respiratorias, urinarias, gastrointestinales y cáncer (Abirami, y otros, 2021).

En el estudio de (Hai, Linh, Huynh, & Quintella, 2021) indicaron que el consumo continuo de 600g de fruta sin interrupción de la toma de sus medicamentos encontraron una tendencia general a observar una mayor reducción en los niveles de glucosa, colesterol total y colesterol LDL en la sangre; además del aumento del colesterol HDL (Hai, Linh, Huynh, & Quintella, 2021).

Además, la fruta actúa como prebiótico, esto se debe a que la fruta contiene carbohidratos como glucosa (86,2 g/Kg), fructosa (89,6 g/Kg), entre otros oligosacáridos que estimulan el desarrollo de lactobacilos y bifidobacterias y disminución de bacterias perjudiciales como clostridios. Además, sus propiedades provocan que el sistema inmune reaccione a altas concentraciones de inmunoglobulina A y G (Hai, Linh, Huynh, & Quintella, 2021).

La ingesta regular de frutos secos nos puede brindar varios beneficios para la salud debido a que son fuentes esenciales de potasio y fibra dietética con poca cantidad de grasa (0,32 a 0,93 g / 100 g). La ingesta de 40 g por porción de frutos secos nos brinda entre 3,8 y 9,9% de potasio y más del 9% de fibra dietética para la ingesta dietética recomendada (RDA) en adultos. Uno de los beneficios al ingerir una gran cantidad de potasio es ayudar al organismo a reducir la presión arterial, y por su contenido de fibra, son recomendados para reducir el riesgo de desarrollar diversas enfermedades, como diabetes tipo II,

obesidad, diverticulitis, cáncer colorrectal y enfermedades cardiovasculares (Chang, Alasalvar, & Fereidoon, 2016).

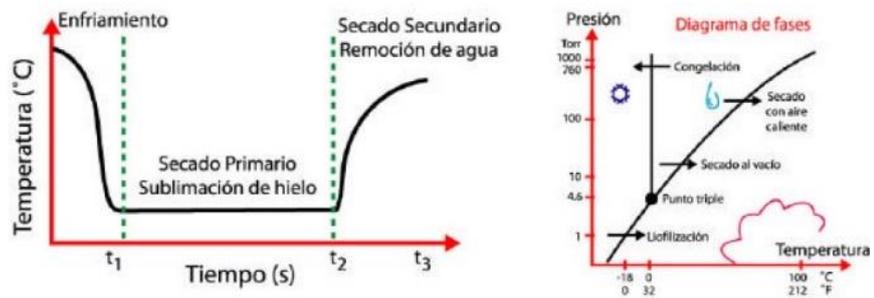
Existen estudios que reportan que la pitaya roja por los compuestos bioactivos que contiene la fruta modifica procesos cancerígenos específicos, incluyendo el metabolismo del cáncer, equilibrio hormonal, metástasis, apoptosis, entre otros. Estudios recientes indican que el extracto de pitahaya juega un papel importante para la prevención y tratamiento de cáncer de mama (Almeida, y otros, 2017); la pitahaya también es una fruta rica en fenoles, pero, su perfil fenólico difiere según la variedad, en el estudio de Kim, 2011 determinaron que el contenido de polifenoles y flavonoides era más alto para la pitahaya de variedad roja.

#### **1.4.8 Proceso de Liofilización**

##### **1.4.8.1 Principio**

La liofilización es un proceso de secado mediante la etapa de sublimación con el propósito de reducir las pérdidas de compuestos que le brindan el sabor y aroma a los alimentos, que generalmente se ven alterados al realizar procesos de deshidratados convencionales. Esta operación se basa en dos etapas fundamentales; la primera etapa consiste en congelar al producto y la segunda etapa se basa en realizar un secado por sublimación del hielo a través de una reducción de la presión (Orrego Alzate, 2008).

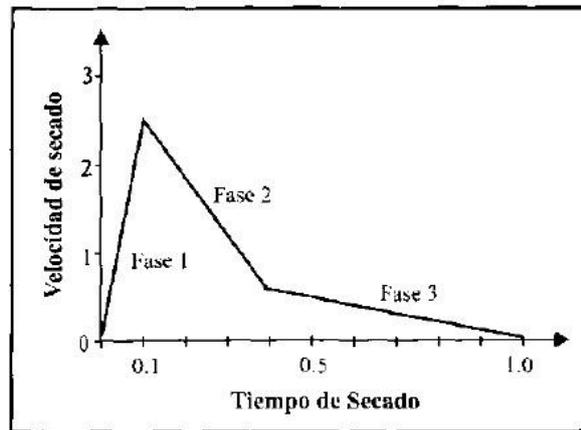
Es un proceso de conservación de productos biológicos sin la utilización de conservantes o productos químicos y es un método muy adecuado para preservar frutas, vegetales, carnes, peces y alimentos en general. El diagrama de fases de la figura 1.2 nos muestra que el agua congelada se sublima si la temperatura se encuentra a 0°C o menos y se coloca en una cámara de vacío con una presión de 4,6 Torr o menos. En estas condiciones, el agua permanece congelada y la velocidad con que las moléculas de agua salen del bloque de hielo es mayor que la de las moléculas del ambiente que vuelven a incorporarse al bloque congelado (Ramírez Navas, 2006).



**Figura 1.2 Pasos del proceso de liofilización (Izq.) y Diagrama de fases del agua (Der.) [Ramírez Navas, 2006]**

### 1.4.8.2 Etapas

El proceso de liofilización se basa en tres etapas generales esquematizadas en la figura 1.3.



**Figura 1.3 Etapas del proceso de liofilización [Orrego Alzate, 2008]**

En la figura 1.3 se muestra las etapas del proceso de liofilización, donde la primera fase es conocida como la etapa conductiva en la cual primero ocurre un calentamiento de la muestra mientras la velocidad de sublimación incrementa rápidamente hasta alcanzar un máximo. Esta fase es de corto tiempo, aproximadamente entre un 10 y 15% del tiempo total del proceso.

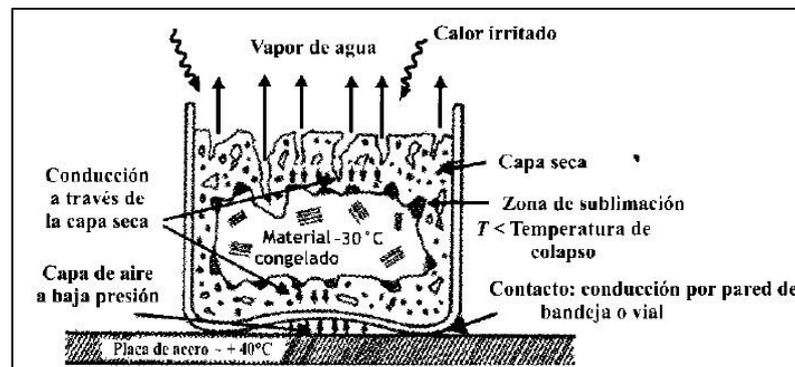
En la segunda fase ocurre la primera etapa de difusión disminuyéndose la velocidad de sublimación a causa de la aparición de un film poroso de materia seca que opone una obstrucción de flujo creciente de calor y al vapor mediante el avance del deshidratado.

En estas dos primeras etapas se lleva a cabo la reducción de agua del

producto en aproximadamente un 75-90%.

En la tercera fase se lleva a cabo la segunda etapa de difusión en la cual la velocidad de sublimación tiende a un valor de cero dado que el calor que se necesita para eliminar el agua ligada es mayor al calor de sublimación. La difusividad de los aromas se reduce propensamente cuando la humedad es pequeña, en esta etapa se puede aumentar la temperatura del calentamiento y del producto hasta valores aproximados de 50°C, dependiendo del material que se trate.

En todo proceso de secado, coexisten los fenómenos de transferencia de masa y calor, combinándose los gradientes de temperatura y presión, para vencer las fricciones dadas por el volumen de la muestra y sus propiedades físicas. Esto es relevante dado que a menor volumen, menor resistencia en el flujo de calor y masa para atravesar la muestra. La figura 1.4 muestra un esquema del secado por sublimación, cómo se puede observar la transferencia de calor da por conducción, convección y radiación, dominado la radiación al operarse en bajas presiones. (Orrego Alzate, 2008).



**Figura 1.4 Esquema de secado por sublimación [Orrego Alzate, 2008]**

### 1.4.8.3 Ventajas

Uno de los cambios físicos y ventaja que presentan los productos liofilizados es la disminución de peso del producto luego de la liofilización que varía dependiendo del producto entre 50-90%. Los productos liofilizados también conservan sus propiedades sensoriales (textura, sabor, olor). En comparación con los productos secados con otros métodos, los

productos liofilizados pueden rehidratarse de manera más rápida y completamente. Dicha calidad de rehidratación depende de una serie de condiciones como la cantidad de agua, el pH, la temperatura y la duración del proceso. Otra ventaja es que la congelación rápida generalmente ofrece al producto una buena textura mientras que una congelación lenta destruye la textura del producto y luego de la rehidratación el producto suele ser deficiente (Urs, 2019).

(Fellows, 2000), presentó un cuadro de las diferencias entre el secado convencional y la liofilización (Tabla 1.4).

**Tabla 1.4 Diferencias entre el secado [Fellows, 2000]**

Secado convencional	Liofilización
Recomendado para obtener alimentos secos (verduras y granos)	Recomendado para la mayoría de los alimentos pero se ha limitado a aquellos que son difícil de secar a través de otros métodos
Es poco satisfactorio para carne	Recomendado para carnes crudas y cocidas
Rango de Temperatura 37 – 93°C	Temperaturas debajo del punto congelación
Presiones atmosféricas	Presiones reducidas (27–133 Pa)
Se evapora el agua de la superficie del alimento	Se sublima el agua del frente de congelación
Movimiento de solutos y lo que causa algunas veces endureciendo	Movimiento mínimo de solutos
Las tensiones en alimentos sólidas causan daño estructural y encogimiento	Cambios estructurales o encogimiento mínimos
Rehidratación incompleta o retardada	Rehidratación completo o rápido
Partículas porosas secas tienen a menudo una densidad más alta que el alimento original	Partículas porosas secas tienen una densidad más baja que el alimento original
Olor y sabor frecuentemente anormal	Olor y sabor normalmente intensificado
Color frecuentemente más oscuro	Color normal
Valor nutritivo reducido	Nutrientes retenidos en gran porcentaje
Costos generalmente bajos	Costos generalmente altos, aproximadamente cuatro veces más que el secado convencional

#### **1.4.8.4 Equipos y tipos de liofilizadores**

Los distintos tipos de secadores se identifican por el método utilizado para brindar calor a la superficie de los alimentos. Los liofilizadores de conducción y radiación se utilizan comercialmente, actualmente también se utiliza el secado por congelación por microondas (Fellows, 2000).

##### **Liofilizadores de contacto**

Los alimentos son colocados en bandejas acanaladas que se encuentran sobre placas térmicas. Estos liofilizadores secan de manera más lenta que otros diseños dado que el calor es transferido por conducción en un solo lado de la superficie del alimento. Debido a esto se da un contacto desigual entre los alimentos congelados y la superficie calentada, reduciendo aún más la tasa de transferencia de calor. Existe también una caída de presión a través del alimento resultando en diferencias entre las velocidades de secado entre las capas superior e inferior y las partículas finas de producto pueden arrastrarse en el vapor y perderse. Aun así, los liofilizadores de contacto poseen mayor capacidad que otros tipos (Fellows, 2000).

##### **Liofilizadores por radiación**

Utilizan radiación infrarroja para calentar capas poco profundas de alimentos situados en bandejas planas. El secado es más uniforme que en los tipos de conducción, debido a que las irregularidades de la superficie de los alimentos poseen un menor efecto en la tasa de transferencia de calor. En este tipo de liofilizador no existe caída de presión a través del producto por lo cual se dan condiciones de secado constantes. Se utilizan bandejas planas, que son más económicas y fáciles de limpiar (Fellows, 2000).

##### **Liofilizadores de microondas**

Son calentadores que utilizan ondas de radiofrecuencia y poseen un uso potencial en la liofilización, sin embargo, no son utilizados ampliamente a escala comercial. Son difíciles de manipular dado el agua tiene un factor de pérdida más alto que el hielo y cualquier derretimiento local del hielo

provoca un sobrecalentamiento "descontrolado" en una reacción en cadena (Fellows, 2000).

#### 1.4.8.5 Partes de un liofilizador

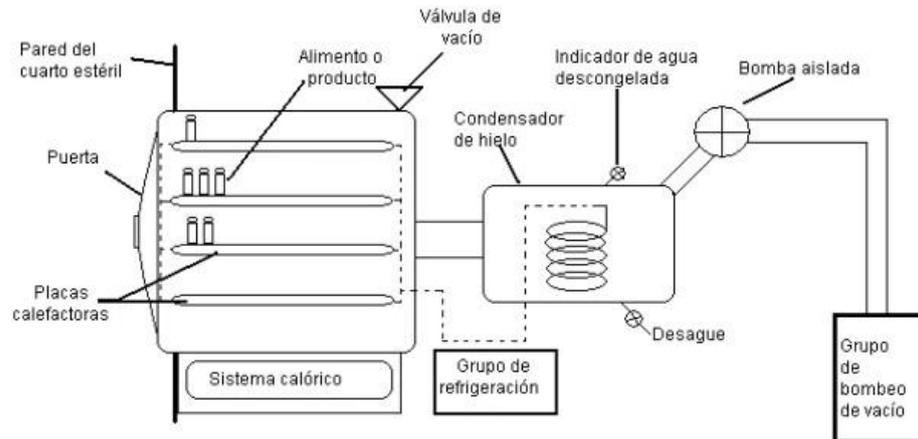


Figura 1.5 Esquema de un liofilizador [Ramírez Navas, 2006]

#### La cámara de secado

La figura 1.5 muestra las partes de un liofilizador. La celda de secado posee las repisas en las cuales se sitúa el producto a liofilizar. Diversos equipos contienen dentro de la celda un pistón que facilita el sellado de frascos. La puerta es de un material acrílico regularmente y contiene un cristal transparente, de diseño flotante, para permitir un asentamiento uniforme del sello. La cámara se vincula al condensador por medio de una válvula para crear un alto vacío, lo que permite una mínima resistencia al paso de los vapores de la sublimación del producto (Santarrosa, 2013).

#### Estantes

Se encuentran dentro de la cámara de secado para colocar la muestra, contienen sistemas eléctricos para el calentamiento y enfriamiento. Son lisos y uniformes, facilitando así un mejor acoplamiento de la base con el producto que se deposite sobre ellos (Santarrosa, 2013).

#### Condensador y sistema frigorífico

Ayuda a condensar los vapores de sublimación y es independiente de la

cámara. Posee en su interior un serpentín, y su enfriamiento se da por expansión directa del gas refrigerante. El sistema frigorífico sirve para disminuir la temperatura en el equipo (Santarrosa, 2013).

#### **Sistema de vacío**

Consta de una bomba de vacío con sello de aceite, válvulas vacío y tuberías de interconexiones (Santarrosa, 2013).

#### **Panel de control**

Consta de un panel eléctrico para controlar el proceso de manera automática durante el comienzo y fin de este (Santarrosa, 2013).

#### **1.4.8.6 Aplicaciones de la liofilización**

Los alimentos liofilizados han tenido un gran auge en con el fin de preparar productos para astronautas, montañistas y comandos militares, pero actualmente el mercado se está ampliando al usuario común, gracias a las firmas alimentarias que descubrieron los liofilizados por su sabor intenso, consistencia crocante, carácter novedoso y la ventaja de mantener las características nutricionales del alimento (Ramírez Navas, 2006).

En la industria de alimentos se han hecho diversos estudios como analizar condiciones de liofilizado de puré de naranja y como afecta a las condiciones del proceso en los cuales Matheus (2018), concluyó que existe un efecto significativo e importante de la temperatura, y, en menor medida de la presión de secado en la duración del proceso. Para conseguir una muestra con un determinado contenido de humedad, liofilizar a 50°C y presión menor a 1 mbar, resultan en las mejores condiciones para acortar el tiempo de proceso, independientemente de la velocidad de congelación de la muestra.

#### **1.4.9 Aplicaciones y beneficios de la pitahaya liofilizada**

En la liofilización la calidad, el contenido nutricional y características organolépticas de los liofilizados tanto como sabor y color no se ven afectadas

significativamente por el proceso, es por esto, que a nivel industrial se le atribuyen aplicaciones como: elaboración de bebidas lácteas, bebidas fermentadas, bebidas energizantes, refrescos, jaleas, dulces y productos repostería (Pinn, Ching, Pek, & Sook, 2016).

De acuerdo con el estudio realizado por Díaz Camposano (2020) en el cual analizan las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y sensoriales de una bebida fermentada utilizando pitahaya roja liofilizada y lactosuero llegando a la conclusión que, al adicionar liofilizado de pitahaya en la bebida, aumenta el contenido fenólico y capacidad antioxidante.

En otro estudio realizado por Ayala (2010) en el cual se utilizaron pitahayas amarillas frescas de variedad (*Selenicereus megalanthus*) donde recibieron cortes para el tratamiento de secado de 40mm de diámetro y 5mm de altura. El tipo de liofilizador utilizado fue uno de bandejas (Labconco, 6 L, USA), las condiciones de congelación fueron de  $-35^{\circ}\text{C}$  y la velocidad, fue determinada mediante registros de tiempos y temperaturas utilizando un termómetro electrónico (Spersscientific, USA.). La presión de sublimación se estableció con un valor de 8 Pa, el calor de sublimación fue proporcionado por 3 láminas ubicadas en el interior de la cámara del liofilizador. Para la determinación de las curvas de secado el producto se calentó desde  $-35^{\circ}\text{C}$  hasta  $35^{\circ}\text{C}$  y registrándose la variabilidad de humedad. El proceso de liofilización fue de 12h.

Finalmente los resultados y conclusiones obtenidos por este estudio nos indican que la liofilización puede utilizarse para reducir la actividad de agua en la pitahaya con valores menores de 0,4; preservando el volumen, provocando un incremento en la porosidad, y una rehidratabilidad similar a su valor inicial de humedad. Por otro lado, el método de secado por liofilización a diferencia de otros métodos conserva su valor nutricional, de acuerdo con el estudio de Rojas G. (2012) el contenido de ácido ascórbico obtenido por el método de liofilización es de  $15,772 \text{ mg/Kg}$  mientras que por secado por atomización fue de  $12,76 \text{ mg/Kg}$ . En la figura 1.6 se muestra el contenido nutricional obtenido

para la pitahaya liofilizada y deshidratada del estudio de Santarrosa (2013):

<b>PARAMETROS</b>	<b>PITAHAYA FRESCA</b>	<b>PITAHAYA LIOFILIZADO A - 44 °C</b>	<b>PITAYAHA DESHIDRATADA DE 55 A 60 °C</b>
<b>HUMEDAD (%)</b>	80.62	6.69	3.83
<b>CENIZAS (%)</b>	1.522	1.55	1.75
<b>AZUCARES TOTALES</b>	22.3	19.82	20.51
<b>AZUCARES REDUCTORES (%)</b>	29.3	29.2	20.31
<b>FIBRA (%)</b>	5.25	6.87	5.62
<b>GRASA (%)</b>	0,53	0,29	0.46
<b>PROTEINA (%)</b>	9.15	6.21	8.15
<b>pH</b>	4.65	6.31	6.10
<b>ACIDEZ</b>	5.72	1.24	1.10

**Figura 1.6 Comparación del contenido nutricional de pitahaya fresca, liofilizada y deshidratada [Santarrosa, 2013]**

# CAPÍTULO 2

## 2. Metodología

Se recolectaron aproximadamente 3kg de pitahaya roja, donde 1½ Kg era primer grado de maduración haciendo referencia a la fruta no madura (Grado 1) y 1½ Kg de segundo grado de maduración siendo la fruta madura (Grado 2) en la hacienda “Las Cabuyas” ubicada en Isidro Ayora, provincia del Guayas, Ecuador (Ver Apéndice A). Se utilizó aproximadamente 2 kg para la elaboración del liofilizado y 1 kg para los análisis de la materia prima.

### 2.1 Caracterización de la materia prima

#### 2.1.1 Contenido de humedad

Se utilizó el método de secado por termobalanza. Se conectó y encendió la termobalanza marca KERN modelo MLB 50-3, paso seguido se calentó la termobalanza, luego se ajustó el parámetro de temperatura a 100°C para la muestra a analizar (pitahaya roja) tomando como referencia los parámetros de una fruta con un contenido de agua similar para poder determinar el peso de la muestra a colocar en el equipo; una vez esto, se taró el equipo y se colocó aproximadamente entre 5 – 8g de muestra en el platillo de aluminio. Se cerró la tapa y se presionó el botón “start” dos veces para que inicie el análisis. Transcurrido el tiempo de secado, se realizó la lectura y registro del resultado.

#### 2.1.2 Determinación de grados °Brix

La medición de grados °Brix se realizó en un refractómetro manual ATC de marca HHTEC, previo a su uso se calibró el equipo colocando 2 gotas de agua destilada obtenidas de un reservorio en el laboratorio de Bromatología, en el prisma de iluminación, se cerró y se observó que la lectura de la escala sea cero la cual indicó su correcta calibración. Una vez esto, se limpió y colocó 2 gotas de muestra sobre el prisma, se cerró el cubreobjetos y se observó a través de la lente la lectura de grados Brix de la muestra.

#### 2.1.3 Determinación de pH

Se tomó como método de referencia la NTE INEN 389:1985-12 Conservas

Vegetales: Determinación de Concentración del Ion Hidrógeno (pH). Se comprobó el correcto funcionamiento del pH-metro digital marca BOECO modelo BT-600 y calibró con buffer 4, 7 y 10. Posterior, se diluyó 10g de muestra en 100mL de agua destilada previamente hervida y enfriada, se agitó suavemente y dejó reposar para que el líquido se decante. El pH se determinó introduciendo el electrodo en el vaso de precipitación con la muestra evitando tocar las paredes del vaso ni partículas sólidas.

#### **2.1.4 Determinación del contenido de polifenoles totales**

El contenido de polifenoles totales se determinó por espectrofotometría empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu, el cual consistió en la toma de 1g de cada muestra (Grado 1 y Grado 2), se dejó en agitación a 200rpm y 22,5°C por 16h en una solución de metanol absoluto y ácido clorhídrico al 37% en una relación de 1000:1. Los resultados fueron expresados en equivalentes de ácido gálico (GAE  $mg/g$ ).

La curva patrón se elaboró con una solución estándar de ácido gálico de 450  $\mu m/mL$ , y se prepararon soluciones de 4,5, 9, 22,5, 45, 90 y 135  $\mu m/mL$ . Para el procedimiento de la cuantificación de fenoles se prepararon disoluciones de 1/50, 1/20 y 1/10 para cada muestra, luego se tomó 100  $\mu L$  posterior se añadió 250  $\mu L$  de la solución buffer de carbonato sódico ( $Na_2CO_3$ ) al 7,5%, más 625  $\mu L$  de agua ultrapura (MilliQ) y por último se adicionó 25  $\mu L$  del reactivo Folin. Se agitaron los tubos y se incubaron por 2h a temperatura ambiente. La lectura de la absorbancia se realizó en el equipo Biotek a 739nm, utilizando un plato multipocillo donde se añadieron 200  $\mu L$  de cada uno de los tubos.

## **2.2 Proceso de elaboración del liofilizado**

### **2.2.1 Liofilización de la materia prima**

Se utilizó un liofilizador marca Labconco de 6 litros. Se congeló la muestra previamente troceada con dimensiones de 2 x 2cm de largo y ancho, y 0,5cm de espesor con nitrógeno líquido proporcionado por el CIBE, se procedió a colocar la muestra en los envases del liofilizador separándolas por grado de madurez, luego se establecieron los parámetros de temperatura (-86°C) y

presión de vacío (0,003mbar) del liofilizador y, finalmente se procedió a liofilizar la muestra por 168h.

### 2.2.2 Diagrama de flujo

Este diagrama presentó de forma secuencial el proceso para la elaboración del producto liofilizado junto con los aspectos tecnológicos del proceso, en el mismo también se detalla los parámetros y puntos de control.

### 2.2.3 Diagrama de recorrido sencillo

Este diagrama indicó la secuencia del flujo de materiales a través de las distintas etapas del proceso basándose en una simbología que identifica distintas acciones las cuales pueden ser de 5 tipos: operación, almacenamiento, transporte, inspección y espera; la simbología se muestra en la figura 2.1 (Casp Vanaclocha, 2005).

Símbolos y acción en los diagramas de flujo*		Símbolos para identificar actividades y áreas		Blanco y negro	Identificación por color
○	Operación	○	Proceso o fabricación		Verde**
		○	Montaje		Rojo**
▽	Almacenamiento	▽	Actividades/áreas de almacén		Naranja Amarillo**
⇒	Transporte	⇒	Actividades/áreas de transporte		Naranja Amarillo**
□	Inspección	□	Áreas de control/inspección		Azul**
D	Espera	D	Áreas de espera		Naranja Amarillo**
			Áreas/actividades de servicios		Azul**
			Oficinas, administración		Marrón** (Gris)

\* ASME standard    \*\* IMMS standard

**Figura 2.1 Símbolos estándar para planificación**  
[Casp Vanaclocha, 2005]

### 2.3 Layout de planta piloto

La distribución de equipos de la planta piloto se realizó utilizando el software

Corelap, para obtener la distribución de los departamentos.

## 2.4 Caracterización del producto terminado

### 2.4.1 Contenido de humedad

Se calentó previamente la termobalanza marca KERN modelo MLB 50-3, se ajustó el parámetro de temperatura a 100°C para la muestra a analizar (pitahaya liofilizada) tomando como referencia los parámetros de un producto con un contenido de agua similar; una vez esto, se taró el equipo y se colocó aproximadamente entre 5 – 8g de muestra en el platillo de aluminio. Se cerró la tapa y se presionó “start” dos veces para que inicie el análisis. Transcurrido el tiempo de secado, se realizó la lectura del resultado y registró.

### 2.4.2 Determinación de grados °Brix

Se tomó como referencia la NTE INEN 380:1985-12 Conservas vegetales. Determinación de sólidos solubles. Método Refractométrico para determinar el contenido de sólidos solubles en el polvo de pitahaya roja liofilizada.

La medición de grados °Brix se realizó en un refractómetro manual ATC de marca HHTEC, previo a su uso se calibró el equipo colocando 2 gotas de agua destilada obtenidas de un reservorio en el laboratorio de Bromatología, en el prisma de iluminación, se cerró y observó que la lectura de la escala sea 0 la cual indicó su correcta calibración. Para la preparación de la muestra dado que es un producto seco, se pesó 1g de muestra y disolvió en 1 mL de agua destilada, luego se colocó 2 gotas de la muestra diluida sobre el prisma, se cerró el cubreobjetos y observó a través de la lente la lectura de grados Brix de la muestra. Para obtener los grados °Brix reales dado que la muestra se diluyó, se empleó la siguiente fórmula:

$$^{\circ}Brix = \frac{P * M_1}{M_0} \quad (2.1)$$

Donde:

P: % (m/m) de sólidos solubles en la solución diluida

$M_0$ : masa (g) de la muestra previa a la dilución.

$M_1$ : masa (g) de la muestra luego de la dilución.

### 2.4.3 Determinación de pH

Se realizó el mismo procedimiento del apartado 2.1.3 Determinación de pH en “Caracterización de materia prima” tomando como método de referencia la NTE INEN 389:1985-12 Conservas Vegetales: Determinación de Concentración del Ion Hidrógeno (pH).

### 2.4.4 Contenido de polifenoles totales

Se realizó el mismo procedimiento del apartado 2.1.4. Determinación del contenido de Polifenoles totales en “Caracterización de materia prima” tomando como referencia la metodología de Folin-Ciocalteu.

### 2.4.5 Análisis microbiológicos de mohos y levaduras

Se tomaron como métodos de referencia la NTE INEN 1529-2:99 Control microbiológico de los alimentos toma, envío y preparación de muestra para el análisis microbiológico y NTE INEN 1529-10:2013 para el recuento de placas por siembra en profundidad.

Se pesó 10g de muestra en una funda estéril y se le añadió 90mL de agua de peptona estéril, se mezcló la solución agitando cuidadosamente por 10 segundos. Posterior, se tomó 1mL de la solución madre ( $10^{-1}$ ) y se colocó en un tubo con 9mL de agua de peptona estéril, se agitó por 10 s aspirando varias veces con una nueva pipeta estéril obteniendo la solución  $10^{-2}$ . Se repitió este paso hasta obtener 3 diluciones en total. Se realizó la siembra en superficie por duplicado de las diluciones seleccionadas usando placa Petri con agar PDA. Una vez realizada la siembra, se incubó las placas a  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$  en aerobiosis por 5 días (hacer conteo después de 2 días y luego 5). Pasado el tiempo, se escogió aquellas cajas Petri que tenían entre 15 - 150 colonias, el conteo se realizó por medio del contador de colonias. Se registró el número de colonias y sus respectivas diluciones. El cálculo de microorganismos se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\sum c}{V(n_1 + 0.1n_2)d} \text{ (UFC/g)} \quad (2.2)$$

Donde:

$\sum c$ : Sumatoria de las colonias en todas las placas.

$V$ : Volumen sembrado en cada placa Petri.

$n_1$ : Número de placas de primera dilución que se puede contar.

$n_2$ : Número de placa de la segunda dilución que se puede contar.

$d$ : Factor de dilución (primera dilución que se pudo contar).

## 2.5 Estimación de costos

Para la estimación de costos no se consideró el costo de la materia prima debido a que se utilizará pitahaya que no cumpla con requisitos de exportación o de rechazo; sin embargo, se consideraron los siguientes componentes materiales, mano de obra directa e indirecta, equipos, servicios de luz y agua. Los equipos que se consideraron para la línea de proceso del liofilizado de la pitahaya se muestran en el diagrama 2.1. Por otro lado, se realizó un análisis financiero donde se calculó el flujo de cajas con una proyección de 5 años para determinar los ingresos y gastos de dinero que tendrá la empresa; además, se calculó el TIR y VAN para determinar la rentabilidad de la inversión en el proyecto asumiendo una tasa de descuento del 12%.

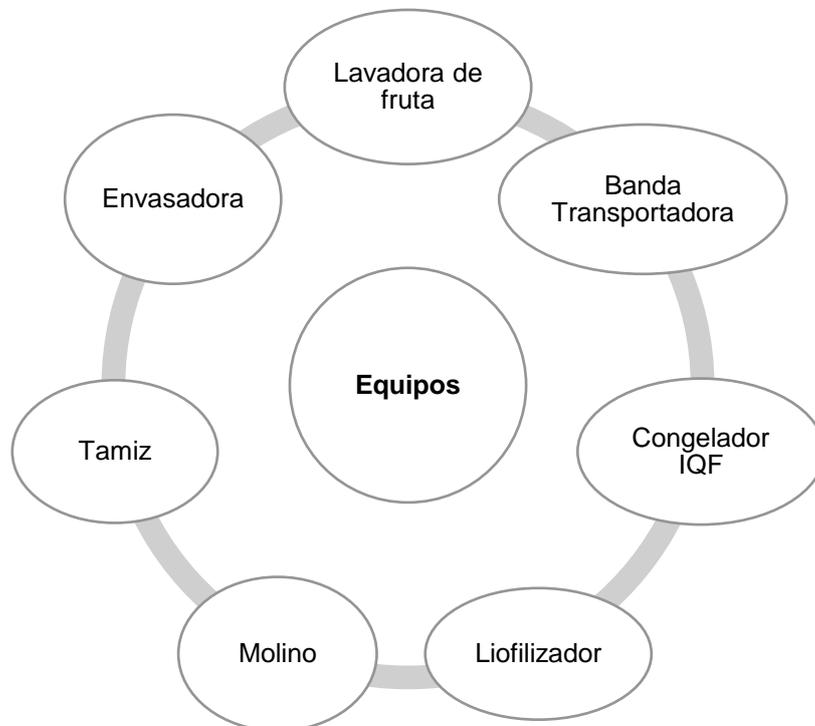


Diagrama 2.1 Equipos del proceso [Elaboración propia]

# CAPÍTULO 3

## 3. Resultados y Análisis

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos aplicando la metodología planteada en el capítulo 2. Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la caracterización de la materia prima y del producto terminado, se detalló el diagrama de flujo del proceso y de recorrido sencillo; seguido de la distribución de equipos para el diseño de la planta piloto empleando el software Corelap. Por último, se realizó un análisis de costos de producción del proceso.

### 3.1 Caracterización de materia prima y producto terminado

En las figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se observan las muestras de pitahaya fresca y pitahaya liofilizada con sus respectivos grados de maduración, las cuales fueron sometidas a distintos análisis proximales. La tabla 3.1 detalla los valores de los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas y la tabla 3.2 los valores de los resultados de las pruebas microbiológicas.



**Figura 3.1 Muestra Pitahaya fresca de grado de maduración 1**



**Figura 3.2 Muestra Pitahaya liofilizada de grado de maduración 1**



**Figura 3.3 Muestra Pitahaya fresca de grado de maduración 2**



**Figura 3.4 Muestra Pitahaya liofilizada de grado de maduración 2**

**Tabla 3.1. Resultados de análisis fisicoquímicos**  
[Elaboración propia]

Parámetros	Unidad	Pitahaya Fresca		Pitahaya Liofilizada	
		Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2
		Humedad	%	72,51	76,75
Brix°	%	11	14	11,2	18,2
pH	-	3,669	4,363	4,562	3,858
Polifenoles totales	<i>mg ác. gálico</i> <i>Eq/g</i>	0,500	0,534	3,039	3,922

De los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos se puede observar que las propiedades fisicoquímicas de la materia prima obtenida de la hacienda “Las Cabuyas” estos valores son similares a los obtenidos por Santarrosa (2013) y por Vera (2011), y además guardan una relación a valores de requisitos presentes en la normativa NTE INEN 2003, 2015 Frutas frescas pitahaya amarilla. Requisitos. Respecto a las muestras de pitahaya liofilizada de grado 1 y grado 2 presentan un contenido de humedad por debajo del 7% siendo 6,68 y 4,15 respectivamente cumpliendo así con los valores referenciales establecidos en la normativa NTE INEN 2996, 2015 Productos deshidratados. zanahoria, zapallo, uvilla. Requisitos, tomando estos valores como referencia dado a que no existe una referencia exclusiva para pitahaya roja deshidratada. Por otro lado, para los resultados de los grados °Brix se obtuvo 11,2 y 18,2% para los grados de maduración 1 y 2 respectivamente; se observó que para el grado de maduración 2 los sólidos solubles presentaron una mayor concentración, esto se debe a que esta fruta presentó un mayor nivel de maduración antes del proceso de liofilización. Con respecto al pH, la pitahaya es una fruta ácida y después de la liofilización, obteniendo un pH de 4,562 en el grado 1 y 3,858 para el grado 2. Finalmente de los resultados de polifenoles totales el mayor valor obtenido se presentó en la pitahaya liofilizada de grado 2 siendo de 3,922 *mg ác. gálico Eq/g*, estos valores fueron superiores a los obtenidos por otros estudios como los realizados por Kim (2011) los cuales presentaron valores de 1,95 *mg ác. gálico Eq/g* y por Huamani & Paucar (2018) con valores de 206 *mg ác. gálico Eq/100g*. La variabilidad en el

contenido de polifenoles totales se puede ver afectada por el método de extracción con distintos solventes, y por el estado de madurez de la fruta. La pitahaya siendo una fruta tropical y al haber sido expuesta por tiempos prolongados a la luz y a variaciones de temperatura durante los análisis, en la cual, puede ganar humedad aumenta el riesgo de presentar pérdidas de contenidos fenólicos. Varios autores reportaron porcentajes de pérdida de polifenoles que van desde el 10 al 40% durante el proceso de liofilización para diversas frutas tropicales: fruta estrella, mango, papaya, melón, sandía dado que los polifenoles son susceptibles a los daños térmicos y por ende existirá pérdida durante varias operaciones de proceso (Cedeño Arroyo, 2017).

**Tabla 3.2. Resultados de análisis microbiológicos**  
[Elaboración propia]

Parámetro	Unidad	Pitahaya Liofilizada		Requisitos NTE INEN 2996:2015
		Grado 1	Grado 2	
Mohos y levaduras	$UFC/mL$	$N_e < 1,1 \times 10^2$	$N_e < 6,4 \times 10^1$	$1,0 \times 10^2$

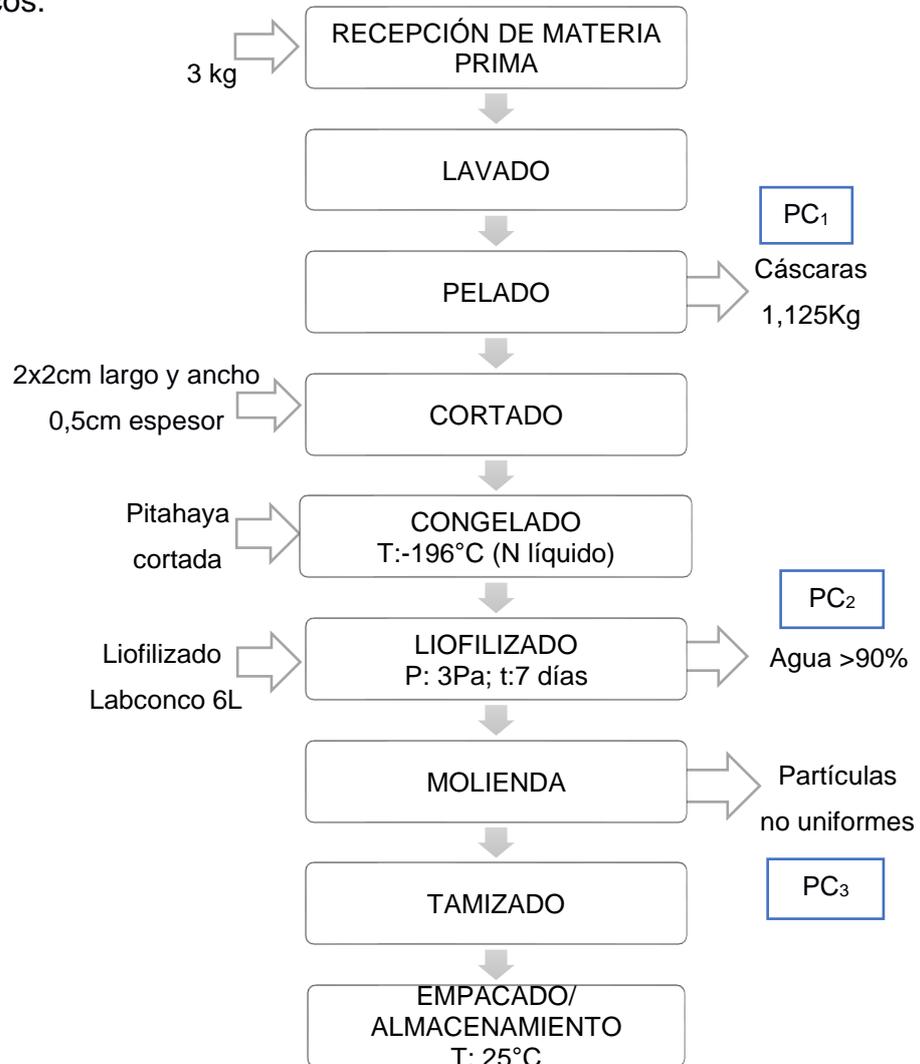
De los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos se puede observar que la pitahaya liofilizada de Grado 1 está fuera de parámetro la cual establece que es permitido hasta  $1,0 \times 10^2 \text{ UFC}/mL$ , esto indica que la muestra contaba con las condiciones propicias para que se desarrollen estos microorganismos. Es decir, la muestra posee un pH de 4,562 y al ser ácido este pH favorece el desarrollo de las levaduras ya que tienen como pH óptimo de crecimiento 4,5 y en mohos es de 3,5; el contenido de humedad de la muestra pese a ser bajo, es decir, del 6,68% tienen una gran capacidad de rehidratabilidad, por lo que, ganan humedad con facilidad. Es por esto, que las etapas de envasado y almacenamiento del producto son factores críticos para evitar la proliferación de estos, ya que los hongos en su mayoría son microorganismos aerobios que se desarrollan a temperaturas entre 25 a 30°C (Musto, 2013). Por lo que, otro factor determinante para el crecimiento de mohos y levaduras en las muestras de pitahaya liofilizada fueron las condiciones de almacenamiento debido a que durante la realización de los análisis fisicoquímicos el producto estuvo en constante manipulación y en contacto con el ambiente ocasionando un ambiente propicio para su desarrollo. Finalmente, la

muestra liofilizada de Grado 2 cumple con los requisitos establecidos en la normativa.

### 3.2 Diagramas de proceso

#### 3.2.1 Diagrama de flujo de proceso

El diagrama de flujo del proceso para la liofilización de la pitahaya roja se tomó como referencia del estudio de Rodríguez, consta de 10 etapas y se detallan en el Diagrama 3.2.1 junto con las condiciones de operación en la etapa de congelado, liofilizado y almacenamiento. Además, se muestra los Puntos de Control (PC) recomendados para la elaboración del producto dado que estos pueden representar un peligro de contaminación tanto químicos, físicos o biológicos.



**Diagrama 3.2.1. Diagrama de flujo del proceso**  
[Elaboración propia]

**Recepción de la materia prima:** Se utilizó 1,5kg de pitahaya fresca de grado 1 de maduración y 1,5kg de pitahaya fresca de grado 2 de maduración obtenida de la hacienda “Las Cabuyas”.

**Lavado:** Se lavaron las frutas, luego se desinfectó con una solución de Hipoclorito de sodio a 100 ppm por 5 minutos.

**Pelado:** Se realizó un pelado manual de la fruta eliminando la cáscara.

**Cortado:** Se cortó la fruta pelada manualmente en cubos de 2x2cm de largo y ancho y 0,5cm de espesor con el fin de que el liofilizado del producto sea uniforme.

**Congelado:** Se congeló con nitrógeno líquido obtenido del CIBE 321 g de muestra de pitahaya de Grado 1 y Grado 2, obteniendo una temperatura de congelación aproximadamente de -196°C.

**Liofilizado:** Se liofilizó aproximadamente 321 g por cada muestra de pitahaya por 7 días de lo cual se obtuvieron las siguientes cantidades: 55,9 g para el grado 1 y 48,4 g para el grado 2.

**Molienda:** Se trituró las muestras de pitahaya liofilizada de los diferentes grados de maduración empleando una licuadora, para el grado 1 se obtuvo luego de esta etapa 54,1 g y mientras que para el grado 2 se obtuvo 48,1 g.

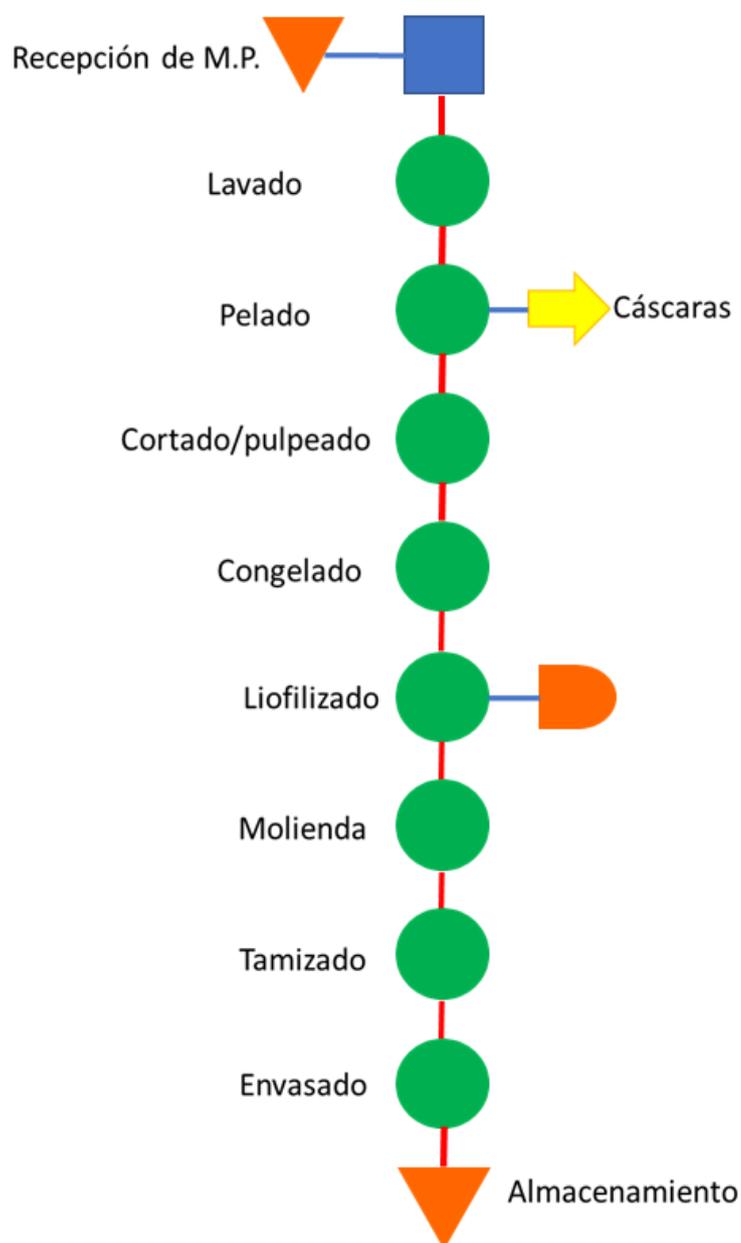
**Tamizado:** Se utilizó un tamiz para obtener partículas uniformes de las muestras de pitahaya liofilizada.

**Empacado/Almacenamiento:** Se empacó las muestras de pitahaya liofilizada de Grado 1 y Grado 2 en fundas de polipropileno metalizada con cierre zipper en presentaciones de 100g y se almacenaron a temperatura ambiente ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.2.2 Diagrama de recorrido sencillo

Para el diseño del diagrama de recorrido sencillo que se muestra en el Diagrama 3.2 se consideraron las etapas del diagrama de flujo de proceso del

apartado 3.2.1, las simbologías específicas que se emplean para describir el tipo de actividad que corresponde a cada etapa; tales como: inspección (■), operación (●), espera (◐), transporte (→) y almacenamiento (▼) los define (Casp Vanaclocha, 2005).



**Diagrama 3.2.2. Diagrama de recorrido sencillo [Elaboración propia]**

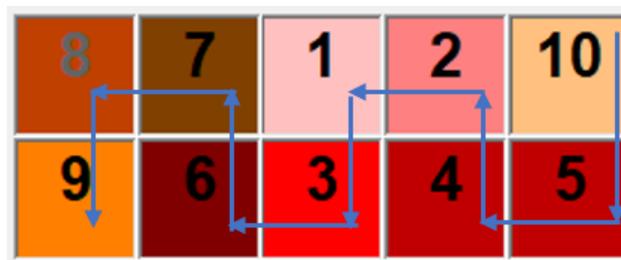
### **3.3 Layout de planta piloto**

Se realizaron los respectivos cálculos de las áreas para cada departamento tomando en cuenta las dimensiones de los distintos equipos utilizados en el

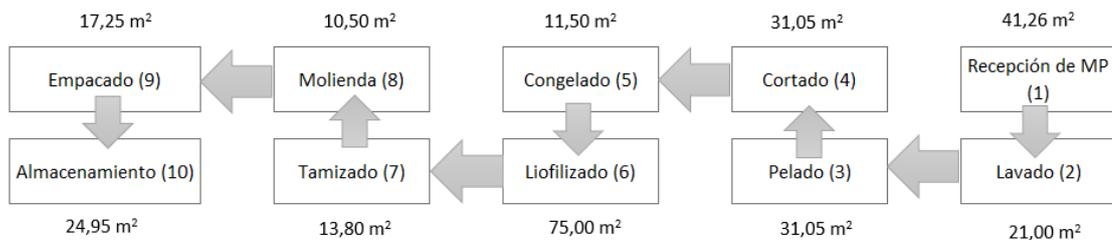
proceso de liofilización de pitahaya. En la figura 3.5 y 3.6 respectivamente se muestran los resultados del algoritmo del programa en el cual nos indica la separación de los distintos departamentos. Finalmente, la figura 3.7 nos muestra la distribución de las áreas del proceso de pitahaya liofilizada con sus respectivas superficies en m<sup>2</sup>.

N° Departamentos= 10		
Superficie Disponible= 300		
Superficie Requerida= 277,36		
Nombre Dept.	TCR	Superficie
*****	***	*****
1. Congelado	31	75
2. Cortado	30	31,05
3. Liofilizado	30	11,5
4. Pelado	28	31,05
5. Lavado	22	21
6. Molienda	28	13,8
7. Tamizado	26	10,5
8. Empacado	24	17,25
9. Almacenado	22	24,95
10. Recepción MP	13	41,26

**Figura 3.5 Resultados del algoritmo del software Corelap [Elaboración propia]**



**Figura 3.6 Distribución: Áreas de proceso dados [Elaboración propia]**



**Figura 3.7 Distribución de las áreas del proceso de pitahaya liofilizada [Elaboración propia]**

Por último, en el Apéndice J se mostró la distribución de la planta empleando el programa AutoCAD, el layout se diseñó tomando como referencia el resultado obtenido en Corelap. La ubicación se realizó de forma inversa, conservando el mismo orden obtenido; además, se consideró para el diseño del layout otras áreas a futuro como recursos humanos, departamento médico, calidad, bodegas y despacho.

### 3.4 Análisis de costos

#### 3.4.1 Costos directos

##### Costos de mano de obra directa

En la tabla 3.3, se detallaron los costos de mano de obra directa para el proceso de elaboración de pitahaya liofilizada, donde se consideran los sueldos básicos para los operarios y un sueldo acorde al mercado para el supervisor de producción, adicionalmente considerando también los beneficios por ley y capacitaciones para el personal.

**Tabla 3.3 Costos de mano de obra directa [Elaboración propia]**

MANO DE OBRA DIRECTA							
Rubro	Cantidad	Salario mensual	Beneficios sociales				Total
			Fondos de reserva	Décimo tercero	Décimo cuarto	Aporte patronal	
Capacitaciones	0	\$ 150,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 150,00
Operadores	17	\$ 407,12	\$ 33,91	\$ 33,93	\$ 33,93	\$ 45,39	\$ 9.422,77
Supervisor de producción	1	\$ 750,00	\$ 62,48	\$ 62,50	\$ 62,50	\$ 83,63	\$ 1.021,10
Total							\$ 10.443,87

#### 3.4.2 Costos indirectos

##### Mano de obra indirecta

En la tabla 3.4 se muestran los costos, para un volumen de producción bajo de 1 batch de media tonelada por día, el personal de mantenimiento realizaría sus labores de monitoreo diariamente en una jornada laboral de 8 horas, además, teniendo en cuenta que procesar toda la materia prima no abarcaría todo el mes completo.

**Tabla 3.4 Costos de mano de obra indirecta [Elaboración propia]**

MANO DE OBRA INDIRECTA							
Rubro	Cantidad	Salario mensual	Beneficios sociales				Total
			Fondos de reserva	Décimo tercero	Décimo cuarto	Aporte patronal	
Encargado de mantenimiento	1	\$ 750,00	\$ 62,48	\$ 62,50	\$ 62,50	\$ 83,63	\$ 1.021,10

### **Materiales indirectos**

En la tabla 3.5 se detallan los materiales indirectos considerados durante el proceso de producción, detallando sus valores unitarios y totales.

**Tabla 3.5 Costos de materiales indirectos [Elaboración propia]**

Materiales	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Cuchillo pelador	10	\$ 7,00	\$ 70,00
Mesas de acero inoxidable	2	\$ 205,00	\$ 410,00
Gavetas plásticas 60x40x22cm	15	\$ 5,00	\$ 75,00
Metro de manguera con alma de acero	5	\$ 10,00	\$ 50,00
Medidor de humedad y °Brix portátil	2	\$ 247,00	\$ 494,00
Medidor de pH portátil	2	\$ 69,00	\$ 138,00
Fundas de basura	100	\$ 0,02	\$ 2,00
Mandiles industriales de plástico	20	\$ 2,50	\$ 50,00
Mascarillas	500	\$ 0,10	\$ 50,00
<b>TOTALES</b>		\$ 545,62	\$ 1.339,00

### **Costos de empaque**

En la tabla 3.6 se muestran los costos de empaque para el envasado del producto final.

**Tabla 3.6 Costos de empaque [Elaboración propia]**

COSTO DE EMPAQUE				
Empaque	Cantidad en Kg	Costo por Kg	Costo total (x unidad)	Costo total de producción
Polipropileno metalizado	0,14	\$ 1,00	\$ 0,14	\$5.875,80

### Costos de equipos

En la tabla 3.6 se detallan los costos para la adquisición de los equipos industriales para el procesamiento de pitahaya liofilizada.

**Tabla 3.7 Costos de equipos [Elaboración propia]**

Equipo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Balanzas	2	\$ 182,00	\$ 364,00
Lavadora de frutas	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Banda transportadora	1	\$ 720,00	\$ 720,00
Congelador IQF	1	\$ 15.800,00	\$ 15.800,00
Liofilizador	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Tamiz (5-500mesh)	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Molino industrial vacío (20-800mesh)	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Envasadora	1	\$ 7.256,00	\$ 7.256,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 230.958,00</b>	<b>\$ 231.140,00</b>

### Depreciación de equipos

En la tabla 3.7 se detallaron los costos de depreciación de los equipos utilizados para el proceso de pitahaya liofilizada. Se tomó en cuenta el índice de depreciación establecido por el SRI, el cual nos indica, que, para equipos y maquinarias, el porcentaje de depreciación anual es del 10% (Derecho Ecuador, s.f.).

**Tabla 3.8 Costos de depreciación de equipos [Elaboración propia]**

Equipo	Vida útil (años)	Cantidad	Precio unitario	Precio total	Depreciación anual
Balanzas	10	\$36,40	\$ 182,00	\$ 364,00	\$ 3,03
Lavadora de frutas	10	\$250,00	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 20,83
Banda transportadora	15	\$48,00	\$ 720,00	\$ 720,00	\$ 4,00
Congelador IQF	15	\$1.053,33	\$ 15.800,00	\$ 15.800,00	\$ 87,78
Liofilizador	15	\$13.333,33	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 1.111,11
Tamiz (5-500mesh)	15	\$166,67	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 13,89
Molino industrial vacío (20-800mesh)	20	\$100,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 8,33
Envasadora	10	\$725,60	\$ 7.256,00	\$ 7.256,00	\$ 60,47
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 231.140,00</b>	<b>\$15.713,33</b>

### Costos de insumos

La tabla 3.8 nos detalla los costos de los insumos de energía eléctrica y agua para una producción de 279,85 Kg/h.

**Tabla 3.9 Costos de insumos [Elaboración propia]**

Recursos	Producción: 279,85Kg/h			
	Unidad	Cantidad	COSTO	
			Unitario	Total
Agua potable	m <sup>3</sup>	0,7	\$ 0,55	\$ 0,39
Energía eléctrica	KW/h	117,31	\$ 0,09	\$ 10,56
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 10,94</b>

### Costos de producción

En la tabla 3.9 se detallan los porcentajes de mermas para cada etapa del proceso de liofilización obteniendo un porcentaje de rendimiento del 55,97% detallados en el apéndice E para la producción de liofilizado de una muestra de 500 kg. En la tabla 3.10 se detallan los costos de producción unitarios y de venta al público del polvo de pitahaya liofilizado en una producción de 279,85 Kg/h, siendo estos los valores de \$5,04 y \$7,01 respectivamente.

**Tabla 3.10 Merms del proceso de liofilizado para una pitahaya de 500 kg [Elaboración propia]**

Proceso	% Merma	Cantidad de producto (kg)
Recepción	0,00%	500
Lavado	0,00%	500
Pelado	25,00%	375
Cortado	5,00%	356,25
Congelado	0,00%	356,25
Liofilizado	15,57%	300,78
Molienda	2,06%	294,58
Tamizado	5,00%	279,85
Envasado	0,00%	279,85
Almacenamiento	0,00%	279,85

**Tabla 3.11 Costos de producción unitarios y PVP [Elaboración propia]**

<b>Costo Directo</b>	<b>\$ 10.443,87</b>
Mano de obra directa	\$ 10.443,87
<b>Costo Indirecto</b>	<b>\$ 3.669,54</b>
Materiales	\$ 1.339,00
Mano de obra indirecta	\$ 1.021,10
Depreciación de equipos	\$ 1.309,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 4.113,41</b>
<b>Costo unitario</b>	<b>\$ 5,04</b>
<b>Margen de ganancia</b>	<b>39%</b>
<b>PVP</b>	<b>\$ 7,01</b>

### 3.4.3 Punto de equilibrio

En la tabla 3.11 se detalla el punto de equilibrio, el cual indicó que para compensar los costos fijos y variables de la producción de liofilizado se deben vender 5309 fundas de 100 gramos de producto liofilizado.

**Tabla 3.12 Punto de equilibrio [Elaboración propia]**

<b>Costos fijos</b>	<b>\$ 10.443,87</b>
<b>Costos unitarios</b>	<b>\$ 5,04</b>
<b>Precio</b>	<b>\$ 7,01</b>
<b>Punto de equilibrio</b>	<b>5309</b>

### 3.4.4 Flujo de caja

En el Apéndice K, se muestra el flujo de caja donde se consideró la cantidad de producciones al año proyectando a 5 años. Los resultados del TIR y VAN se detallan en la tabla 3.13, donde se obtuvo 19% y \$94.103,02 respectivamente, estos cálculos se realizaron asumiendo una tasa de descuento del 12%.

**Tabla 3.13 Valores del TIR y VAN [Elaboración propia]**

<b>Tasa de descuento</b>	<b>12%</b>
<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	<b>\$ 94.103,02</b>
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	<b>19%</b>

# CAPÍTULO 4

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- Se diseñó una línea de proceso para la elaboración de polvo de pitahaya roja *Hylocereus undatus*, además se establecieron los parámetros de tiempos y temperaturas adecuados para la liofilización del producto siendo estos de 168h y presión de 3Pa.
- La congelación rápida a través del uso de nitrógeno líquido de la materia prima nos ayudó a evitar la producción de humedad y la formación de cristales de hielo grandes en la materia prima, alteraciones en las propiedades del alimento; además de evitar la proliferación de microorganismos alterantes y patógenos.
- Los análisis microbiológicos fueron aceptables para la pitahaya liofilizada de grado de maduración 2, sin embargo, esta formación de mohos en ambos productos tanto en grado 1 como en grado 2, se atribuye a diversos factores como la manipulación del producto para los otros tipos de análisis, además de que al encontrarse el empaque del producto abierto durante la toma de muestras este puede ganar humedad.
- El valor obtenido en los resultados de polifenoles totales en la pitahaya liofilizada concuerda con diversos estudios, sin embargo, estos pudieron presentar valores más elevados al evitar tener la muestra en contacto con la luz por tiempos prolongados. No obstante, en la materia prima se dieron valores bajos de polifenoles debido a que estas muestras tuvieron variaciones de temperaturas prolongadas durante la realización de los análisis.
- El tipo de empaque es un factor que influye en el contenido de polifenoles y otras propiedades nutricionales, es por esto, que en el producto terminado su concentración presentó buenos resultados, mientras que para la materia prima al almacenarla en empaques transparentes están en contacto con la luz ocasionando la pérdida de dichas propiedades.
- La muestra de pitahaya roja del grado de maduración 2 haciendo referencia a la fruta madura presentó mejores resultados en los análisis fisicoquímicos

y microbiológicos realizados además de que presentó una mejor apariencia y textura, debido a esto se recomienda utilizarla para el proceso del polvo liofilizado.

- La línea de proceso para un producto liofilizado requiere un coste de inversión elevado debido al costo del equipo liofilizador por cual según un análisis de costos realizado para este proceso las ganancias se verían reflejas a partir del 4to año de producción. Cabe mencionar que se consideró la misma producción de unidades para todos los años, la cual puede aumentar dependiendo de la demanda del producto en el mercado.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Realizar más pruebas fisicoquímicas a la muestra de pitahaya liofilizada de grado de maduración 2 para poder realizar un etiquetado con el contenido nutricional adecuada del producto.
- Realizar un inventario adecuado para determinar los kg reales de rechazo de materia prima para el proceso de liofilización.
- Almacenar correctamente el producto liofilizado evitando la exposición a la luz y humedad para conservar mejor sus características además de evitar contaminaciones y pérdidas nutricionales.
- Dado que el proceso del liofilizado fue realizado a escala de laboratorio, se deberán determinar nuevamente los parámetros de liofilización en caso de utilizar un liofilizador industrial.
- La utilización de guantes en el proceso de pelado y cortado manual es importante para evitar contaminaciones cruzadas.
- Al tener una materia prima que posee contenido de vitamina C, es recomendable realizar un escaldado del alimento luego de la etapa del lavado para inactivar las reacciones enzimáticas y así evitar pérdida de estos nutrientes.
- Realizar un estudio para determinar el tiempo de vida útil del polvo de pitahaya liofilizada.

# BIBLIOGRAFÍA

- Abirami, K., Swain, S., V, B., Venkatesan, K., Sakthivel, K., & Bommayasamy, N. (2021). Distinguishing three Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) species grown in Andaman and Nicobar Islands of Indica using morphological, biochemical and molecular traits. *Scientific Reports*, *11*, 1-14.
- Almeida, D., Santos, D., Leite, F., Matos, E., Mota, & Marco: Junger, A. (2017). Pitaya Extracts Induce Growth Inhibition and Proapoptotic. Effects on Human Cell Lines of Breast Cancer via Downregulation of Estrogen Receptor Gene Expression. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1-13.
- Andrade, M. (2015). Obtención de láminas deshidratadas a partir de pulpa de pitahaya *Hylocereus undatus*.
- Ayala , A., Serna, L., & Mosquera, E. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica*, *17*(2), 121-127.
- Carrillo, M., & Reyes, A. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 1-25.
- Casp Vanaclocha, A. (2005). *Diseño de industrias agroalimentarias*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Cedeño Arroyo, S. K. (2017). Efecto de los diferentes procesos de secado en los compuestos bioactivos de murtila (*Ugni molinae* Turcz) y su bioaccesibilidad.
- Chang, S., Alasalvar, C., & Fereidoon, S. (2016). Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. *Journal of Functional Foods*, *21*, 113–132.
- Derecho Ecuador*. (s.f.). Obtenido de <https://www.derechoecuador.com/depreciaciones-de-activos-fijos>
- Díaz Camposano, E. (2020). Influencia de la pitahaya roja (*hylocereus undatus*) liofilizada y lactosuero en las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y sensoriales de una bebida fermentada.
- Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology Principles and Practice* (2 ed.). (C. Press, Ed.)
- Hai, T., Linh, T., Huynh, N., & Quintella, P. (2021). Dragon fruit: A review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. *Czech Journal of Food Sciences*, *2*, 71-94.

- Huamani Mora, D. J., & Paucar Capia, P. E. (2018). Determinación del Contenido de Ácido Ascórbico y Capacidad Antioxidante del Fruto Liofilizado de Pitahaya Amarilla (*Hylocereus Megalanthus*) y Pitahaya Roja (*Hylocereus Undatus*).
- Jalgaonkar, K., Kumar, M., Bibwe, B., & Kannaujia, P. (2020). Postharvest Profile, Processing and Waste Utilization of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.): A review. *Food Reviews International*, 1-27.
- Kim, H., Kyoon, H., Yong, J., Suk, Y., Mosaddik, A., & Kim, S. (2011). Comparative antioxidant and antiproliferative activities of red and white pitayas and their correlation with flavonoid and polyphenol content. *Journal of Food Science*, 38-45.
- Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, E. (2006). Pitahaya (*Hylocereus* spp.) a new fruit crop, a market with a future. *EDP Science*, 61, 237-250.
- Matheus Valero, D. (2018). Impacto de las condiciones de liofilización del puré de naranja en el tiempo de proceso.
- Musto, A. (2013). *Manual de microbiología y parasitología* (Segunda ed.). Buenos Aires: Universidad Nacional Arturo Jauretche.
- NTE INEN 1529-10. (2013). Obtenido de Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuento en placa por siembra en profundidad: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_1529-10-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1529-10-1.pdf)
- NTE INEN 1529-2. (1999). Obtenido de Control microbiológico de los alimentos toma, envío y preparación de muestras para el análisis microbiológico.: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1529-2.pdf>
- NTE INEN 2003. (2015). Obtenido de Frutas frescas. Pitahaya. Requisitos: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2003.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2003.pdf)
- NTE INEN 2996. (2015). Obtenido de Productos deshidratados. Zanahoria, Zapallo, Uvilla. Requisitos: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2996.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2996.pdf)
- NTE INEN 380-12. (1985). Obtenido de Conservas Vegetales. Determinación de sólidos solubles. Método Refractométrico.: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/380.pdf>
- NTE INEN 389-12. (1985). Obtenido de Conservas Vegetales. Determinación de la concentración del ión Hidrógeno (pH): <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/389.pdf>
- Orrego Alzate, C. E. (2008). *Congelación y Liofilización de alimentos*. (G. d. Caldas, Ed.)

- Osuna, T., Valdez, J., José, S., Muy-Rangel, M. D., Hernández, S., Villarreal, M., & Osuna, J. (2016). Reproductive phenology, yield and fruit quality of pitahaya (*Hylocereus undatus* (how.) Britton and Rose) in Culiacan valley, Sinaloa, México. *Agrociencia*, 61-78.
- Pinn, L., Ching, T., Pek, L., & Sook, C. (2016). Application of red pitaya powder as a natural food colourant in fruit pastille. *Jurnal Gizi Klinik Indonesia*, 111-120.
- Ramírez Navas, J. (2006). *Liofilización de alimentos*. (R. ReCiTeIA, Ed.)
- Rodrigues, S., De Oliveira, E., & Sousa, E. (2018). *Exotic Fruits* (Primera ed.). London: Academic Press.
- Rodriguez, G., Aguirre, E., Sandoval, B., & Quezada, S. (2011). *Efectos de las metodologías de liofilización en la calidad de frutas deshidratadas*.
- Rojas, G. (2012). Comparación de dos métodos para la producción de pulpa de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en polvo para que sean utilizadas como ingrediente colorante en alimentos.
- Rojas, J., & Praciak, A. (2020). *Hylocereus undatus* (dragon fruit). *Invasive Species Compendium*. Recuperado el 26 de Mayo de 2021, de <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27317>
- Santarrosa, V. (2013). Evaluación nutricional comparativa de pitahaya (*Hylocereus triangularis*) deshidratada en deshidratador de bandejas con la liofilizada.
- Shahidi, F. (2012). *Dried Fruits: Phytochemicals and Health Effects* (Vol. 8). (J. Wiley, & Sons, Edits.)
- Tinitana, R. (2014). Estudio de la caldiad poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) mínimamente procesada (Fresh-Cut).
- Trujillo, D. (2014). Microorganismos asociados a la pudrición blanda del tallo y manchado del fruto en el cultivo de pitahaya amarilla en Ecuador. Tumbaco-Pichincha.
- Urs, M. (2019). *Study related to the quality of laboratory lyophilized fruits*.
- Vargas, L., Tamayo, J., Centurión, A., Tamayo, E., Saucedo, C., & Sauri, E. (2010). Vida útil de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Post-cosecha*, 11, 154-161.
- Vargas, Y., Pico, J., Díaz, A., Sotomayor, D., Burbano, A., Caicedo, C., . . . Viera, W. (2020). *Manual del Cultivo de Pitahaya para la Amazonía Ecuatoriana*. Recuperado el 26 de Mayo de 2021, de

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5551/1/INIAPMANUAL117-2020.pdf>

Vera, A., & López, Y. (2021). *Calidad postcosecha de pitahaya roja (Hylocereus undatus Haw) y amarilla (Selenicereus megalanthus) en diferentes estados de madurez y temperaturas de conservación*. Calceta.

Verona, A., Urcia, J., & Paucar, L. (2020). Pitahaya (Hylocereus spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11, 439-453.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

LUGAR DE DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA (HACIENDA “LAS CABUYAS”).



## APÉNDICE B

### IMÁGENES DE EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN

Balanza



Liofilizador



pH metro



Refractómetro



## APÉNDICE C

### IMÁGENES DEL PROCESO DE LIOFILIZACION DE PITAHAYA ROJA *Hylocereus undatus*

Pelado y Cortado



Pesado



Cortado



Congelado con N líquido



Colocación de la muestra



Proceso de Liofilización



## APÉNDICE D

Trituración de muestra



Muestra triturada



Muestras G1 y G2 liofilizada



## APÉNDICE E

IMÁGENES DE LOS ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO TERMINADO.

Producto final almacenado



Análisis de humedad



Preparación de muestras para medición pH



Análisis microbiológicos



## APÉNDICE F

CÁLCULOS DE RENDIMIENTO Y BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN PARA UNA PRODUCCIÓN DE 500KG DE PITAHAYA ROJA.

### Etapa de pelado

**Ingreso de materia prima = 500 kg**

$$\text{Peso de producto pelado} = P_{mp} - P_{cáscara}$$

$$\text{Peso de producto pelado} = 500\text{kg} - 125\text{kg}$$

$$\text{Peso de producto pelado} = 375 \text{ kg}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{P_{cáscara} * 100}{P_{mp}}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{125\text{kg} * 100}{500\text{kg}}$$

$$\% \text{ merma} = 25\%$$

**Salida de materia prima = 375kg**

### Etapa de cortado

**Ingreso de materia prima = 375 kg**

$$\text{Peso de producto cortado} = P_{\text{producto pelado}} - P_{\text{residuos de corte}}$$

$$\text{Peso de producto cortado} = 375\text{kg} - 18,75\text{kg}$$

$$\text{Peso de producto cortado} = 356,25 \text{ kg}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{P_{cáscara} * 100}{P_{mp}}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{18.75\text{kg} * 100}{375\text{kg}}$$

$$\% \text{ merma} = 5\%$$

**Salida de materia prima = 356,25 kg**

### Etapa de liofilizado

**Ingreso de materia prima = 356,25 Kg**

$$\text{Peso de producto liofilizado} = P_{\text{producto congelado}} - P_{\text{seco}}$$

$$\text{Peso de producto liofilizado} = 356,25\text{kg} - 55,47\text{kg}$$

$$\text{Peso de producto liofilizado} = 300,78\text{ kg}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{P_{\text{seco}} * 100}{P_{\text{producto congelado}}}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{55,47\text{kg} * 100}{356,25\text{ kg}}$$

$$\% \text{ merma} = 15,57\%$$

**Salida de materia prima = 300,78 kg**

### **Etapas de molienda**

**Ingreso de materia prima = 300,78 Kg**

$$\text{Peso de producto molido} = P_{\text{producto liofilizado}} - P_{\text{residuo molino}}$$

$$\text{Peso de producto molido} = 300,78\text{kg} - 6,2\text{kg}$$

$$\text{Peso de producto molido} = 294,58\text{ kg}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{P_{\text{residuo molino}} * 100}{P_{\text{producto liofilizado}}}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{6,2\text{kg} * 100}{300,78\text{ kg}}$$

$$\% \text{ merma} = 2,06\%$$

**Salida de materia prima = 294,58 kg**

### **Etapas de Tamizado**

**Ingreso de materia prima = 294,58 Kg**

$$\text{Peso de producto tamizado} = P_{\text{producto liofilizado}} - P_{\text{residuo tamiz}}$$

$$\text{Peso de producto tamizado} = 294,58\text{kg} - 14,73\text{kg}$$

$$\text{Peso de producto tamizado} = 279,85\text{ kg}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{P_{\text{residuo tamiz}} * 100}{P_{\text{producto liofilizado}}}$$

$$\% \text{ merma} = \frac{14,73\text{kg} * 100}{294,57\text{ kg}}$$

$$\% \text{ merma} = 5\%$$

**Salida de materia prima = 279,85 kg**

**Balance:**

Ingreso = Salida + merma total

$$500\text{kg} = 279,85\text{Kg} + 220,15\text{kg}$$

**Rendimiento total:**

$$\%Rendimiento = \frac{\textit{Salida de producto} * 100}{\textit{Ingreso de mp}}$$

$$\%Rendimiento = \frac{279,85\text{kg} * 100}{500\text{kg}}$$

$$\%Rendimiento = 55,97\%$$

## APÉNDICE G

### CÁLCULO DE DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRADOS °BRIX

Para el análisis se empleó una proporción 1:1 de muestra y agua destilada, de lo cual se obtuvo como resultado:

Grado de Maduración	Grados °Brix obtenidos
1	5,6
2	9,1

#### Grado 1

$$^{\circ}Brix_{reales} = \frac{5,6 * 2g}{1g}$$

$$Brix_{reales} = 11,2\%$$

#### Grado 2

$$^{\circ}Brix_{reales} = \frac{9,1 * 2g}{1g}$$

$$Brix_{reales} = 18,2\%$$

## APÉNDICE H

CÁLCULO DE RECUENTO DE MOHOS Y LEVADURAS EN EL PRODUCTO TERMINADO EN LOS DIFERENTES GRADOS DE MADURACIÓN

DILUCIONES	MUESTRA DE PITAHAYA LIOFILIZADA (Día 5)	
	Grado 1	Grado 2
10 <sup>-1</sup>	8	9
	4	3
10 <sup>-2</sup>	7	1
	1	0
10 <sup>-3</sup>	5	1
	0	0

### Grado 1

$$N = \frac{8 + 4 + 7 + 1 + 5 + 0}{(1)(2 + 0.1(2))(10^{-1})}$$

$$N = 113,64 \text{ (UFC/g)}$$

$$\varepsilon < 1,1 \times 10^2 \text{ (UFC/g)}$$

### Grado 2

$$N = \frac{9 + 3 + 0 + 1 + 0 + 1}{(1)(2 + 0.1(2))(10^{-1})} \text{ (UFC/g)}$$

$$N = 63,64 \text{ (UFC/g)}$$

$$\varepsilon < 6,4 \times 10^1 \text{ (UFC/g)}$$

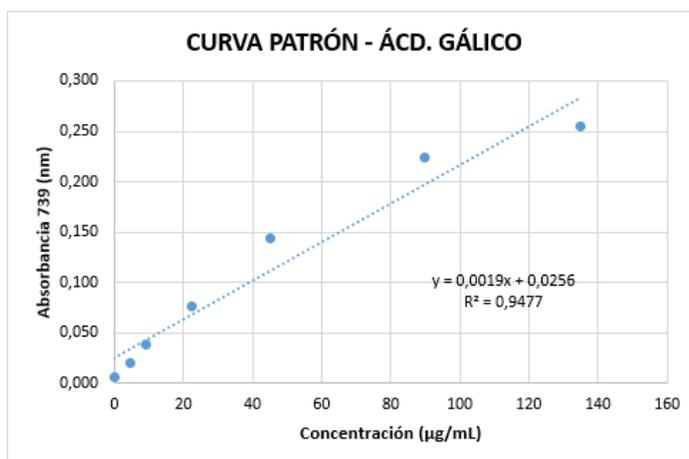
## APÉNDICE I

### CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE POLIFENOLES

Resultados de la curva de calibración:

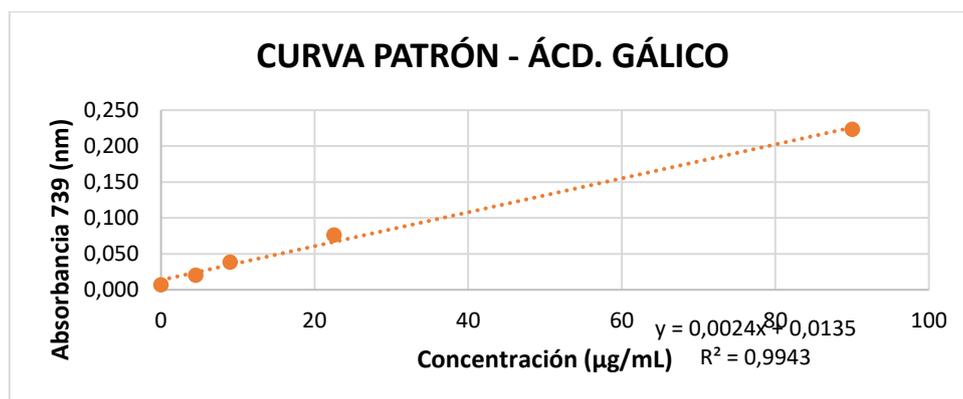
La recta de calibración de concentración vs absorbancia se realizó con 7 puntos obteniendo un  $R^2 = 0,9477$  y una ecuación de  $y = 0,0019x + 0,00256$ .

Concentración ( $\mu\text{g/mL}$ ) X	Absorbancia (nm) Y
0	0,007
4,5	0,020
9	0,038
22,5	0,076
45	0,144
90	0,223
135	0,255



Para mayor precisión se eliminaron dos puntos de la recta y así obtener un  $R^2$  mayor, obteniendo una curva de calibración final con 5 puntos y un  $R^2 = 0,9943$  con una ecuación de  $y = 0,0024x + 0,0135$ .

Concentración ( $\mu\text{g/mL}$ ) X	Absorbancia (nm) Y
0	0,007
4,5	0,020
9	0,038
22,5	0,076
90	0,223
0	0,007



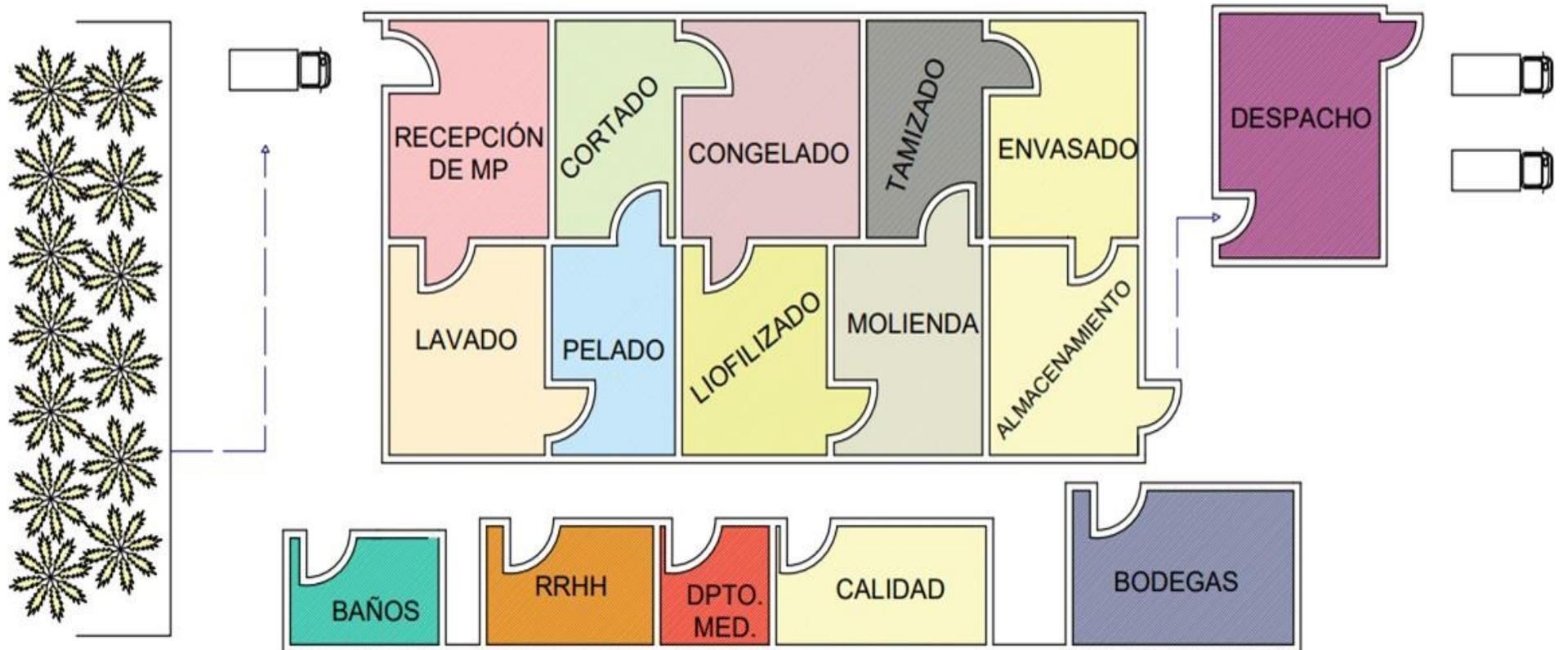
Concentración de compuestos fenólicos:

$$\text{Concetración} = \frac{\text{Abs 739} - b}{m}$$

Muestra	Conc/Dil	Absorbancia 739 - BLK	Conc * Dil (GAEq µg/mL)	Conc * Dil (GAEq mg/g)	Media
<b>Pitahaya liofilizada G1</b>	20	0,049	397,083	3,971	3,039
	20	0,048	388,750	3,888	
	10	0,073	298,542	2,985	
	10	0,077	315,208	3,152	
	5	0,102	209,688	2,097	
	5	0,104	213,854	2,139	
<b>Pitahaya liofilizada G2</b>	20	0,066	538,750	5,388	3,922
	20	0,067	547,083	5,471	
	10	0,089	365,208	3,652	
	10	0,091	373,542	3,735	
	5	0,147	303,438	3,034	
	5	0,148	305,521	3,055	
	5	0,151	311,771	3,118	
<b>Pitahaya descongelada G1</b>	5	0,028	55,521	0,555	0,534
	5	0,026	51,354	0,514	
<b>Pitahaya descongelada G2</b>	5	0,025	49,271	0,493	0,500
	5	0,025	49,271	0,493	
	5	0,026	51,354	0,514	

Cabe indicar que se eliminaron los valores aberrantes de los resultados para obtener menor desviación en ello.

## APÉNDICE J



## APÉNDICE K

FLUJO DE CAJA	AÑO 0	1ER AÑO	2DO AÑO	3ER AÑO	4TO AÑO	5to AÑO
VENTAS		33576,00	33576,00	33576,00	33576,00	33576,00
PVP		\$ 7,01	\$ 7,01	\$ 7,01	\$ 7,01	\$ 7,01
<b>INGRESO TOTAL</b>		<b>\$ 235.367,76</b>	<b>\$ 235.367,76</b>	<b>\$ 235.367,76</b>	<b>\$ 235.367,76</b>	<b>\$235.367,76</b>
<b>COSTOS DIRECTOS</b>						
Mano de obra directa		\$ 10.443,87	\$ 10.443,87	\$ 10.443,87	\$ 10.443,87	\$ 10.443,87
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>						
Depreciación anual de equipos		\$15.713,33	\$15.713,33	\$15.713,33	\$15.713,33	\$15.713,33
Materiales indirectos		\$ 1.339,00	\$ 1.339,00	\$ 1.339,00	\$ 1.339,00	\$ 1.339,00
Mano de obra indirecta		\$ 1.021,10	\$ 1.021,10	\$ 1.021,10	\$ 1.021,10	\$ 1.021,10
Recursos/Energía		\$15.757,78	\$15.757,78	\$15.757,78	\$15.757,78	\$15.757,78
Costos de empaque		\$ 5.875,80	\$ 5.875,80	\$ 5.875,80	\$ 5.875,80	\$ 5.875,80
		<b>\$ 39.707,01</b>	<b>\$ 39.707,01</b>	<b>\$ 39.707,01</b>	<b>\$ 39.707,01</b>	<b>\$ 39.707,01</b>
Impuesto a la renta		\$ 11.768,39	\$ 11.768,39	\$ 11.768,39	\$ 11.768,39	\$ 11.768,39
Inversión de equipos	\$ 231.140,00		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital de trabajo	\$ 300.000,00					
<b>Flujo</b>	<b>\$-531.140,00</b>	<b>\$ 173.448,50</b>	<b>\$ 173.448,50</b>	<b>\$ 173.448,50</b>	<b>\$ 173.448,50</b>	<b>\$173.448,50</b>
<b>Flujo Acumulado</b>		<b>-\$357.691,50</b>	<b>-\$184.243,01</b>	<b>\$ -10.794,51</b>	<b>\$ 162.653,99</b>	<b>\$336.102,49</b>