

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

La manzana (*Malus domestica*) es el fruto del manzano, árbol de la familia de las Rosáceas. Esta familia incluye más de 2000 especies de plantas herbáceas, arbustos y árboles distribuidos por las regiones templadas de todo el mundo. El cultivo de la manzana es tan antiguo como la humanidad, siendo el manzano el árbol frutal más cultivado a nivel mundial (Hidalgo et al., 2016).

La manzana es una de las frutas más producidas en el mundo y la más consumida por el ser humano. Hoy en día, China ocupa el primer lugar en producción de manzanas y en segundo lugar se encuentra Estados Unidos (Espinosa & Olivares, 2016).

Existen más de 700 variedades de manzanas en todo el mundo, tienen diferentes nombres de acuerdo en el país que se cultivan pero de manera universal comparten propiedades organolépticas y nutricionales similares. La manzana generalmente es un fruto que está disponible en los mercados durante todo el año (Ayala & Calle, 2016).

En la actualidad la superficie total estimada de manzana en Bolivia es de 495 hectáreas, la cual es muy reducida comparada a otros países ya que ni siquiera aparece en las estadísticas de la FAO. El volumen anual de manzana alcanza a 3145 toneladas, producción que no cubre ni el 20% del consumo local. El reducido volumen de producción se puede explicar por los bajos rendimientos por unidad de superficie (FAUTAPO, 2014).

Bolivia es un gran consumidor de manzana y tiene mucho potencial para cultivarla, pero sólo produce entre 3000 y 4000 toneladas por año e importa unas 35000 de Argentina y Chile. La producción nacional de manzana, representa al menos un 9% de la demanda (Manzaneda, 2021).

“Los principales departamentos que cultivan y producen las diferentes variedades de manzana son Chuquisaca y Santa Cruz, seguido de Cochabamba, Potosí y La Paz” (FAUTAPO, 2014. Pág. 8).

En la tabla 1.1, se muestra sobre la producción, superficie y rendimiento de las diferentes variedades de manzana en Bolivia para la gestión 2018 – 2019.

**Tabla 1.1**

*Producción, superficie y rendimiento de las diferentes variedades de manzana*

<b>Departamento</b>	<b>Producción (toneladas métricas)</b>	<b>Superficie (hectáreas)</b>	<b>Rendimiento (kg/hectáreas)</b>
Chuquisaca	1067	317	3,366
La Paz	167	60	2,764
Cochabamba	626	119	5,246
Oruro	37	17	2,211
Potosí	140	51	2,743
Tarija	133	35	3,761
Santa Cruz	761	153	4,980
Beni	–	–	–
Pando	–	–	–
<b>Bolivia</b>	<b>2931</b>	<b>753</b>	<b>3,894</b>

**Fuente:** INE, 2019

## 1.2 Justificación

- La manzana al ser una fruta bastante consumida en la población tarijeña, se pretende dar otra alternativa de conservación alargando su vida útil, mediante proceso de liofilización y lograr transformarlo en un producto deshidratado y así poder incentivar el cultivo y producción de la manzana en el departamento de Tarija.
- Incentivar de forma indirecta la producción de la manzana en el departamento de Tarija, siendo otra alternativa como subproducto para mejorar la economía de las zonas productoras y que les permita tener un amplio mercado en nuestro país.
- La manzana es una fruta que se encuentra disponible en el mercado local durante todo el año, por lo tanto se ve la importancia de lograr la transformación de la materia prima en un producto deshidratado obtenido mediante proceso de liofilización, que conserve sus propiedades nutritivas y de esta manera pueda ayudar a mejorar la dieta alimentaria de las personas.

- Mediante el proceso de liofilización, se busca incentivar otros métodos de conservación en el departamento de Tarija, como una alternativa a los métodos convencionales de secado y de esta manera ofertar nuevos productos deshidratados al mercado local de la provincia Cercado de Tarija.

### **1.3 Objetivos**

Los objetivos planteados para este trabajo de investigación se describen a continuación:

#### **1.3.1 Objetivo general**

Aplicar el método de liofilización a nivel experimental, con el fin de obtener rodajas deshidratadas de manzana verde variedad *Granny smith*, en la provincia Cercado de Tarija.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas de la manzana verde con la finalidad de garantizar la calidad de la fruta.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la manzana verde con la finalidad de conocer su composición nutricional y garantizar su inocuidad.
- Realizar evaluación sensorial de las muestras preliminares con el fin de determinar el tratamiento químico que se utilizará para evitar el pardeamiento enzimático en la manzana verde.
- Aplicar diseño experimental durante el proceso de liofilización con la finalidad de controlar las variables que puedan afectar el proceso.
- Realizar balance de materia y energía en el proceso de liofilización de las rodajas de manzana verde deshidratadas a nivel experimental con el fin de conocer las corrientes de entrada y salida en el proceso.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las rodajas deshidratadas de manzana verde con la finalidad de conocer su composición nutricional y garantizar su inocuidad.

#### **1.4 Planteamiento del problema**

Si bien en el mercado local de la provincia Cercado, existe una importante oferta y demanda de manzana verde, que llega importada desde la República Argentina. Sin embargo, no existen otras alternativas en los métodos de conservación, debido a la falta de conocimiento o información de nuevos métodos o alternativas de conservación.

El proceso de liofilización, se constituye en una alternativa a los métodos convencionales de secado para lograr la transformación de la materia prima en un producto deshidratado, que conserve sus propiedades nutritivas y de esta manera pueda ayudar a mejorar la dieta alimentaria de las personas.

Mediante el presente trabajo de investigación, se pretende incentivar e incorporar el proceso de liofilización en el departamento de Tarija, con la finalidad de obtener productos deshidratados de buena calidad nutricional.

#### **1.5 Objeto de estudio**

Aplicación del método de liofilización a nivel experimental para obtener rodajas deshidratadas de manzana verde.

#### **1.6 Campo de acción**

El campo de acción propuesto para el siguiente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

##### **Espacial**

El espacio donde se realizó el presente trabajo de investigación fue en la provincia Cercado de Tarija.

##### **Temporal**

El periodo de tiempo que se realizó el presente trabajo de investigación fue entre las gestiones 2021 – 2022.

## **Institucional**

Las instituciones donde se realizó el presente trabajo de investigación, fueron las siguientes:

- Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos – UAJMS
- Laboratorio Taller de Alimentos – UAJMS

## **1.7 Formulación del problema**

¿Qué método de conservación se aplicará a nivel experimental, con el fin de obtener rodajas deshidratadas de manzana verde en la provincia Cercado de Tarija?

## **1.8 Hipótesis**

La aplicación del método de liofilización a nivel experimental permitirá obtener rodajas deshidratadas de manzana verde en la provincia Cercado de Tarija.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Origen de los productos liofilizados**

Una referencia histórica más cercana a nuestros tiempos fueron los primeros trabajos de Louis Pasteur y otros investigadores durante la segunda mitad del siglo XIX, intentando realizar estudios metódicos de la naturaleza de material virulento, observaron la necesidad de innovar las técnicas de secado con el fin de preservarlo sin destruirlo. La conservación de bacterias, virus u otros microorganismos fueron su primera aplicación (Ramírez, 2006).

A finales de la década de 1930, resultó significativa la producción a gran escala de productos liofilizados. Durante la segunda guerra mundial y en la posguerra, la fabricación de plasma de sangre seco, fue quizás el primer uso real de la tecnología de liofilización como un proceso productivo comercial. Otro producto liofilizado a gran escala fue la penicilina (Ramírez, 2006).

“En 1958, se aplicó al sector alimentario y por ser una técnica costosa se enfocó a pocos alimentos, como la leche, las sopas, los huevos, la levadura, los zumos de frutas y el café” (Ramírez, 2006. Pág. 4).

## **2.2 Definición de producto deshidratado y liofilizado**

“La fruta deshidratada es fruta fresca y natural a la que se le aplica un proceso de deshidratación, reduciendo su contenido interno de agua, pero conservando todas las virtudes, propiedades y vitaminas de la fruta fresca” (Montesino, 2014. Pág. 1).

La fruta liofilizada es una fruta estable en almacenamiento que se ha sometido a un proceso para eliminar casi toda su humedad mientras conserva el sabor y los nutrientes. Es muy ligera, con una textura seca y crujiente, un sabor a fruta intenso y concentrado (Jones & Covington, 2021).

## **2.3 Clasificación de los productos liofilizados**

En la tabla 2.1, se muestra la clasificación de los productos liofilizados en la industria alimentaria.

Tabla 2.1

*Clasificación de los productos liofilizados*

Sectores	Productos liofilizados
Cárnicos	Carne bovina
	Carne aviar: pechuga de pollo, pechuga de pavo, muslo de pollo
	Carne porcina: jamón, lomo
Frutas	Frutillas, fresas, plátano, piña, moras, frambuesa.
Vegetales	Espárrago, choclo, zanahoria, brócoli, coliflor, apio, papa, hongos, aceituna, espinaca, ajíes, arroz, arvejas, cebolla.
Quesos	Queso Prato, Queso Mozzarella, Queso Provolone, Queso Blanco.
Otros	Café, sopas, zumos de frutas, levaduras, caldos, salsas, especias, champiñones.

Fuente: Parzanese, 2011

#### 2.4 Composición fisicoquímica de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

Realizando la búsqueda de información en internet, sobre la composición fisicoquímica de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se encontraron datos sobre la tienda en línea de productos alimentarios llamada Natura Center en el año 2021, que describe acerca de la composición fisicoquímica de la manzana verde en polvo liofilizada, se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

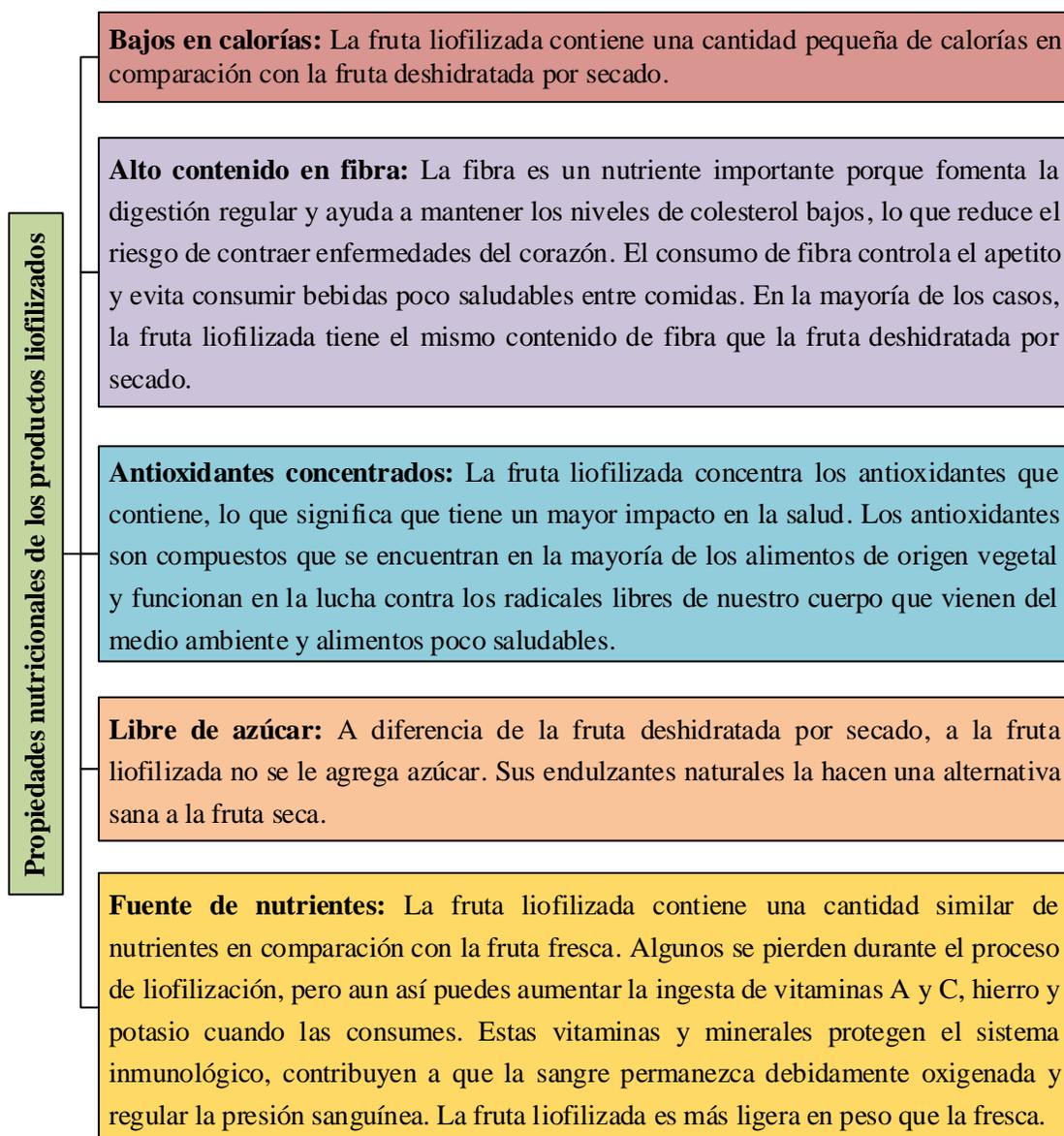
*Composición fisicoquímica de la manzana verde en polvo liofilizada*

Componentes	Cantidad
Energía	30 kcal
Fibra dietética	4,73 g
Proteínas	0,79 g
Grasa total	0,79 g
Carbohidratos	49,5 g
Cobre	0,24 mg
Hierro	2,37 mg
Potasio	469,5 mg
Vitamina B1	0,24 mg
Vitamina C	15,78 mg
Vitamina E	8,36 mg

Fuente: Natura Center, 2021

#### 2.5 Propiedades nutricionales de los productos liofilizados

En la figura 2.1, se muestra las propiedades nutricionales de los productos liofilizados.



**Fuente:** Duhalde, 2015

**Figura 2.1** Propiedades nutricionales de los productos liofilizados

## 2.6 Caracterización de la manzana en general

La caracterización de la manzana en general, se detalla a continuación:

### 2.6.1 Características botánicas del manzano en general

En la tabla 2.3, se describen las características botánicas del manzano en general.

**Tabla 2.3*****Características botánicas del manzano en general***

	<b>Descripción</b>
Hojas	Las hojas son ovaladas, elípticas, lanceoladas, oblongas, lobuladas o aserradas.
Yemas	Las yemas son ovoides con pequeñas escamas que sobresalen.
Flores	Las flores son blancas a rosas o carmín y se organizan en cimas. Una flor contiene cinco sépalos, cinco pétalos, cinco pistilos y unos 20 estambres.
Fruto	El fruto es oblongo, cónico u oblicuo, con diámetro entre 2 a 13 cm, presenta varias tonalidades: verdes, amarillas y rojas.

**Fuente:** Cárdenas & Fischer, 2013

**2.6.2 Composición fisicoquímica y propiedades nutricionales de la manzana**

Para Seipel et al., (2009), la manzana es una fruta que siempre se la ha relacionado con la buena salud y por su composición se la considera una de las frutas más completas desde el punto de vista de la nutrición. La fruta es rica en sales minerales como potasio, fósforo, calcio y hierro; en vitaminas A, B, C y E; niacina y azúcares, principalmente glucosa y fructosa. El contenido de fibra en la manzana y principalmente la pectina, se lo considera beneficioso para las funciones gastrointestinales, además que ayuda a equilibrar el nivel de azúcar en la sangre y el colesterol. En la tabla 2.4, se muestra la composición fisicoquímica y las propiedades nutricionales de la manzana verde.

**Tabla 2.4*****Composición fisicoquímica y propiedades nutricionales de la manzana verde***

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>
Energía	58 kcal	Fósforo	12 mg
Humedad	85,5 g	Magnesio	5 mg
Cenizas	0,3 g	Hierro	0,2 mg
Fibra dietética	2,8 g	Selenio	0,1 µg
Proteínas	0,4 g	Vitamina A	5 µg
Grasa total	0,2 g	Vitamina B3	0,1 mg
Carbohidratos	10,8 g	Vitamina B5	0,1 mg
Sodio	1 mg	Vitamina B9	3 µg
Potasio	120 mg	Vitamina E	0,2 mg
Calcio	5 mg	Vitamina K	3,2 µg

**Fuente:** INTA, 2018

## **2.7 Caracterización de los reactivos utilizados en el presente trabajo de investigación**

La caracterización de los reactivos utilizados en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

### **2.7.1 Ácido cítrico**

Para Muñoz et al., (2014), el ácido cítrico es un ácido orgánico que puede ser obtenido de manera natural y también de manera sintética mediante laboratorio. Es un ácido orgánico que se encuentra en casi todos los tejidos animales y vegetales, se presenta en forma de ácido en frutas como el limón, mandarina, lima, pomelo, naranja, piña, ciruela y durazno, así también se encuentra en los huesos, músculos y sangre de animales. Es un ácido carboxílico versátil y utilizado ampliamente en el campo de la alimentación, productos farmacéuticos y cosméticos, entre otros.

“La principal aplicación en la fruta congelada es disminuir el pH para inactivar las enzimas oxidativas” (Muñoz et al., 2014. Pág. 22).

### **2.7.2 Ácido ascórbico**

Para Serra & Cafaro (2007), el ácido ascórbico o vitamina C, es uno de los más potentes agentes antioxidantes del organismo. Es una vitamina hidrosoluble y esencial, sintetizada químicamente a partir de glucosa, mediante una serie de reacciones catalizadas por enzimas.

Según Bastías & Cepero (2016), el ácido ascórbico, se encuentra en vegetales y frutas frescos. Es soluble en agua, apenas se acumula en el organismo, por lo que es importante un aporte diario. Es muy sensible a la luz, temperatura y oxígeno, se degrada fácilmente durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos.

Para Oro & Donnamaría (2006), el ácido ascórbico y sus derivados se utilizan en la industria alimentaria como antioxidantes en productos cárnicos, conservas vegetales, bebidas refrescantes, zumos, productos de repostería y en la fabricación de cerveza. El

ácido ascórbico ayuda a evitar el oscurecimiento de la fruta cortada en trozos y la corrosión de los envases metálicos.

## **2.8 Proceso de liofilización**

Para Orrego (2008), define a la liofilización como un proceso de secado mediante sublimación que se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado.

Para Rodríguez et al., (1999), la liofilización es una técnica de conservación de alimentos para reducir la actividad del agua, destaca frente a las restantes por respetar las propiedades organolépticas y nutritivas del alimento procesado. Otra ventaja es la porosidad del producto tratado, que le confiere una muy buena rehidratabilidad. Esta operación, además de ser lenta con respecto al secado convencional, implica un costo considerable, requiriendo una gran inversión. Así pues, su empleo sólo se justifica para alimentos muy sensibles a la temperatura, pero de alto valor agregado.

## **2.9 Clasificación de la liofilización**

Según Kusch (2018), la clasificación de la liofilización se puede dividir en:

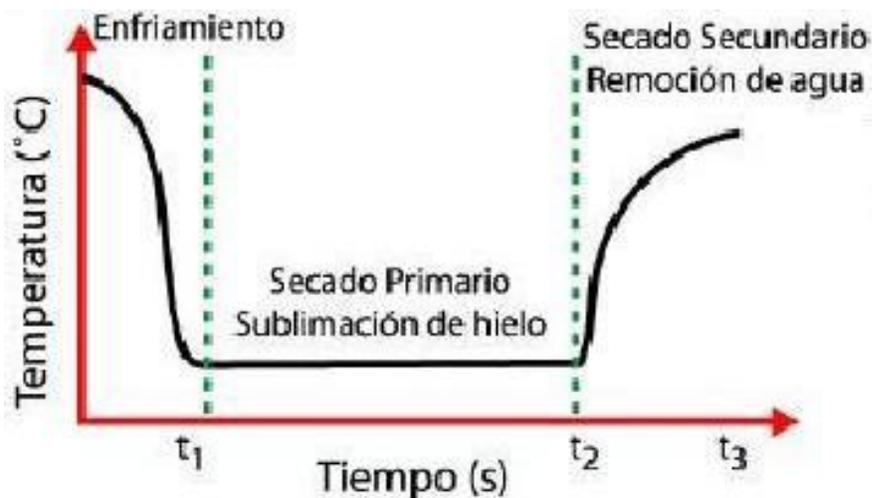
- **Liofilización de alimentos y microorganismos:** En la industria lo que más se realiza es la liofilización de microorganismos, café y leche. Se está emergiendo la liofilización de frutas y verduras.
- **Liofilización de productos farmacéuticos y biológicos:** Se ha convertido en la aplicación más importante y con mayor inversión.

## **2.10 Etapas del proceso de liofilización**

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. Se lo ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos. Consta principalmente de dos pasos; el primero consiste en congelar

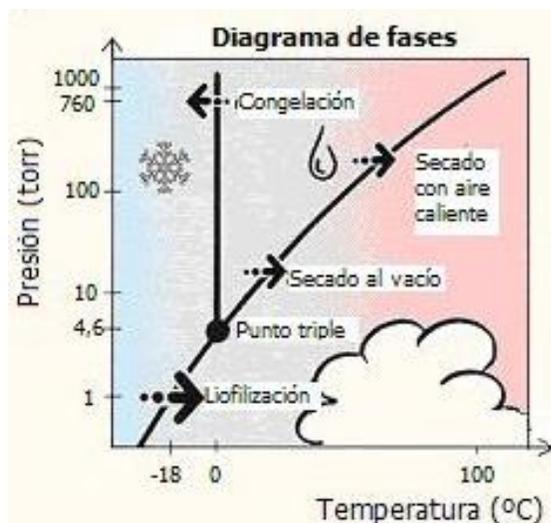
el producto y en el segundo paso el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida (Orrego, 2008).

Según Ramírez (2006), el proceso de liofilización consta de 3 etapas: congelación, secado primario y secado secundario. En la figura 2.2, se muestra los pasos del proceso de liofilización y en la figura 2.3, se muestra los diagramas de fases del agua y sistemas de secado.



**Fuente:** Ramírez, 2006

**Figura 2.2** Pasos del proceso de liofilización



**Fuente:** Ramírez, 2006

**Figura 2.3** Diagrama de fases del agua y sistemas de secado

### **2.10.1 Etapa de congelación en el proceso de liofilización**

La congelación es una operación previa a la liofilización en la que se desarrolla la estructura y predeterminan las propiedades del material posteriormente secado. Las variables de congelación, incluida la velocidad, la temperatura mínima durante la congelación y la temperatura de la capa congelada durante el secado, afectan las reacciones en las etapas posteriores de la vida del producto (Ceballos et al., 2012).

Cuando se forman cristales de hielo, se crea una red uniforme en todo el producto que después de la sublimación produce una matriz porosa densa. La velocidad de congelación rápida genera pequeños cristales de hielo. La velocidad de enfriamiento lenta genera grandes cristales de hielo. La velocidad de congelación es fundamental para las propiedades finales del producto seco, ya que afecta directamente el tamaño de los poros que se produce después de la sublimación del hielo y un mejor flujo másico durante la deshidratación y reconstitución (Ceballos et al., 2012).

La temperatura y tiempo de congelación de productos alimentarios está en función de los solutos que contienen la solución. La temperatura de congelación para el agua permanece constante en el punto de congelación hasta que el agua se congele. Para los alimentos, la temperatura de congelación es más baja que el agua, ya que los solutos del agua no congelada se van concentrando, la temperatura de congelación va disminuyendo continuamente hasta que la solución queda congelada. Al final de la congelación la masa entera del producto se ha convertido en rígida, formando un eutéctico, que consiste en cristales de hielo y componentes del alimento. Se requiere llegar al estado eutéctico para asegurar la eliminación de agua sólo por sublimación, y no por combinación de sublimación y evaporación (Ibarz & Barbosa, 2005).

Para Ibarz & Barbosa (2005), la permeabilidad de la superficie congelada, puede verse afectada por la migración de componentes solubles durante la etapa de congelación. Sin embargo, la eliminación de la fina capa de la superficie del producto congelado o la congelación bajo condiciones, que inhiban la separación de la fase de concentrado, dan lugar a mejores velocidades de secado.

### **2.10.2 Etapa de secado primario o sublimación del hielo en el proceso de liofilización**

El hielo se sublima cuando se suministra la energía correspondiente al calor latente. Debido a la baja presión de la cámara de secado, el vapor de agua generado en la interfase de sublimación es eliminado a través de los poros del producto. El condensador previene el retorno del vapor de agua hacia el producto. La fuerza impulsora de la sublimación es la diferencia de presión entre la presión del vapor de agua en la interfase del hielo y la presión parcial del vapor de agua en la cámara de secado. La energía para la sublimación del hielo es suministrada por radiación o conducción a través del producto congelado (Ibarz & Barbosa, 2005).

Es esta etapa la mayor parte del agua libre pasa a vapor. Los parámetros de temperatura, presión y tiempo pueden ser modificados independientemente, pero están íntimamente relacionados, no es posible modificar sin que afecten a otros parámetros, en todo momento deben ser considerados en conjunto y analizados sus efectos (Muñoz, 2012).

### **2.10.3 Etapa de secado secundario o eliminación del agua en el proceso de liofilización**

La etapa secundaria de secado comienza cuando se ha agotado el hielo en el producto y la humedad proviene del agua parcialmente ligada en el material que se está secando. La velocidad de calentamiento debe disminuir para mantener la temperatura del producto por debajo de los 30 – 50 °C, lo que evita el colapso del material. Si la parte sólida del material está demasiado caliente la estructura se colapsa, lo que se traduce en una disminución de la velocidad de sublimación de hielo en el producto (Ibarz & Barbosa, 2005).

Para Muñoz (2012), en esta etapa se eliminan las últimas trazas de vapor de agua, evaporando el agua no congelada ligada al producto. Se lleva a cabo a una temperatura inferior a la de desnaturalización del producto y se logra una humedad final hasta valores inferiores al 1%. Para los alimentos liofilizados, se considera como un proceso exitoso cuando logra obtener una humedad del 7 al 10%.

**CAPÍTULO III**

**DISEÑO**

**METODOLÓGICO**

### **3.1 Desarrollo de la parte experimental**

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios académicos de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” (UAJMS), dependiente la Facultad de Ciencias y Tecnología.

### **3.2 Tipo de intervención**

El presente trabajo de investigación utilizó la metodología experimental a nivel de laboratorio con el fin de obtener un producto deshidratado por liofilización en base a los siguientes métodos:

- Análisis físico de la manzana verde para garantizar la calidad de la fruta.
- Análisis fisicoquímico y microbiológico de la manzana verde para conocer su composición nutricional y garantizar su inocuidad.
- Análisis fisicoquímico y microbiológico de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde para conocer su composición nutricional y garantizar su inocuidad.
- Análisis del diseño experimental en el proceso de liofilización.
- Operacionalización de las variables para el proceso de liofilización de las rodajas deshidratadas de manzana verde.
- Visión horizontal del proceso de liofilización para las rodajas deshidratadas de manzana verde.

### **3.3 Paradigma investigativo**

Según Hurtado (2010), define el paradigma como una visión del mundo, una perspectiva general, un modo de acercarse a lo complejo de la realidad y afirma que los paradigmas son en cierta medida normativos, puesto que señalan al investigador una manera de actuar.

Para Ramos (2015), el paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico. Por lo tanto, el

paradigma a ser utilizado en el presente trabajo de investigación, tendrá como objetivo de comprobar la hipótesis a través de medios estadísticos aplicados a una determinada variable.

Para el presente trabajo de investigación, se aplicará un paradigma del tipo positivista, en la cual se puede identificar la variable dependiente e independiente, con el fin de formular la hipótesis del tipo empírica.

### **3.4 Enfoque de la investigación**

Para Hernández et al., (2014), el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

El enfoque de investigación que se ha desarrollado en el presente trabajo de investigación fue un enfoque cuantitativo.

### **3.5 Métodos, técnicas e instrumentos**

Para Bernal (2010), el método científico lo define como el conjunto de postulados, reglas y/o normas para el estudio y la solución de los problemas de investigación. En otro sentido, se refiere al conjunto de procedimientos que examina y soluciona un problema o conjunto de problemas de investigación.

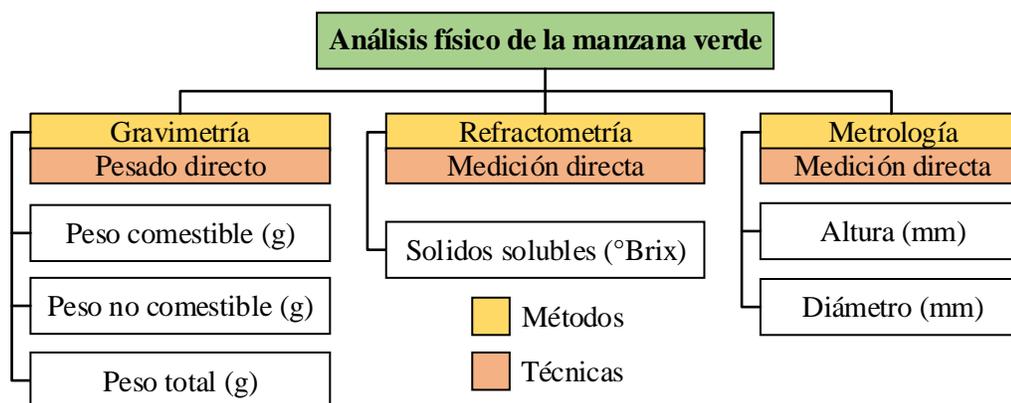
Según Ñaupás et al., (2014), define las técnicas de investigación como un conjunto de normas que regulan el proceso en cada etapa de la investigación, desde el principio hasta el fin, desde el descubrimiento del problema hasta la verificación e incorporación de las hipótesis, dentro de las teorías vigentes.

También Ñaupás et al., (2014), define los instrumentos de investigación como las herramientas conceptuales o materiales que sirven a las técnicas de investigación especialmente a las técnicas de recolección de datos.

Los métodos y técnicas que fueron utilizados en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

### 3.5.1 Análisis físicos de la manzana verde

Los análisis físicos de la manzana verde, se realizó en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), dependiente de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas que fueron utilizados para la manzana verde.

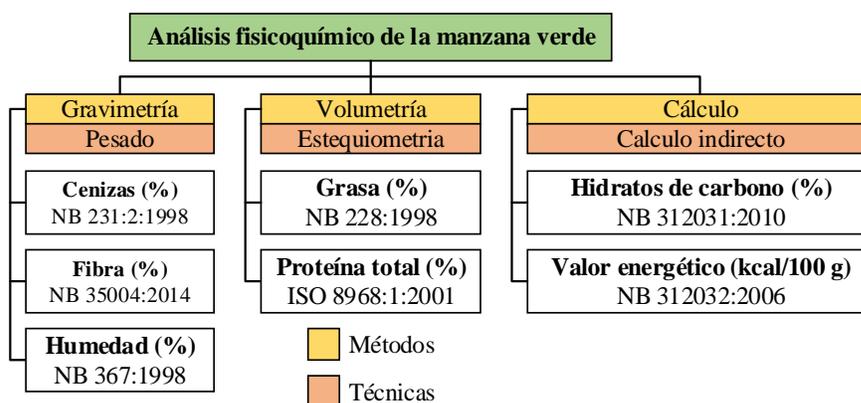


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.1** Métodos y técnicas utilizadas para los análisis físicos de la manzana verde

### 3.5.2 Análisis fisicoquímicos de la manzana verde

Los análisis fisicoquímicos de la manzana verde, se lo realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. En la figura 3.2, se muestran los métodos y técnicas que fueron utilizados para la manzana verde.

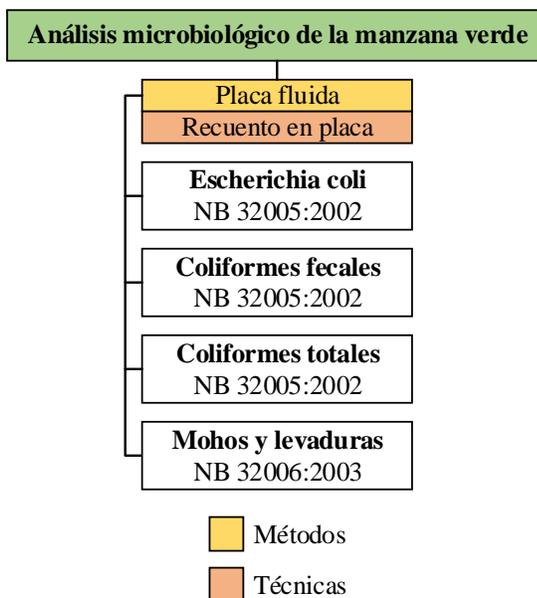


**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.2** Métodos y técnicas utilizadas para los análisis fisicoquímicos de la manzana verde

### 3.5.3 Análisis microbiológicos de la manzana verde

Los análisis microbiológicos de la manzana verde, se lo realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. En la figura 3.3, se muestran los métodos y técnicas que fueron utilizados para la manzana verde.

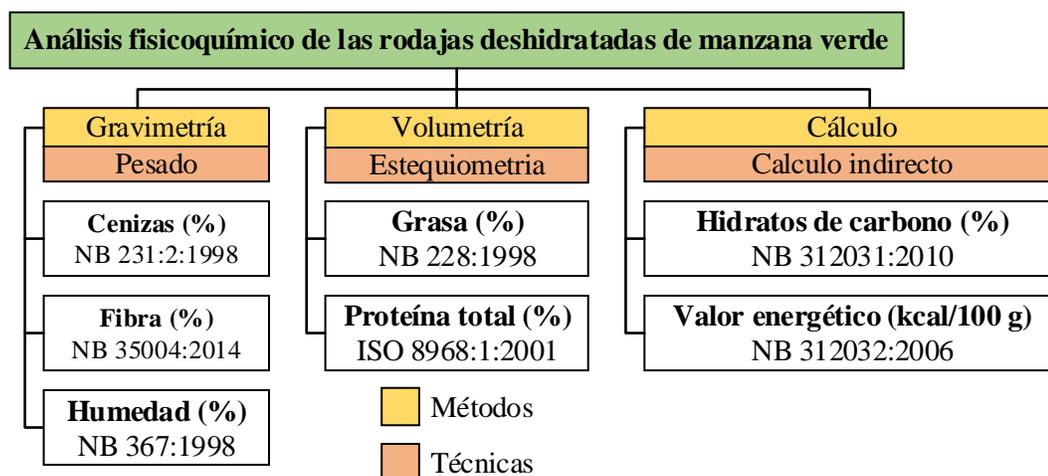


**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.3** Métodos y técnicas utilizadas para los análisis microbiológicos de la manzana verde

### 3.5.4 Análisis fisicoquímicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

Los análisis fisicoquímicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se lo realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. En la figura 3.4, se muestran los métodos y técnicas que fueron utilizados para las rodajas deshidratadas de manzana verde.

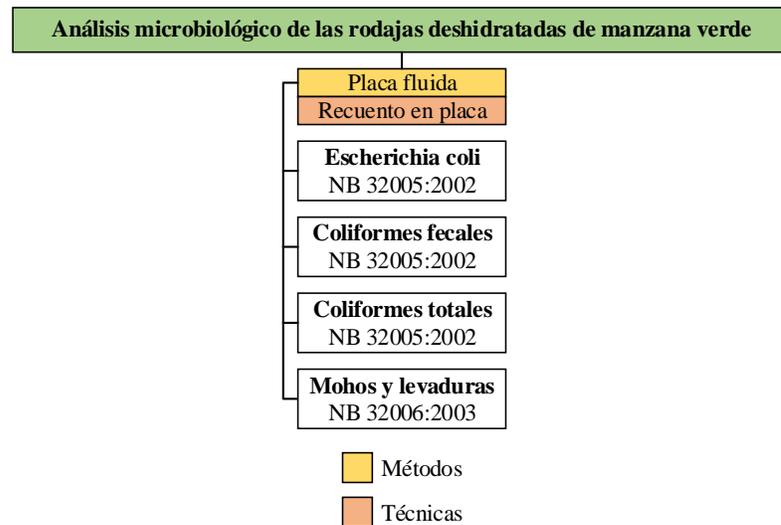


**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.4** Métodos y técnicas utilizadas para los análisis fisicoquímicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

### 3.5.5 Análisis microbiológicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

Los análisis microbiológicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se lo realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. En la figura 3.5, se muestran los métodos y técnicas que fueron utilizados para las rodajas deshidratadas de manzana verde.



**Fuente:** CEANID, 2021

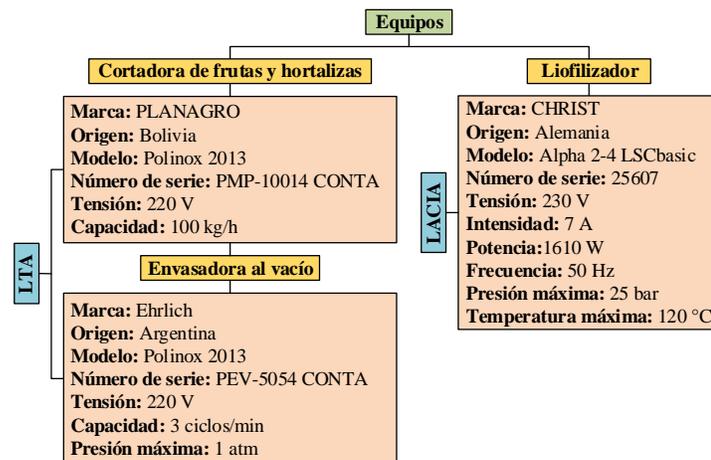
**Figura 3.5** Métodos y técnicas utilizadas para los análisis microbiológicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

### 3.6 Equipos, instrumentos de laboratorio y utensilios de cocina

Los equipos, instrumentos de laboratorio y utensilios de cocina que se utilizaron para el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

#### 3.6.1 Equipos

En la figura 3.6, se muestra la descripción de los equipos que se utilizaron en el presente trabajo de investigación. Las fotografías de los equipos se muestran en el (Anexo F).

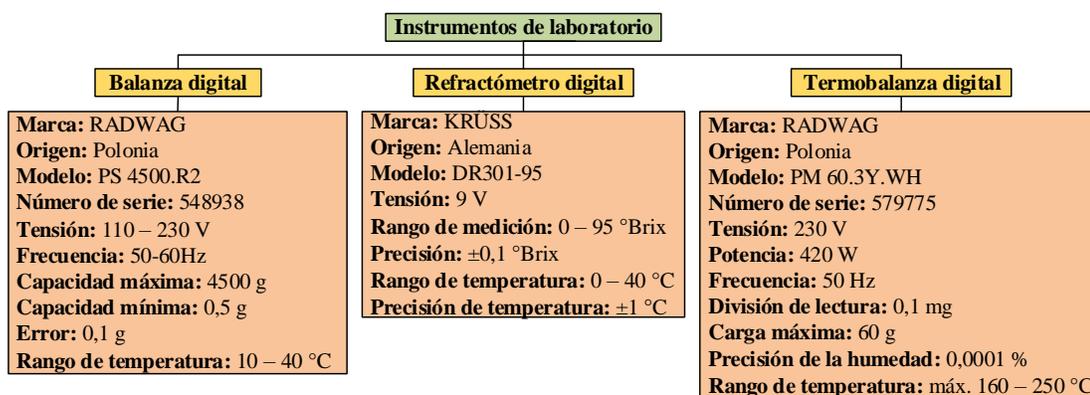


**Fuente:** LTA, 2022

**Figura 3.6** Descripción de equipos

### 3.6.2 Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.7, se muestra la descripción de los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo de investigación. Las fotografías de los instrumentos de laboratorio se muestran en el (Anexo F).

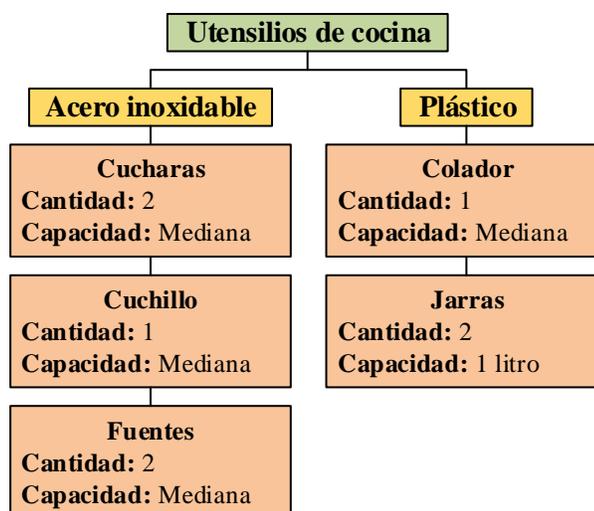


**Fuente:** LACIA, 2022

**Figura 3.7** Descripción de los instrumentos de laboratorio

### 3.6.3 Utensilios de cocina

En la figura 3.8, se muestra la descripción de los utensilios de cocina que se utilizaron en el presente trabajo de investigación.

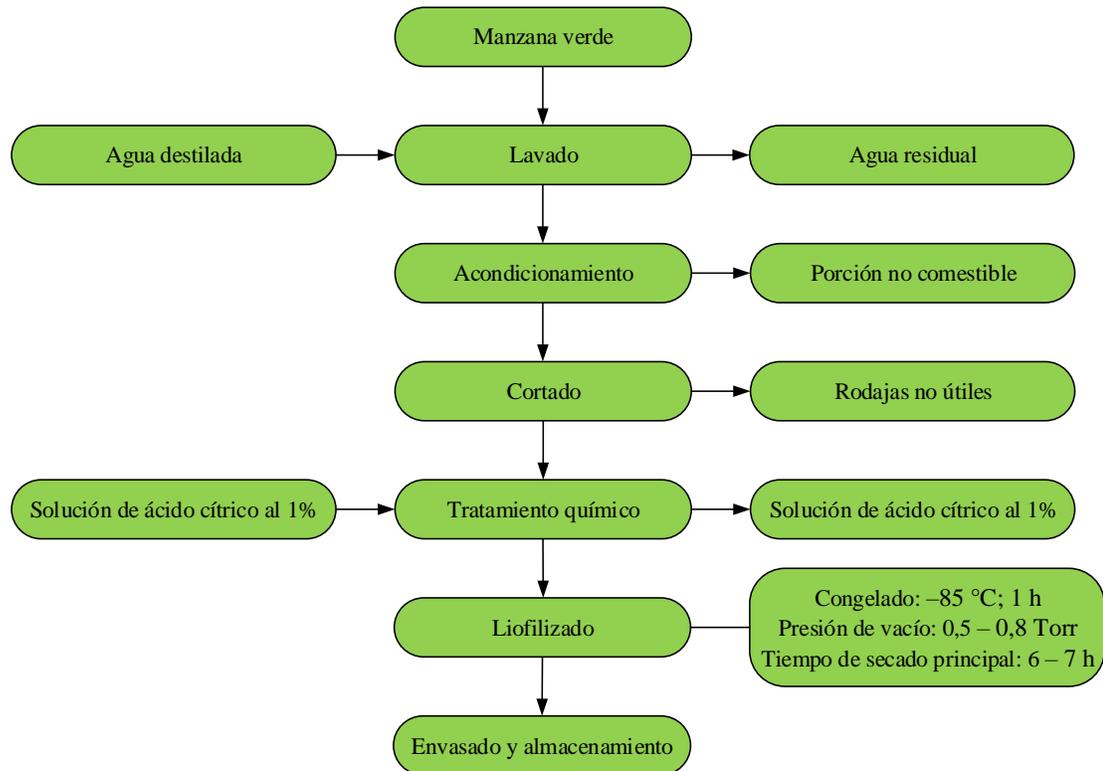


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.8** Descripción de los utensilios de cocina

### 3.7 Diagrama de flujo del proceso de liofilización para las rodajas de manzana verde

En la figura 3.9, se muestra el diagrama de flujo del proceso de liofilización para las rodajas de manzana verde a nivel experimental.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.9** Diagrama de flujo del proceso de liofilización para las rodajas de manzana verde

### 3.8 Descripción del diagrama de flujo para el proceso de liofilización

La descripción del diagrama de flujo para el proceso de liofilización de las rodajas de manzana, se detallan a continuación:

#### 3.8.1 Manzana verde

La materia prima que se utilizó para el presente trabajo de investigación, fue la manzana verde variedad *Granny smith*, adquirida del Mercado Campesino de la provincia Cercado de Tarija y procedente de la República Argentina.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.10** Venta de manzanas en el Mercado Campesino y exposición de las manzanas verdes

### 3.8.2 Lavado

El lavado (figura 3.11), se realizó sumergiendo la manzana verde en agua destilada, con la finalidad de eliminar la tierra y otros residuos adheridos en la superficie de la fruta.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.11** Lavado de la manzana verde

### 3.8.3 Acondicionamiento

El acondicionamiento (figura 3.12), se realizó separando la parte comestible (pulpa y cáscara) de la no comestible (semillas, cáliz y pedúnculo) en la manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.12** Acondicionamiento de la manzana verde

### 3.8.4 Cortado

Para el cortado de la manzana verde (figura 3.13), se utilizó la cortadora de frutas y hortalizas, obteniendo rodajas de 1 mm de grosor.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.13** Cortado de la manzana verde

### 3.8.5 Tratamiento químico

El tratamiento químico, se realizó con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático en la manzana verde, mediante solución de ácido cítrico al 1% (ver Pág. 34 y 60). Posteriormente, se sumergieron las rodajas de manzana verde en la solución preparada por cinco minutos (figura 3.14) y luego se las dejó escurrir en el colador (figura 3.15).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.14** Preparación de la solución para el tratamiento químico y sumergimiento de las rodajas de manzana verde en la solución



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.15** Escurrido de las rodajas de manzana verde

### 3.8.6 Liofilizado

Para el proceso de liofilización se introdujeron las rodajas de manzana en el liofilizador para controlar las etapas de congelación y secado principal.

Se introdujeron las rodajas de manzana verde al liofilizador (figura 3.16), se las dejó congelar en el equipo por 1 hora. Una vez terminada la etapa de congelación, las rodajas de manzana verde pasaron a la etapa de secado principal, para extraer la humedad mediante sublimación a una presión de vacío de 0,8 Torr. Al finalizar el secado principal, se procedió a retirar las rodajas de manzana verde, que ya estaban deshidratadas y se las guardaron en un recipiente seco para su posterior envasado.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.16** Proceso de liofilización de la manzana verde

### 3.8.7 Envasado y almacenamiento

Para el envasado de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se usaron bolsas herméticas de polipropileno y para el sellado de los envases se utilizó la envasadora al vacío (figura 3.17). Para el almacenamiento de las muestras de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se almacenó en recipientes cerrados herméticamente para evitar el aumento de humedad en las muestras.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.17** Envasado de las rodajas deshidratadas de manzana verde

### 3.9 Operacionalización de las variables para el proceso de liofilización

En la tabla 3.1, se muestra el cuadro de operacionalización de las variables para el proceso de liofilización del presente trabajo de investigación.

**Tabla 3.1**

*Operacionalización de las variables para el proceso de liofilización*

Hipótesis	Variables	Definición	Parámetros	Indicadores	Escala	
La aplicación del método de liofilización a nivel experimental permitirá obtener rodajas deshidratadas de manzana verde en la provincia Cercado de Tarija.	Independiente	Proceso de liofilización	Proceso que tiene como objetivo separar el agua de un material orgánico, mediante congelación, realizando la sublimación del hielo a presión reducida, creando un producto deshidratado sin alterar su composición cualitativa ni cuantitativa (Noguera, 2020).	Tamaño de corte	–	mm
				Presión de vacío	–	Torr
				Contenido de humedad	–	%
	Dependiente	Rodajas deshidratadas de manzana verde	La fruta deshidratada es aquella fruta fresca y natural a la que se le aplica un proceso de deshidratación reduciendo su contenido de agua, pero que conserva todas las propiedades y vitaminas de la fruta fresca (Montesino, 2014).	Análisis fisicoquímico	Cenizas	%
					Fibra	%
					Grasa	%
					Hidratos de carbono	%
					Humedad	%
					Proteína total	%
				Evaluación sensorial	Valor energético	Kcal/100g
					Evaluación sensorial	Escala hedónica de 5 puntos
Aroma						
Color						
Presentación						
Sabor						
			Textura			

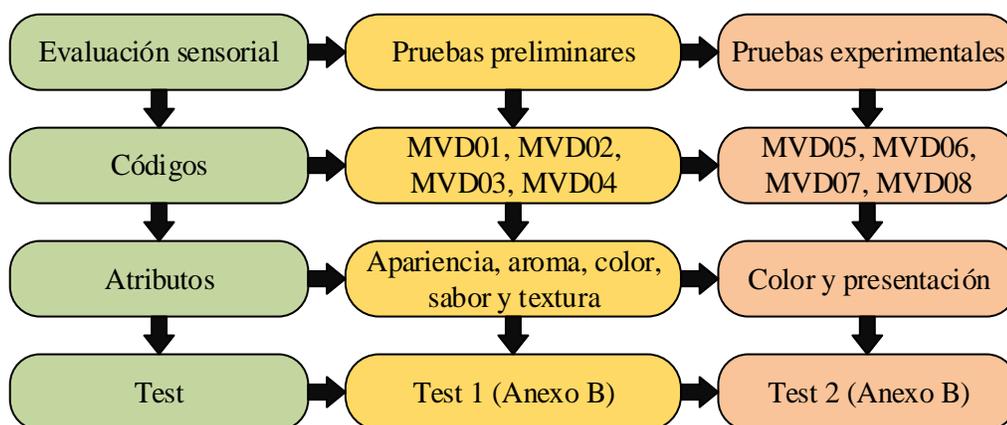
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.10 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se ha definido como la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las respuestas a los productos percibidos a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Severiano, 2019).

Según Cordero (2013), las propiedades sensoriales como color, sabor, olor y textura son criterios de aceptación o rechazo tan importantes como los instrumentales que se puede evaluar por grupos de jueces entrenados, tanto en la materia prima como en el producto ya terminado.

Para Hernández (2005), la evaluación sensorial es la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el momento que lo observa y después que lo consume. Se debe tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo. En la figura 3.18, se detallan de las evaluaciones sensoriales realizadas en el presente trabajo de investigación.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.18** Evaluaciones sensoriales realizadas en la obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

### 3.11 Diseño experimental

Según Hernández et al., (2014), un experimento es el estudio de investigación en el que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (supuestas causas)

para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos), dentro de una situación de control para el investigador.

### **3.11.1 Diseño factorial $2^k$**

Según Gutiérrez & Vara (2008), el objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Uno de los objetivos particulares más importantes que en ocasiones tiene un diseño factorial es determinar una combinación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea mejor.

Para Gutiérrez & Vara (2008), los factores pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo. Para estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. Con el diseño factorial se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar.

Los diseños factoriales  $2^k$  (k factores con dos niveles de prueba cada uno), que es una de las familias de diseños de mayor impacto en la industria y en la investigación, debido a su eficacia y versatilidad. Los diseños factoriales  $2^k$  son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco ( $2 \leq k \leq 5$ ), rango en el cual su tamaño se encuentra entre 4 y 32 tratamientos; esta cantidad es manejable en muchas situaciones experimentales (Gutiérrez & Vara, 2008).

### **3.11.2 Diseño factorial $2^2$ en el proceso de liofilización**

Para realizar el diseño experimental en el proceso de liofilización, se utilizó el diseño factorial  $2^k$ , con k variables y dos niveles de variación de cada variable. En este presente trabajo de investigación se tiene 2 variables con 2 niveles cada uno. A continuación, se muestran la ecuación 3.1 y ecuación 3.2.

$$2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

2 = Número de niveles

k = Número de variables

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ pruebas / réplica} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

En la tabla 3.2, se muestra los niveles de variación de las variables (nivel inferior y superior), que se aplicaron en el proceso de liofilización y conformado por dos variables: tamaño de corte y presión de vacío.

**Tabla 3.2**

*Niveles de variación de las variables en el proceso de liofilización*

Variables	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Tamaño de corte (A)	mm	1	3
Presión de vacío (B)	Torr	0,5	0,8

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.3, se muestra la matriz del diseño experimental que se aplicó en el proceso de liofilización y conformado por 2 variables con 2 niveles cada uno.

**Tabla 3.3**

**Matriz de variables para el proceso de liofilización**

Combinación de tratamientos	Variables		Interacción	Variable respuesta
	A	B	AB	$Y_i$
(1)	-	-	+	$Y_1$
a	+	-	-	$Y_2$
b	-	+	-	$Y_3$
ab	+	+	+	$Y_4$

**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

A = Tamaño de corte de las rodajas (mm)

B = Presión de vacío (Torr)

$Y_i$  = Contenido de humedad (%)

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y**  
**DISCUSIONES**

#### 4.1 Caracterización de la manzana verde

Para la caracterización de la manzana verde se tomaron en cuenta las propiedades físicas, análisis fisicoquímico y microbiológico, los cuales se detallan a continuación:

##### 4.1.1 Propiedades físicas de la manzana verde

En la tabla 4.1, se muestran las propiedades físicas de la manzana verde que han sido realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

**Tabla 4.1**

*Propiedades físicas de la manzana verde*

N°	Peso Total (g)	PC (%)	PNC (%)	Sólidos Solubles (°Brix)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	RU (%)	RNU (%)
1	128,07	99,61	0,39	12,1	68,75	60,00	60,00	40,00
2	135,46	99,54	0,46	11,5	70,30	62,60	34,15	65,85
3	136,75	99,60	0,40	11,8	70,75	60,65	45,71	54,29
4	140,28	99,54	0,46	11,9	72,65	61,75	57,89	42,11
5	141,64	99,51	0,49	11,9	73,60	60,30	39,02	60,98
6	142,14	99,73	0,27	11,0	71,50	63,00	53,12	46,88
7	142,83	99,68	0,32	11,9	71,30	66,35	35,90	64,10
8	144,23	99,68	0,32	11,8	70,35	68,50	36,84	63,16
9	145,10	99,59	0,41	11,7	74,00	60,05	47,30	52,70
10	146,01	99,61	0,39	11,7	72,30	67,00	40,54	59,46
11	146,15	99,75	0,25	11,9	68,55	65,75	54,29	45,71
12	147,40	99,67	0,33	11,9	70,50	63,20	36,37	63,63
13	147,51	99,68	0,32	12,2	71,65	67,00	52,70	47,30
14	147,58	99,81	0,19	11,6	74,80	62,40	57,14	42,86
15	151,10	99,75	0,25	11,4	74,65	64,30	51,28	48,72
X <sub>i</sub>	142,82±0,01	99,65	0,35	11,75±0,1	71,75±0,05	63,52±0,05	46,82	53,18

**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

PC: Porción comestible (%)

PNC: Porción no comestible (%)

RU: Rodajas útiles (%)

RNU: Rodajas no útiles (%)

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados promedios de las propiedades físicas de la manzana verde, en donde: peso total de  $142,82 \pm 0,01$  g; porción comestible de 99,65 %; porción no comestible de 0,35 %; sólidos solubles de  $11,75 \pm 0,1$  °Brix; diámetro de  $71,71 \pm 0,05$  mm; altura de  $63,52 \pm 0,05$  mm; rodajas útiles de 46,82 % y rodajas no útiles de 53,18 %.

#### 4.1.2 Análisis fisicoquímico de la manzana verde

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la manzana verde de datos extraídos del (Anexo A) y realizado en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.2**

##### *Análisis fisicoquímico de la manzana verde*

Componentes	Unidad	Resultados
Cenizas	%	0,16
Fibra	%	0,82
Grasa	%	0,32
Hidratos de carbono	%	11,48
Humedad	%	86,71
Proteína total (Nx6,25)	%	0,51
Valor energético	Kcal/100g	50,84

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.2, se puede observar que la manzana verde, contiene: Cenizas 0,16 %; Fibra 0,82 %; Grasa 0,32 %; Hidratos de carbono 11,48 %; Humedad 86,71 %; Proteína total (Nx6,25) 0,51 % y Valor energético 50,84 Kcal/100g.

#### 4.1.3 Análisis de minerales de la manzana verde

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis de minerales de la manzana verde de datos extraídos del (Anexo A) y realizado en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.3***Análisis de minerales de la manzana verde*

Minerales	Unidad	Resultados
Fósforo	mg/100g	6,7
Potasio	mg/100g	108

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.3, se puede observar que la manzana verde, contiene: Fósforo 6,7 mg/100g y Potasio 108 mg/100g.

**4.1.4 Análisis microbiológico de la manzana verde**

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la manzana verde de datos extraídos del (Anexo A) y realizado en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.4***Análisis microbiológico de la manzana verde*

Microorganismos	Unidad	Resultados
Coliformes fecales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Escherichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
(*) No se observa desarrollo de colonias		

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.4, se puede observar que de la manzana verde, contiene: Coliformes fecales  $< 1,0 \times 10^1$  UFC/g (\*), Coliformes totales  $< 1,0 \times 10^1$  UFC/g (\*), Escherichia coli  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Mohos y Levaduras  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g; (\*) No se observa desarrollo de colonias.

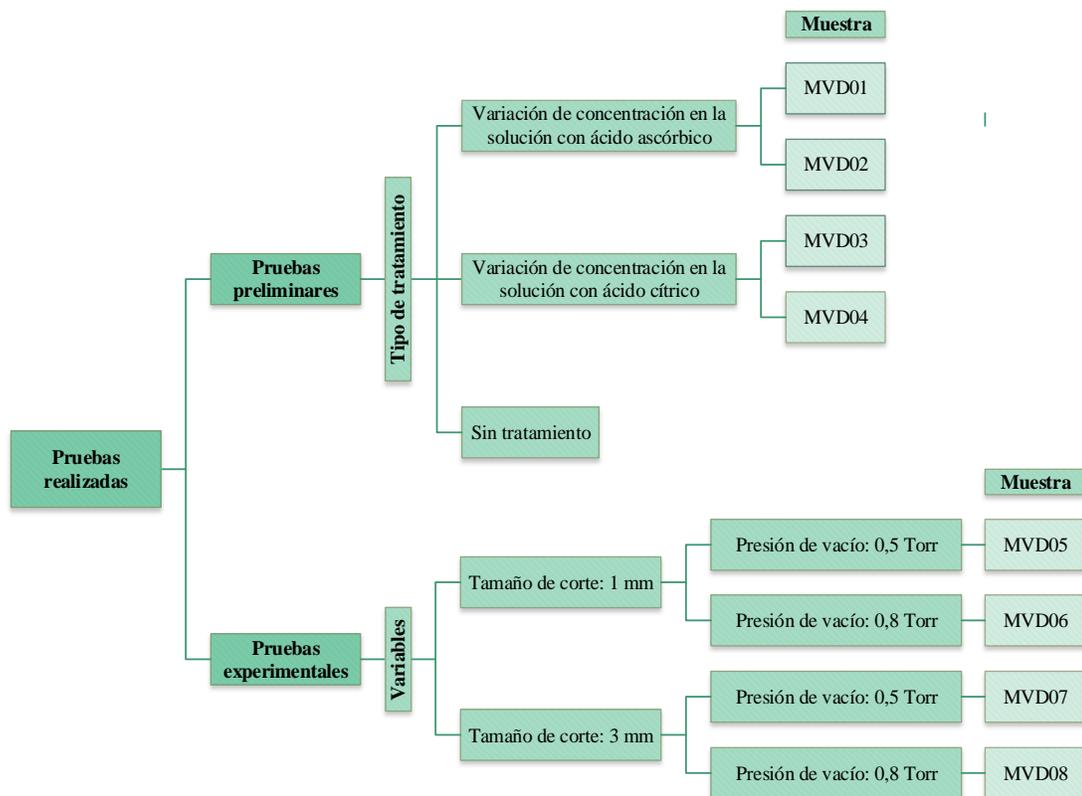
**4.2 Caracterización de las variables del proceso para la obtención de rodajas deshidratadas de manzana verde por liofilización**

Para la caracterización de las variables del proceso para la obtención rodajas deshidratadas de manzana verde por liofilización, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

#### 4.2.1 Clasificación de las pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico de las muestras de manzana verde

Según Denoya et al., (2012), los tratamientos aplicados a la manzana verde fueron: 2% ácido ascórbico, 1% ácido cítrico, 1% ácido ascórbico y 0,5 % ácido cítrico. La fruta fue sometida durante cinco minutos a un baño de inmersión con distintos aditivos.

En la figura 4.1, se muestra las pruebas preliminares realizadas a nivel experimental, en donde se prepararon soluciones de ácido ascórbico y cítrico al 0,5 y 1%, con la finalidad de determinar el tratamiento químico a utilizar antes del proceso de liofilización en las muestras de manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1** Pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico

#### 4.2.1.1 Pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico con ácido ascórbico

En la tabla 4.5, se detallan las dos soluciones preparadas de diferente concentración con ácido ascórbico a temperatura ambiente (20 °C). Posteriormente, la manzana verde se sometió a un proceso de corte en rodajas de 1 y 3 mm, después se introdujeron las rodajas en la solución de tratamiento químico en inmersión por tiempo de cinco minutos.

**Tabla 4.5**

##### *Soluciones preparadas con ácido ascórbico*

Muestra	Acido	Concentración (%)
MVD01	Ascórbico	0,5
MVD02	Ascórbico	1,0

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.1.2 Pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico con ácido cítrico

En la tabla 4.6, se detallan las dos soluciones preparadas de diferente concentración con ácido cítrico a temperatura ambiente (20 °C). Posteriormente, la manzana verde se sometió a un proceso de corte en rodajas de 1 y 3 mm, después se introdujeron las rodajas en la solución de tratamiento químico en inmersión por tiempo de cinco minutos.

**Tabla 4.6**

##### *Soluciones preparadas con ácido cítrico*

Muestra	Acido	Concentración (%)
MVD03	Cítrico	0,5
MVD04	Cítrico	1,0

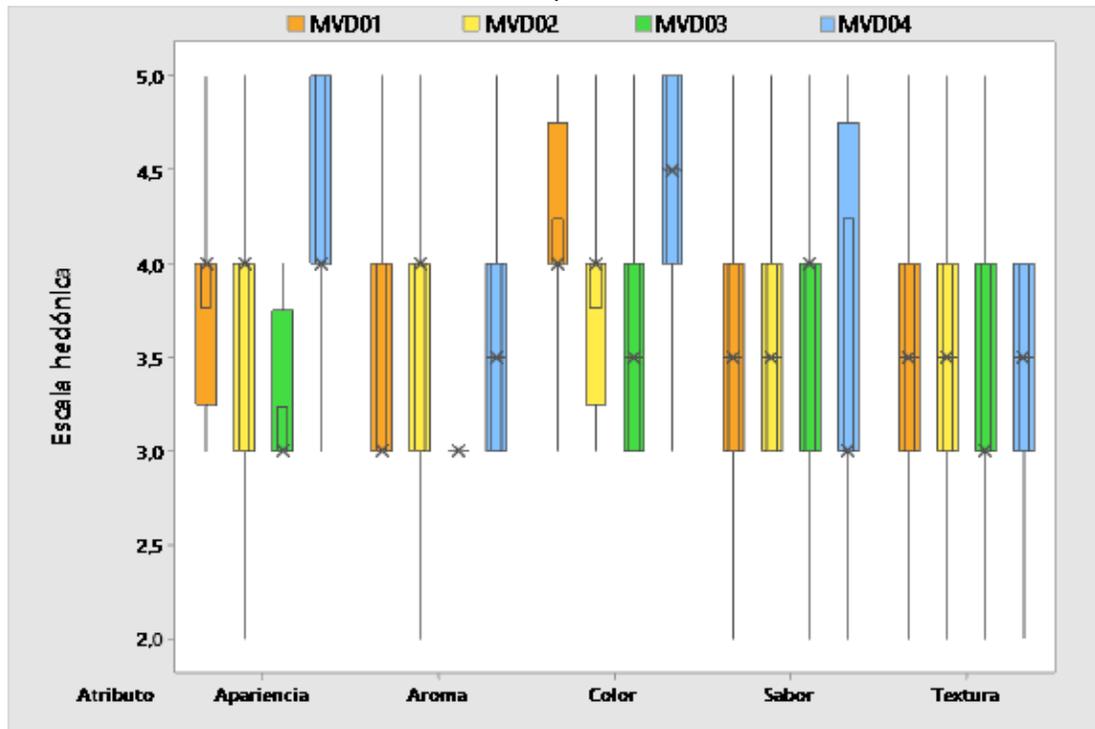
**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.2 Evaluación sensorial de las muestras preliminares para elegir el tratamiento químico

La evaluación sensorial de las muestras preliminares se realizó con 16 jueces no entrenados en escala hedónica de 5 puntos. Las muestras preliminares fueron evaluadas en base a los atributos de apariencia, aroma, color, sabor y textura.

#### 4.2.2.1 Diagrama de caja y bigote para elegir el tratamiento químico de las muestras preliminares

En la figura 4.2, se muestra el resultado del diagrama de caja y bigote para elegir el tratamiento químico de las muestras preliminares. Se utilizó el programa estadístico Minitab 19 para Windows.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.2** Caja y bigote para elegir el tratamiento químico de muestras preliminares

En la figura 4.2, se muestra la caja y bigote de las cuatro muestras en función de los atributos y donde los resultados están en función de la mediana y posición de la caja: atributo apariencia con 4,0 (MVD04); atributo aroma con 4,0 (MVD02); atributo color con 4,5 (MVD04); atributo sabor con 4,0 (MVD03) y atributo textura con 4,0 (MVD01 y MVD02). Así mismo, realizado el análisis de varianza se pudo corroborar que no existe diferencia significativa para los atributos sabor y textura para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

Según la preferencia de los jueces, se precedió a elegir la muestra MVD04, para los atributos de aroma y color que presentaron mayor aceptación.

#### 4.2.2.2 Análisis de varianza para el atributo apariencia en las muestras preliminares

Según los resultados extraídos de la tabla C.1.2 del (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo apariencia en la evaluación sensorial de las muestras preliminares, se puede evidenciar que valor  $F >$  valor  $P$  ( $2,030 > 0,119$ ). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede corroborar que, si existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo apariencia, con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.2.3 Prueba de Tukey para el atributo apariencia en las muestras preliminares

En la tabla 4.7, se muestra los resultados obtenidos de la prueba de Tukey para el atributo apariencia a un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y extraído de la tabla C.1.4 del (Anexo C).

**Tabla 4.7**

#### *Prueba de Tukey para el atributo apariencia*

Muestra	N	Media	Agrupación
MVD04	16	4,000	A
MVD01	16	3,750	A
MVD02	16	3,563	A
MVD03	16	3,188	A

\*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.7, se puede observar que la muestra MVD04, presenta la mayor media con un valor de 4,000. Después le sigue la muestra MVD01, con una media de 3,750. Posteriormente, se encuentra la muestra MVD02, con una media de 3,563. Por último, se encuentra la muestra MVD03, con una media 3,188. Además, se observa que no existe diferencia significativa entre las muestras.

#### 4.2.2.4 Análisis de varianza para el atributo aroma en las muestras preliminares

Según los resultados extraídos de la tabla C.2.2 del (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo aroma en la evaluación sensorial de las muestras preliminares, se puede evidenciar que valor  $F >$  valor  $P$  ( $0,900 > 0,445$ ). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede corroborar que, si existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo aroma, con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.2.5 Prueba de Tukey para el atributo aroma en las muestras preliminares

En la tabla 4.8, se muestra los datos estadísticos de la prueba de Tukey para el atributo aroma a un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y extraído de la tabla C.2.4 del (Anexo C).

**Tabla 4.8**

#### *Prueba de Tukey para el atributo aroma*

Muestra	N	Media	Agrupación
MVD02	16	3,625	A
MVD04	16	3,563	A
MVD01	16	3,500	A
MVD03	16	3,250	A

\*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** Elaboracion propia

En la tabla 4.8, se puede observar que la muestra MVD02, presenta la mayor media con un valor de 3,625. Después le sigue la muestra MVD04, con una media de 3,563. Posteriormente, se encuentra la muestra MVD01, con una media de 3,500. Por último, se encuentra la muestra MVD03, con una media 3,250. Además, se observa que no existe diferencia significativa entre las muestras.

#### 4.2.2.6 Análisis de varianza para el atributo color en las muestras preliminares

Según los resultados extraídos de la tabla C.3.2 del (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo color en la evaluación sensorial de las muestras preliminares, se puede evidenciar que valor  $F >$  valor  $P$  ( $4,620 > 0,006$ ). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede corroborar que, si existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo color, con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.2.7 Prueba de Tukey para el atributo color en las muestras preliminares

En la tabla 4.9, se muestra los datos estadísticos de la prueba de Tukey para el atributo color a un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y extraído de la tabla C.3.4 del (Anexo C).

**Tabla 4.9**

##### *Prueba de Tukey para el atributo color*

Muestra	N	Media	Agrupación	
MVD04	16	4,375	A	
MVD01	16	4,188	A	B
MVD02	16	3,813	A	B
MVD03	16	3,625		B

\*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** Elaboracion propia

En la tabla 4.9, se puede observar que la muestra MVD04, presenta la mayor media con un valor de 4,375. Después le sigue la muestra MVD01, con una media de 4,188. Posteriormente, se encuentra la muestra MVD02, con una media de 3,813. Por último, se encuentra la muestra MVD03, con una media 3,625. Además, se observa que si existe diferencia significativa entre las muestras. Sin embargo, las muestras MVD01 y MVD02, tienen valores bastante parecidos y no existe diferencia significativa entre ambas muestras.

### 4.3 Diseño factorial 2<sup>2</sup> en el proceso de liofilización para la obtención de rodajas deshidratadas de manzana verde

Para determinar que variable influye en el proceso de liofilización para la obtención de rodajas deshidratadas de manzana verde, se procedió a realizar de manera experimental para las variables: tamaño de corte (A) y presión de vacío (B), donde la variable respuesta fue contenido de humedad (%). Los resultados obtenidos se muestran en el (Anexo D).

#### 4.3.1 Análisis de varianza para la variable respuesta de contenido de humedad en el proceso de liofilización

Para la determinación de contenido de humedad (%), se utilizó la termobalanza digital. En la tabla 4.10, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño

factorial  $2^2$ , utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI para Windows en el proceso de liofilización, donde la variable respuesta fue el contenido de humedad (%) y datos extraídos de la tabla D.1.3 del (Anexo D).

**Tabla 4.10**

*Análisis de varianza para la variable respuesta de contenido de humedad*

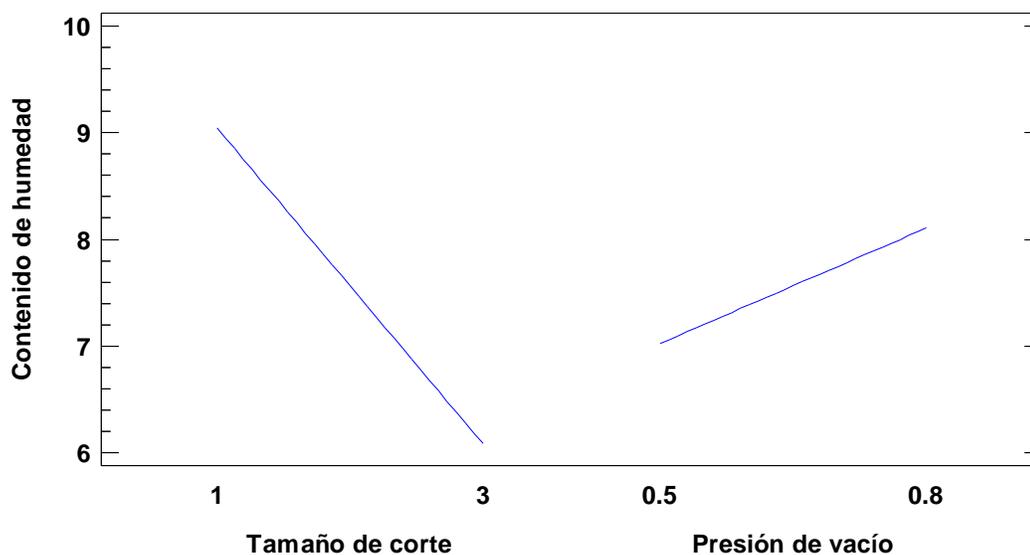
Fuente de Varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Razón-F	Valor-P
A:Tamaño de corte	26,433	1	26,433	249,020	0,000
B:Presión de vacío	3,532	1	3,532	33,270	0,001
Interacción AB	0,011	1	0,011	0,110	0,754
Error total	0,637	6	0,106		
Total	31,067	11			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.10, se observa que las variables: tamaño de corte (A) y presión de vacío (B), son estadísticamente significativos para el proceso de liofilización, debido a que razón-F > valor-P, para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Sin embargo, la interacción AB no es estadísticamente significativo en el proceso de liofilización, debido a que razón-F < valor-P, para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

De acuerdo al diseño factorial  $2^2$ , aplicado en el proceso de liofilización, se puede observar que las variables: tamaño de corte (A) y presión de vacío (B) son estadísticamente significativos  $(249,020) > (0,000)$ ,  $(33,270) > (0,001)$ . Sin embargo, la interacción AB no es estadísticamente significativo, para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

En la figura 4.3, se observa la gráfica de efectos principales de las variables: tamaño de corte (A) y presión de vacío (B) con relación al contenido de humedad de las muestras de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.

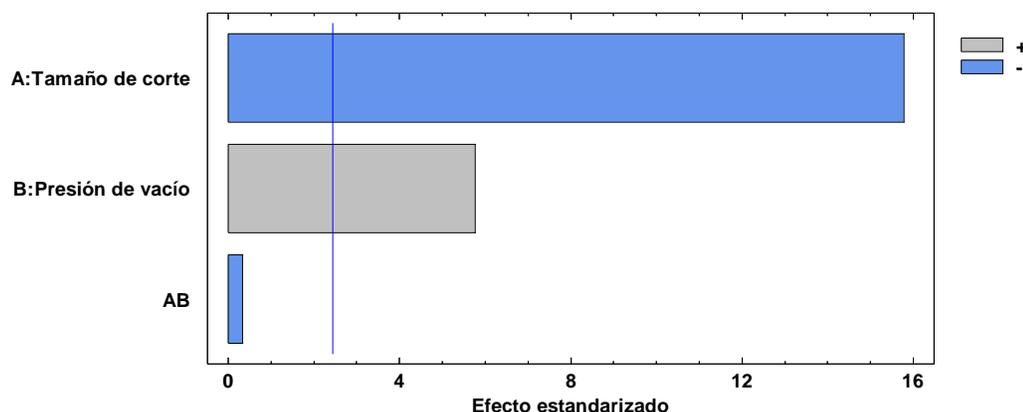


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.3** Efectos principales con relación al contenido de humedad

En la figura 4.3, se puede observar que la variable (A), tamaño de corte (1 – 3 mm), es el que incide más significativamente en el contenido de humedad de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde en un nivel alto y bajo, a comparación con la variable (B), presión de vacío (0,5 – 0,8 Torr), que incide significativamente en el contenido de humedad, pero en menor proporción en un nivel alto y bajo.

En la figura 4.4, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de las variables tomadas en cuenta para el diseño experimental los cuales están ordenados de mayor a menor, datos extraídos de la figura D.1 del (Anexo D). La línea vertical de referencia es la que determina la significancia estadística con un valor 2,306. Por lo tanto, los efectos que sobrepasan la línea, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4** Diagrama de Pareto estandarizada para contenido de humedad

En la figura 4.4, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente. Las variables: tamaño de corte (A) y presión de vacío (B), son estadísticamente significativas, debido a que las barras de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Mientras que, la interacción AB, no es estadísticamente significativo.

#### 4.3.2 Evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental

La evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental se realizó con 21 jueces no entrenados en escala hedónica de cinco puntos. Las muestras experimentales fueron evaluadas en base a los atributos de color y presentación. En la tabla 4.11, se detallan las cuatro muestras del diseño experimental para la realización de la evaluación sensorial.

**Tabla 4.11**

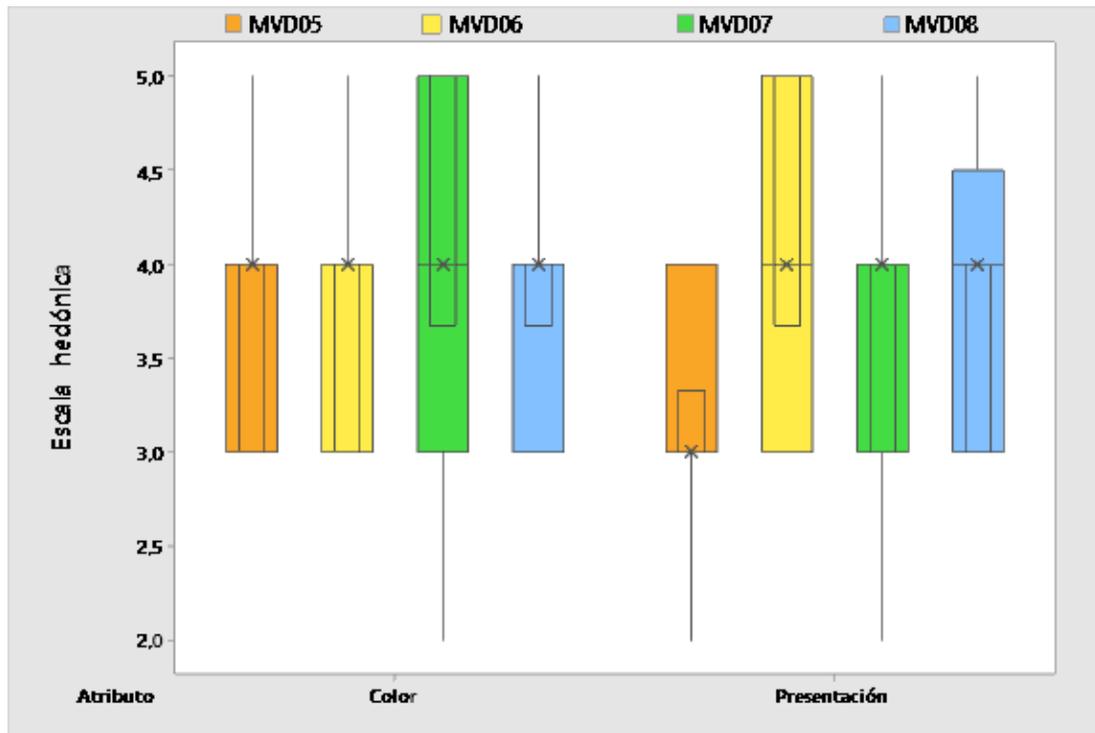
##### *Muestras del diseño experimental*

Muestra	Tamaño de corte (mm)	Presión de vacío (Torr)
MVD05	1	0,5
MVD06	1	0,8
MVD07	3	0,5
MVD08	3	0,8

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.2.1 Diagrama de caja y bigote para las muestras del diseño experimental

En la figura 4.5, se muestran el resultado del diagrama de caja y bigote para elegir la muestra final del diseño experimental. Se utilizó el programa estadístico Minitab 19 para Windows.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.5** Caja y bigote para las muestras del diseño experimental

En la figura 4.5, se muestra la caja y bigote de las cuatro muestras en función de los atributos y donde los resultados están en función de la mediana y posición de la caja: atributo color con 4,0 (MVD07) y atributo presentación con 4,0 (MVD06). Así mismo, realizado el análisis de varianza se pudo corroborar que si existe diferencia significativa para los atributos color y presentación para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

Según la preferencia de los jueces, se procedió a elegir la muestra MVD06, para el atributo presentación que presentó mayor aceptación.

#### 4.3.2.2 Análisis de varianza para el atributo color en las muestras del diseño experimental

Según los resultados extraídos de la tabla C.6.2 del (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo color en la evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental, se puede evidenciar que valor  $F >$  valor  $P$  ( $0,750 > 0,527$ ). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede corroborar que, si existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo apariencia, con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.3.2.3 Prueba de Tukey para el atributo color en las muestras del diseño experimental

En la tabla 4.12, se muestra los datos estadísticos de la prueba de Tukey para el atributo color a un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y extraído de la tabla C.6.4 del (Anexo C).

**Tabla 4.12**

##### *Prueba de Tukey para el atributo color*

Muestra	N	Media	Agrupación
MVD07	21	4,000	A
MVD05	21	3,857	A
MVD08	21	3,810	A
MVD06	21	3,667	A

\*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** Elaboracion propia

En la tabla 4.12, se puede observar que la muestra MVD07, presenta la mayor media con un valor de 4,000. Después le sigue la muestra MVD05, con una media de 3,857. Posteriormente, se encuentra la muestra MVD08, con una media de 3,810. Por último, se encuentra la muestra MVD06, con una media 3,667. Además, se observa que no existe diferencia significativa entre las muestras.

#### 4.3.2.4 Análisis de varianza para el atributo presentación en las muestras del diseño experimental

Según los resultados extraídos de la tabla C.7.2 del (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo presentación en la evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental, se puede evidenciar que valor  $F >$  valor  $P$  ( $6,070 > 0,001$ ). Por lo tanto,

se rechaza la hipótesis planteada y se puede corroborar que, si existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo apariencia, con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.3.2.5 Prueba de Tukey para el atributo presentación en las muestras del diseño experimental

En la tabla 4.13, se muestra los resultados obtenidos de la prueba de Tukey para el atributo presentación a un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y extraído de la tabla C.7.4 del (Anexo C).

**Tabla 4.13**

##### *Prueba de Tukey para el atributo presentación*

Muestra	N	Media	Agrupación	
MVD06	21	4,190	A	
MVD08	21	3,905	A	
MVD07	21	3,619	A	B
MVD05	21	3,238		B

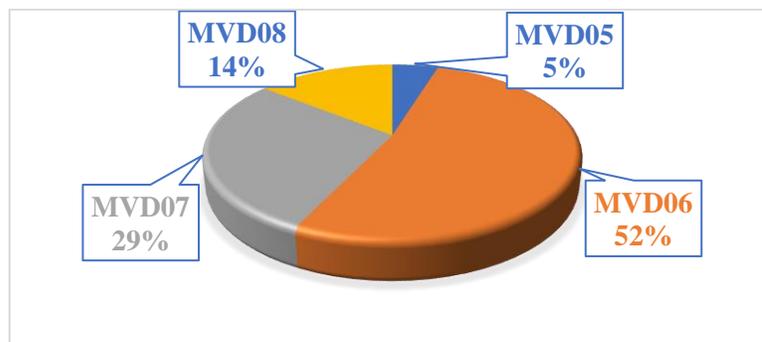
\*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** Elaboracion propia

En la tabla 4.13, se puede observar que la muestra MVD06, presenta la mayor media con un valor de 4,190. Después le sigue la muestra MVD08, con una media de 3,905. Posteriormente, se encuentra la muestra MVD07, con una media de 3,609. Por último, se encuentra la muestra MVD05, con una media de 3,238. Además, se observa que si existe diferencia significativa entre las muestras. Sin embargo, en la muestra MVD07 no existe diferencia significativa con las muestras MVD05 y MVD08.

#### 4.3.2.6 Elección de la muestra final del diseño experimental

Para elegir la muestra final del diseño experimental, se realizó evaluación sensorial con 21 jueces no entrenados. En la figura 4.6, se muestra los resultados obtenidos de la evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental, representado por la gráfica de torta.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6** Gráfica de torta para elegir la muestra final

Se observa que la muestra más elegida por los jueces es la muestra MVD06, con un porcentaje de 52% de aceptación, a diferencia de las demás muestras que obtuvieron un menor porcentaje de aceptación.

#### 4.4 Caracterización de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

Para la caracterización de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde se tomaron en cuenta los análisis fisicoquímicos y microbiológicos y los cuales se detallan a continuación:

##### 4.4.1 Análisis fisicoquímico de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, datos extraídos del (Anexo A) y realizado en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.14**

*Análisis fisicoquímico de las rodajas liofilizadas de manzana verde*

Componentes	Unidad	Resultados
Cenizas	%	1,67
Fibra	%	5,47
Grasa	%	1,53
Hidratos de carbono	%	79,22
Humedad	%	10,63
Proteína total (Nx6,25)	%	1,48
Valor energético	Kcal/100g	336,57

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.16, se puede observar que las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde contienen: Cenizas 1,67 %; Fibra 5,47 %; Grasa 1,53 %; Hidratos de carbono 79,22 %; Humedad 10,63 %; Proteína total (Nx6,25) 1,48 % y Valor energético 336,57 Kcal/100g.

#### 4.4.2 Análisis de minerales de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis de minerales de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, datos extraídos del (Anexo A) y realizado en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.15**

##### *Análisis de minerales de las rodajas liofilizadas de manzana verde*

Minerales	Unidad	Resultados
Fósforo	mg/100g	75,6
Potasio	mg/100g	616,4

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.15, se puede observar que las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, contiene: Fósforo 75,6 mg/100g y Potasio 616,4 mg/100g.

#### 4.4.3 Análisis microbiológico de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

En la tabla 4.16, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, datos extraídos del (Anexo A) y realizado en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.16**

##### *Análisis microbiológico de las rodajas liofilizadas de manzana verde*

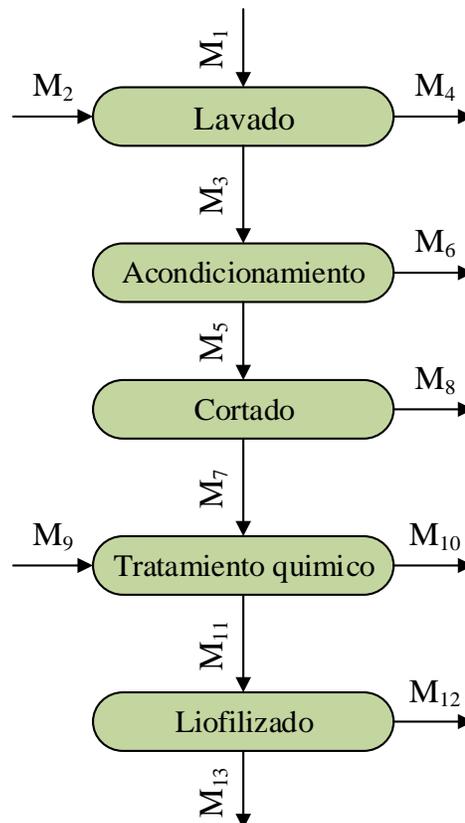
Microorganismos	Unidad	Resultados
Coliformes fecales	UFC/g	< 1,0 x 10 <sup>1</sup> (*)
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0 x 10 <sup>1</sup> (*)
Escherichia coli	UFC/g	< 1,0 x 10 <sup>1</sup> (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	1,40 x 10 <sup>3</sup> (*)
(*) No se observa desarrollo de colonias		

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.16, se puede observar que de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, contiene: Coliformes fecales  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Coliformes totales  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Escherichia coli  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Mohos y Levaduras  $1,40 \times 10^3$  (\*) UFC/g; (\*) No se observa desarrollo de colonias.

#### 4.5 Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

El balance de materia, se realizó tomando en cuenta el diagrama de la figura 4.7 para el proceso de obtención de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, para una base de 540,56 g de manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.7** Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

Donde:

$M_1$  = Manzana verde (g)

$M_2$  = Agua para el lavado (g)

$M_3$  = Manzana verde lavada (g)

$M_4$  = Agua residual (g)

$M_5$  = Porción comestible de manzana verde (g)

$M_6$  = Porción no comestible de manzana verde (g)

$M_7$  = Rodajas útiles de manzana verde (g)

$M_8$  = Rodajas no útiles de manzana verde (g)

$M_9$  = Solución de ácido cítrico (g)

$M_{10}$  = Solución de ácido cítrico residual (g)

$M_{11}$  = Rodajas de manzana verde con tratamiento químico (g)

$M_{12}$  = Agua sublimada (g)

$M_{13}$  = Rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde (g)

$X_7^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles de las rodajas útiles de manzana verde

$X_7^H$  = Fracción de humedad de las rodajas útiles de manzana verde

$X_9^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles de la solución de ácido cítrico

$X_9^H$  = Fracción humedad de la solución de ácido cítrico

$X_{10}^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles de la solución de ácido cítrico residual

$X_{10}^H$  = Fracción de humedad de la solución de ácido cítrico residual

$X_{11}^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles de las rodajas de manzana verde con tratamiento

$X_{11}^H$  = Fracción de humedad de las rodajas de manzana verde con tratamiento

$X_{12}^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles del agua sublimada

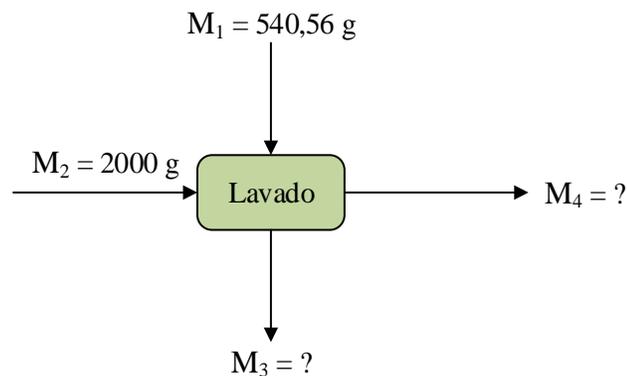
$X_{12}^H$  = Fracción de humedad del agua sublimada

$X_{13}^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles de las rodajas deshidratadas de manzana verde

$X_{13}^H$  = Fracción de humedad de las rodajas deshidratadas de manzana verde

#### 4.5.1 Balance de materia en la etapa de lavado

En la figura 4.8, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de lavado de la manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8** Etapa de lavado de la manzana verde

Balance de materia global en la etapa de lavado:

$$M_1 + M_2 = M_3 + M_4 \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

Para el cálculo de  $M_3$ , se tomó en cuenta el porcentaje de incremento en la etapa de lavado (ver Anexo E):

$$M_3 = M_1 + 0,0003 M_1 \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

$$M_3 = 540,56 \text{ g} + (0,0003) 540,56 \text{ g} = 540,72 \text{ g de manzana verde lavada}$$

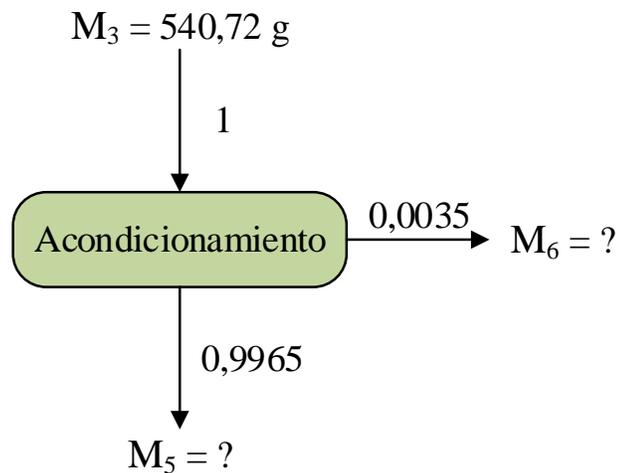
Despejando  $M_4$  de la ecuación 4.1, tenemos:

$$M_4 = M_1 + M_2 - M_3 \quad \text{(Ecuación 4.3)}$$

$$M_4 = 540,56 \text{ g} + 2000 \text{ g} - 540,72 \text{ g} = 1999,84 \text{ g de agua residual}$$

#### 4.5.2 Balance de materia en la etapa de acondicionamiento

En la figura 4.9, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de acondicionamiento de la manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.9** Etapa de acondicionamiento de la manzana verde

Balance de materia global en la etapa de acondicionamiento:

$$M_3 = M_5 + M_6 \quad \text{(Ecuación 4.4)}$$

Para el cálculo de  $M_4$  y  $M_5$ , se tomaron en cuenta los porcentajes de porción comestible y porción no comestible (ver tabla 4.1):

$$M_5 = 0,9965 (M_3) \quad \text{(Ecuación 4.5)}$$

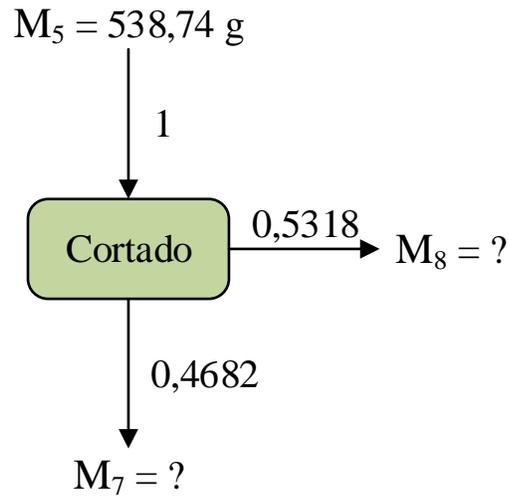
$$M_5 = 0,9965 (540,72 \text{ g}) = 538,83 \text{ g de porción comestible de la manzana verde}$$

$$M_6 = 0,0035 (M_3) \quad \text{(Ecuación 4.6)}$$

$$M_6 = 0,0035 (142,93 \text{ g}) = 1,89 \text{ g de porción no comestible de la manzana verde}$$

### 4.5.3 Balance de materia en la etapa de cortado

En la figura 4.10, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de cortado de la manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.10** Etapa de cortado de la manzana verde

Balance de materia global en la etapa de cortado:

$$M_5 = M_7 + M_8 \quad \text{(Ecuación 4.7)}$$

Para el cálculo de  $M_6$  y  $M_7$ , se tomaron en cuenta los porcentajes de rodajas útiles y rodajas no útiles (ver tabla 4.1):

$$M_7 = (0,4682) M_5 \quad \text{(Ecuación 4.8)}$$

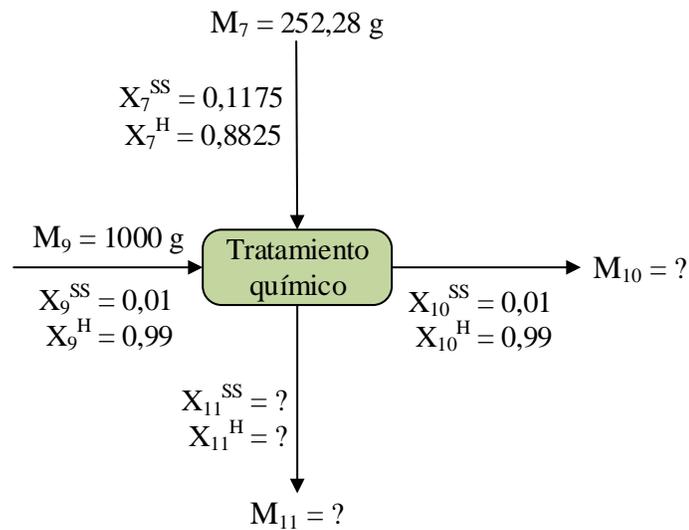
$$M_7 = (0,4682) 538,83 \text{ g} = 252,28 \text{ g de rodajas útiles de manzana verde}$$

$$M_8 = (0,5318) M_5 \quad \text{(Ecuación 4.9)}$$

$$M_8 = (0,5318) 538,83 \text{ g} = 286,55 \text{ g de rodajas no útiles de manzana verde}$$

### 4.5.4 Balance de materia en la etapa de tratamiento químico

En la figura 4.11, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de tratamiento químico de las rodajas de manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11** Etapa de tratamiento químico de las rodajas de manzana verde

Balance de materia global en la etapa de tratamiento químico:

$$M_7 + M_9 = M_{10} + M_{11} \quad \text{(Ecuación 4.10)}$$

Para el cálculo de  $M_{11}$ , se tomó en cuenta el porcentaje de incremento en la etapa de tratamiento químico (ver Anexo E):

$$M_{11} = M_7 + 0,0768 M_7 \quad \text{(Ecuación 4.11)}$$

$M_{11} = 252,28 \text{ g} + (0,0768) 252,28 \text{ g} = 271,66 \text{ g}$  de rodajas de manzana verde con tratamiento químico

Despejando  $M_{10}$  de la ecuación 4.10, tenemos:

$$M_{10} = M_7 + M_9 - M_{11} \quad \text{(Ecuación 4.12)}$$

$M_{10} = 252,28 \text{ g} + 1000 \text{ g} - 271,66 \text{ g} = 980,62 \text{ g}$  solución de ácido cítrico residual

Balance de materia parcial para sólidos solubles en la etapa de tratamiento químico:

$$M_7 (X_7^{SS}) + M_9 (X_9^{SS}) = M_{10} (X_{10}^{SS}) + M_{11} (X_{11}^{SS}) \quad \text{(Ecuación 4.13)}$$

$$X_{11}^{SS} = \frac{M_7 X_7^{SS} + M_9 X_9^{SS} - M_{10} X_{10}^{SS}}{M_{11}}$$

$$X_{11}^{SS} = \frac{252,28 \text{ g} (0,1175) + 1000 \text{ g} (0,01) - 980,62 \text{ g} (0,01)}{271,66 \text{ g}}$$

$$X_{11}^{SS} = 0,1098$$

Balance de materia parcial para humedad en la etapa de tratamiento químico:

$$M_7 (X_7^H) + M_9 (X_9^H) = M_{10} (X_{10}^H) + M_{11} (X_{11}^H) \quad \text{(Ecuación 4.14)}$$

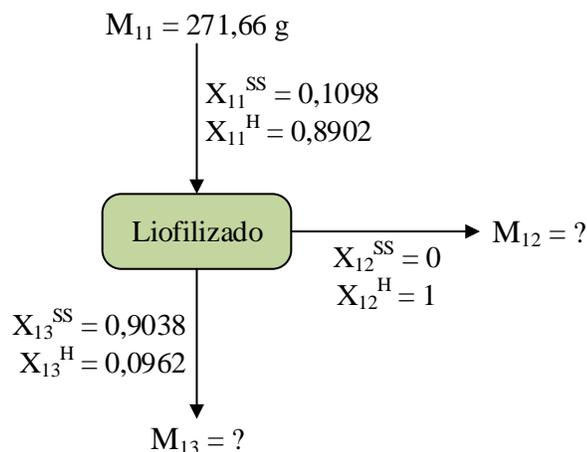
$$X_{11}^H = \frac{M_7 X_7^H + M_9 X_9^H - M_{10} X_{10}^H}{M_{11}}$$

$$X_{11}^H = \frac{252,28 \text{ g} (0,8825) + 1000 \text{ g} (0,99) - 980,62 \text{ g} (0,99)}{271,66 \text{ g}}$$

$$X_{11}^H = 0,8902$$

#### 4.5.5 Balance de materia en la etapa de liofilizado

En la figura 4.12, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de liofilizado de las rodajas de manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12** Etapa de liofilizado de las rodajas de manzana verde

Balance de materia global en la etapa de liofilizado:

$$M_{11} = M_{12} + M_{13} \quad \text{(Ecuación 4.15)}$$

Balance de materia parcial para solidos solubles en la etapa de liofilizado:

$$M_{11} (X_{11}^{SS}) = M_{12} (X_{12}^{SS}) + M_{13} (X_{13}^{SS})$$

Tomando en cuenta que  $X_{12}^{SS} = 0$ , entonces:

$$M_{11} (X_{11}^{SS}) = M_{13} (X_{13}^{SS}) \quad \text{(Ecuación 4.16)}$$

$$M_{13} = \frac{M_{11} X_{11}^{SS}}{X_{13}^{SS}}$$

$$M_{13} = \frac{271,66 \text{ g } (0,1098)}{0,9038}$$

$M_{13} = 33 \text{ g}$  de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

Balance de materia parcial para humedad en la etapa de liofilizado:

$$M_{11} (X_{11}^H) = M_{12} (X_{12}^H) + M_{13} (X_{13}^H)$$

Tomando en cuenta que  $X_{12}^H = 1$ , entonces:

$$M_{11} (X_{11}^H) = M_{12} + M_{13} (X_{13}^H) \quad \text{(Ecuación 4.17)}$$

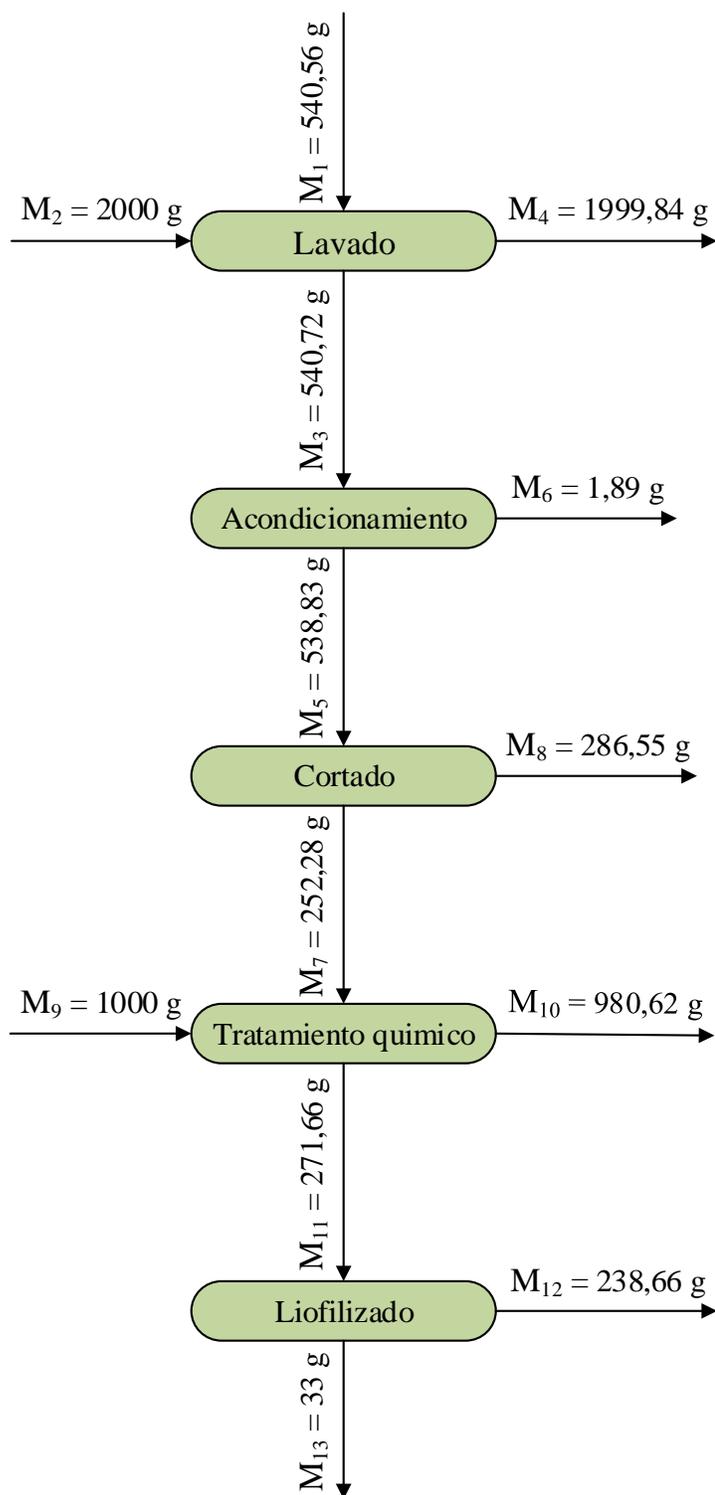
$$M_{12} = M_{11} (X_{11}^H) - M_{13} (X_{13}^H)$$

$$M_{12} = 271,66 \text{ g } (0,8902) - 33 \text{ g } (0,0962)$$

$M_{12} = 238,66 \text{ g}$  de agua sublimada

#### **4.5.6 Resumen general del balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde**

En la figura 4.13, se muestra el resumen del balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13** Resumen general del balance de materia en el proceso de liofilización de las rodajas deshidratadas de manzana verde

#### 4.6 Balance de energía en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde

Para realizar el balance de energía en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas de manzana verde, se tomó en cuenta la etapa de liofilización.

Según Monsalvo et al., (2014), la energía interna de un sistema, el trabajo y el calor no son más que diferentes manifestaciones de energía, por eso la energía no se crea ni se destruye, sino que, durante un proceso, sólo se transforma en sus diversas manifestaciones. Por tanto, la ecuación general de la conservación de la energía es la siguiente:

$$E_{entra} - E_{sale} = E_{final\ del\ sistema} - E_{inicial\ del\ sistema} \quad \text{(Ecuación 4.18)}$$

Además se sabe que la  $E_{universo}$  es constante, entonces:

$$\Delta E_{universo} = \Delta E_{sistema} - E_{entra} + E_{sale}$$

$$\Delta E_{sistema} = - E_{sale} + E_{entra}$$

$$E_{sale} = W \text{ y } E_{entra} = Q$$

$$E_{total\ del\ sistema} = Q - W \quad \text{(Ecuación 4.19)}$$

En la ecuación 4.18, el cambio de energía de un sistema es igual al calor absorbido por el sistema menos el trabajo desarrollado por éste.

Para Monsalvo et al., (2014), la ecuación 4.18 es conocida como la primera ley de la termodinámica, que es una forma general de establecer el principio de la conservación de la energía; no establece restricción alguna sobre la conversión entre las diferentes formas de energía, sino que únicamente indica que la cantidad total de energía debe ser constante. El signo para el trabajo y el calor depende de si el sistema absorbe o cede energía con su entorno.

Según Coloma (2019), el calor sensible es la cantidad de calor necesario para elevar un grado de temperatura de la unidad de masa de una sustancia.

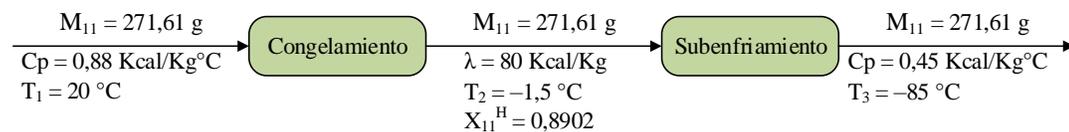
$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{(Ecuación 4.20)}$$

Para Coloma (2019), el calor latente es la cantidad de calor necesaria para cambiar de estado de una sustancia, es decir, una unidad de masa de sólido para transformarse íntegramente a líquido una vez alcanzado su punto de fusión.

$$Q = m \times \lambda \quad \text{(Ecuación 4.21)}$$

#### 4.6.1 Balance de energía en el proceso de liofilización

El balance de energía para el proceso de liofilización se realizó tomando en cuenta para una base 271,61 g de rodajas de manzana verde con tratamiento. En la figura 4.14, se observa las etapas de congelación y subenfriamiento en el proceso de liofilización.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14** Etapa de congelación y subenfriamiento en el proceso de liofilización

Según los datos técnicos del liofilizador, la temperatura del condensador de hielo es aproximadamente  $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En la tabla 4.17, se muestra las capacidades caloríficas y el punto de congelación en la manzana verde.

**Tabla 4.17**

*Capacidades caloríficas y punto de congelación de la manzana verde*

Calor específico	Kcal/Kg°C
Calor específico antes de congelación	0,88
Calor específico después de congelación	0,45
Punto de congelación	°C
Punto de congelación de la manzana verde	-1,5

**Fuente:** Grupo DISCO, 2015

De acuerdo a la ecuación 4.18 y 4.19, se obtiene:

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{absorbido}}$$

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{enfriamiento}} + Q_{\text{congelamiento}} + Q_{\text{subenfriamiento}} \quad \text{(Ecuación 4.22)}$$

El calor de enfriamiento:

$$Q_{\text{enfriamiento}} = M_{11} \times C_{p_{\text{manzana verde}}} \times (T_{\text{inicial enfriamiento}} - T_{\text{final enfriamiento}})$$

$$Q_{\text{enfriamiento}} = 271,61 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times 0,88 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (20 \text{ }^\circ\text{C} - (-1,5 \text{ }^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{enfriamiento}} = 5,139 \text{ Kcal}$$

El calor de congelamiento:

$$Q_{\text{congelamiento}} = M_{11} \times X_{11}^{\text{H}} \times \lambda_{\text{congelación}}$$

$$Q_{\text{congelamiento}} = 271,61 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times 0,8902 \times 80 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{congelamiento}} = 19,343 \text{ Kcal}$$

El calor de subenfriamiento:

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = M_{11} \times C_{p_{\text{manzana verde}}} \times [(T_{\text{inicial}} - T_{\text{final}})]_{\text{subenfriamiento}}$$

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = 271,61 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times 0,45 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times ((-1,5 \text{ }^\circ\text{C}) - (-85 \text{ }^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = 10,206 \text{ Kcal}$$

Para el requerimiento total de calor se utilizó la ecuación 4.22

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{enfriamiento}} + Q_{\text{congelamiento}} + Q_{\text{subenfriamiento}}$$

$$Q_{\text{total}} = 5,139 \text{ Kcal} + 19,343 \text{ Kcal} + 10,206 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{total}} = 34,688 \text{ Kcal}$$

El calor requerido para ser retirado en el proceso de liofilización es 34,688 Kcal para 271,61 g de rodajas de manzana verde con tratamiento.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo de investigación y según datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- En base a los resultados de las propiedades físicas de la manzana verde, se tiene que el peso total promedio de  $142,82 \pm 0,01$  g; porción comestible de 99,65 %; porción no comestible de 0,35 %; sólidos solubles de  $11,75 \pm 0,1$  °Brix; diámetro promedio de  $71,71 \pm 0,05$  mm; altura promedio de  $63,52 \pm 0,05$  mm; rodajas útiles de 46,82 % y rodajas no útiles de 53,18 %.
- En base a los resultados fisicoquímicos de la manzana verde, se tiene que el contenido de Cenizas 0,16 %; Fibra 0,82 %; Grasa 0,32 %; Hidratos de carbono 11,48 %; Humedad 86,71 %; Proteína total (Nx6,25) 0,51 % y Valor energético 50,84 Kcal/100g.
- En base a los resultados del contenido de minerales en la manzana verde, se tiene: Fósforo 6,7 mg/100g y Potasio 108 mg/100g.
- En base a los análisis microbiológicos de la manzana verde, se tiene: Coliformes fecales  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Coliformes totales  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Escherichia coli  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Mohos y Levaduras  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g; (\*) No se observa desarrollo de colonias.
- Realizado la evaluación sensorial para elegir el tipo de tratamiento químico aplicado en muestras de rodajas de manzana verde, se pudo determinar que la MVD04 tiene mayor preferencia por los jueces, la cual fue aplicada en solución de ácido cítrico al 1% por un tiempo de inmersión de cinco minutos.
- Aplicado el diseño factorial  $2^2$  para las muestras de rodajas de manzana verde con tratamiento químico, se pudo comprobar estadísticamente que las variables:

tamaño de corte (A) y presión de vacío (B) si existe diferencia significativa ya que valor F > valor P y se puede afirmar que las variables son significativas e influyen en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas de manzana verde.

- En base a los resultados fisicoquímicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se tiene que el contenido de Cenizas 1,67 %; Fibra 5,47 %; Grasa 1,53 %; Hidratos de carbono 79,22 %; Humedad 10,63 %; Proteína total (Nx6,25) 1,48 % y Valor energético 336,57 Kcal/100g.
- En base a los resultados del contenido de minerales en las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se tiene: Fósforo 75,6 mg/100g y Potasio 616,4 mg/100g.
- En base a los análisis microbiológicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde, se tiene: Coliformes fecales <  $1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Coliformes totales <  $1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Escherichia coli <  $1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g, Mohos y Levaduras  $1,40 \times 10^3$  (\*) UFC/g; (\*) No se observa desarrollo de colonias.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda un estudio más profundo a nivel experimental sobre el proceso de liofilización, aplicado a otro tipo de alimentos que se encuentran disponibles en el departamento de Tarija.
- Se recomienda la implementación de una planta piloto para la obtención de productos liofilizados, con la finalidad de ayudar al desarrollo productivo del departamento de Tarija.

- Se recomienda realizar estudios de prefactibilidad para los productos liofilizados con la posibilidad de conocer la posible oferta y demanda que puedan llegar tener este tipo de productos.