

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El almacenamiento de materias primas e incluso de productos terminados puede presentar pérdidas debido a diversos factores como roedores, insectos, hongos e incluso bacterias, algunas de las cuales contaminan los alimentos durante la cosecha. Algunas veces, las pérdidas se agravan o incluso pueden ser los que la originen debido a factores físicos, como es el caso cuando las condiciones de humedad, temperatura, luz, ventilación, etc. no cumple con los requisitos. (Martínez, 2013)

La liofilización como proceso industrial se desarrolló en la década de 1950, pero fue una actividad que fue aprovechada por los Incas, un procedimiento ya antiguo. Consiste en que el alimento debe congelarse durante la noche por los efectos del frío de la cordillera de los Andes y gracias a los primeros rayos de sol de la mañana y la baja presión atmosférica de la Meseta Andina crea la sublimación del agua congelada, a este proceso se llama liofilización natural. (Mayer et al., 2006)

Figura 1-1 Producción de chuño



Fuente: López, 2021

Los frutos secos son trozos de fruta fresca a los que se les ha quitado el agua para mantener intacto el valor nutricional de la fruta natural. También tienen un mayor potencial energético que la fruta fresca debido a su concentración natural de azúcar y

propiedades nutricionales, y se consideran alimentos sustitutivos de comidas adecuados para niños, adolescentes, adultos y adultos mayores. Se pueden consumir en cualquier época del año por su facilidad de manejo y almacenamiento del mismo. Comer frutos secos regularmente es bueno para la salud porque regula, por ejemplo, los sistemas digestivo, circulatorio e inmunológico. (Ramírez, 2019)

A nivel mundial, el mercado de alimentos deshidratados ha crecido, convirtiéndose en una oportunidad de negocio en la que todos ganan, tanto para los consumidores como para los productores, debido a su mayor vida útil que cuando se venden frescos; Asimismo, se podrían cubrir nuevos mercados que utilicen productos secos como materia prima, tales como los mercados de comida rápida, los mercados de comida gourmet y consumidores de alimentos saludables que serán utilizados como snacks. (Alvarez y Flores, 2015)

1.2 Objetivos

El presente trabajo a realizar cuenta con los siguientes objetivos.

1.2.1 Objetivo general

Obtener rodajas deshidratadas de manzana (*Pyrus malus L.*) variedad Princesa mediante liofilización por medio de procesos tecnológicos a nivel experimental, con la finalidad de obtener un producto de calidad para el departamento de Tarija.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las manzanas con la finalidad de conocer su composición.
- Aplicar el diseño experimental en el proceso de liofilización, para establecer las variables de control.
- Determinar las características fisicoquímicas en el producto terminado, con la finalidad de establecer su valor nutricional.
- Determinar las características microbiológicas en el producto terminado, con la finalidad de establecer su valor nutricional.

- Realizar evaluación sensorial del producto final, para conocer la aceptabilidad de los jueces.
- Realizar el balance de materia y energía, con la finalidad de establecer las corrientes de entrada y salida del proceso.

1.3 Justificación del proyecto

En Bolivia hay un gran consumo de manzana, el volumen anual de manzana importada y producida alcanza a 16553,68 toneladas para consumo local. En el país, la manzana se cultiva en seis departamentos: Cochabamba, Santa Cruz, Potosí, Chuquisaca, La Paz y Tarija. La manzana es muy rentable y genera ganancias, por lo que se incentiva la producción de esta fruta en Bolivia. Entre las variedades cultivadas en Bolivia se destacan: Eva, Princesa y Camuesa. (Choque y Chavarría, 2012)

En los últimos años se vio un gran incremento de consumo de frutas deshidratadas debido al ritmo actual de vida que es más acelerado, las personas buscan practicidad al momento de alimentarse optando por productos envasados que puedan consumirse en cualquier momento y lugar agregando comodidad. De los diferentes métodos que existen para la deshidratación la liofilización es la más atractiva debido a que permite obtener alimentos de mayor calidad comparado con los otros métodos desde un punto de vista nutricional y también sensorial. (Choque y Coronel, 2018)

1.3.1 Justificación tecnológica

La liofilización es el proceso de deshidratación por el cual el agua es eliminada de un producto congelado pasando directamente del estado sólido al estado de vapor. Al ser una deshidratación desde el estado congelado, constituye el mejor sistema de preservación de productos biológicos sin cadena de frío evitando el crecimiento de microorganismos, inhibiendo el deterioro por el cambio de sabor, aroma, pérdida de propiedades fisiológicas facilitando la distribución y el almacenamiento. (Parzanese, 2010)

1.3.2 Justificación económica

El tiempo de conservación es largo debido al bajo contenido de agua de los alimentos liofilizados, por lo que se puede evitar pérdidas de los productos obtenidos. Durante el

secado de liofilización no se requiere de compuestos químicos más que en el tratamiento que se le da a los alimentos antes de ser, por lo que baja el coste de la producción de rodajas de manzana deshidratada. (Parzanese, 2010)

1.3.3 Justificación social

Debido al aumento de importación de frutas, como ser la manzana, en muchas ocasiones los grandes productores nacionales como en el departamentos de Sucre, Cochabamba, Santa Cruz entre otros tienen pérdidas desde la parcela hasta que llega al consumidor final debido a la mala práctica de almacenamiento y tiempo de post cosecha por ser alimentos que se descomponen rápido debido a las bacterias, hongos y enzimas, por ello es necesario procesarlos para evitar deterioros en su calidad y también así evitar que los productores tengan pérdidas económicas. (PROAGRO, 2016)

Las frutas deshidratadas son grandes aliados del corazón por prevenir las enfermedades cardiovasculares, constituyen un complemento muy apropiado para la dieta de las personas. (Zamora, 2017)

1.3.4 Justificación ambiental

El proceso de la deshidratación de rodajas de manzana no presenta grandes impactos ambientales, debido a que no utiliza sustancias peligrosas, que no afectan en gran medida al medio ambiente como en otras industrias de otros rubros.

CAPITULO II
MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes generales

La manzana (*Pyrus malus L.*) es el fruto que produce el manzano el cual es un árbol que pertenece a las familia rosáceas. El origen exacto de la manzana se desconoce aunque se cree que proviene de un cruce entre especies de manzanos silvestres europeos y asiáticos, incluso se llegó a tener rastros de cultivos de manzanas en Suiza e Italia hace 4500 años. La llegada al nuevo continente fue en el siglo XVI fue debido a la llegada de los españoles que posteriormente se extendió por toda Iberoamérica llegando a América del Norte, África y Australia. (Haro y Moreu, 2022)

Figura 2- 1 Plantación de manzana



Fuente: Rocha, 2019

En la tabla II-1, se muestra el valor y volumen de importación de manzanas de otros países a Bolivia.

Tabla II-1 Importación de manzana a Bolivia

Año 2020		
País	Valor (Dólares)	Volumen (Kg)
Chile	9351982	20934405
Argentina	7009634	14001673
Total	16361616	34936078

Fuente: INE/IBCE, 2021

2.2 Taxonomía de la manzana variedad Princesa

En la tabla II-2, se muestra su clasificación taxonómica del manzano.

Tabla II- 2 Descripción taxonómica de la manzana variedad Princesa

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Subfamilia	Amygdaloideae
Tribu	Maleae
Género	Malus

Fuente: United States Department of Agriculture, 2017

2.3 Descripción botánica de la manzana variedad Princesa

El manzano (*Malus x doméstica Borkh*) es una planta fuerte y de una masa abundante, con flores de color rosa pálido. Sus hojas dentadas son caduca debido a que se caen en otoño para entrar a un reposo invernal que posteriormente volverán a brotar en la próxima primavera. Los colores de las manzanas varían entre las diferentes tonalidades del rojo, existen manzanas verdes, amarillas y de tonos marrones. (Páez, 2005).

En la figura 2-2, se muestran frutos del manzano de la variedad Princesa en tiempos de cosecha.

Figura 2- 2 Manzana variedad Princesa



Fuente: Pxhere, 2018

2.4 Variedades de manzanas producidas en Bolivia

Las variedades más producidas en Bolivia son las siguientes.

2.4.1 Gala

La variedad Gala tiene un origen neozelandés, siendo su cultivo en zonas con regadío, es resultado de un cruce de dos variedades como ser la kidd's orange y la golden delicious. Esta variedad se encuentra en el grupo de bicolors, presentando una coloración madura mezclada entre rojo y amarillo. Presenta muy buenas propiedades organolépticas imponiéndose en los mercados por su calidad interna. (Páez, 2005)

2.4.2 Royal Gala

Perteneciente a una mutación de la gala, la variedad royal gala tiene una dominación apical que tiende a producir en ramas anuales. La variedad royal gala tiene un tamaño medio a pequeño con un color rojo jaspeado, su contenido de azúcar es muy bueno pero requiere un raleo para mejorar el calibre de color. Su maduración es intermedia durante los meses de enero y febrero pudiendo utilizar dormex para el mejoramiento de su floración y brotación. (Páez, 2005)

2.4.3 Fuji

La variedad fuji es utilizada como polinizante de la variedad gala, perteneciente al grupo de manzanas bicolors. Tiene un porte globoso, de tamaño grande y un color rojo estriado. Tiene un contenido de azúcar lo que hace que tenga un buen sabor. Su cosecha comienza en marzo para terminar en el mes de abril respondiendo bien al uso de dormex para la mejora de su floración. (Páez, 2005)

2.4.4 Princesa

La variedad princesa tiene procedencia del país de Brasil, esta variedad tiene un requerimiento bajo de horas frío debido a su crecimiento mediano y una entrada rápida en producción. (Denardi & Hough, 1987)

El fruto presenta un color rojo con una forma redondeada que debido a que presenta problemas de cuajado de semilla se requiere polinización. (Páez, 2005)

2.5 Contenido nutricional de la manzana variedad Princesa

En la siguiente tabla II-3, se muestran los valores nutricionales de la manzana.

Tabla II- 3 Valor nutricional de la manzana variedad Princesa

Valor nutricional de la manzana en 100 g de sustancia comestible	
Agua (g)	84
Proteínas (g)	0,30
Lípidos (g)	0,60
Carbohidratos (g)	15
Calorías (kcal)	58
Vitamina A (U.I.)	90
Vitamina B1 (mg)	0,04
Ácido nicotínico (mg)	0,10
Ácido pantoténico (mg)	0,10
Vitamina C (mg)	5,00
Ácido málico (mg)	270-1020
Ácido cítrico (mg)	0-30
Ácido oxálico (mg)	1,50
Potasio (mg)	116

Fuente: FAO, 2000

2.6 Fruta deshidratada

Algunos aspectos generales sobre deshidratación de frutas son los siguientes.

2.6.1 Aspectos generales

Una fruta deshidratada es aquella a la que redujeron su contenido interno de agua, conservando la mayoría de las virtudes y vitaminas que tiene una fruta fresca.

Este método era muy utilizado especialmente en zonas rurales para preservar las frutas por más tiempo e incrementar su duración. En la deshidratación actúan tres elementos importantes como ser el aire, la temperatura y la humedad de la fruta a deshidratar. El contenido de agua se puede reducir hasta llegar a un peso mucho más bajo de una fruta fresca, de igual forma con la eliminación del agua en su interior evita el crecimiento de microorganismos que son los que deterioran la fruta y de su putrefacción, las bacterias necesitan de agua para poder sobrevivir, eliminando la mayor cantidad de agua interna de la fruta se evita el crecimiento de microorganismos y de su putrefacción. (Montesino, 2014)

2.6.2 Deshidratación solar

La deshidratación solar es un tipo de deshidratación mediante exposición al sol, es utilizada habitualmente en zonas tropicales y sub tropicales debido al clima de las mismas, donde su método más sencillo y económico es colocar la fruta a la altura del suelo encima de una alfombra u otro material que evite el contacto entre el suelo y la fruta a deshidratar. La deshidratación solar tiene desventajas muy significativas, al no tener algo encima o tapa que la proteja del exterior está expuesta a contaminación por polvo, contacto con insectos y hongos presentando una baja calidad del producto obtenido. (Ochoa et al., 2013)

2.6.4 Deshidratación osmótica

El método de deshidratación osmótica consiste en sumergir las frutas u hortalizas, independientemente si están enteras o troceadas, en solución compuesta por solutos que generan una presión osmótica alta permitiendo el aumento de la vida útil del producto, de ahí el nombre del método. (Ríos et al., 2002)

En la deshidratación osmótica ocurre la salida de una importante cantidad de agua del producto hacia la solución en la que está sumergido de igual forma hay una entrada del soluto disuelto en la solución hacia al alimento, con una mínima pérdida de solutos del alimento a deshidratar. Estos movimientos de soluto ocurren en la membrana celular del alimento que posee una permeabilidad diferencial el cual regula el grado de entrada

y salida de solutos del alimento, donde el agua es eliminada sin pasar por un cambio de fase. (Ríos et al., 2005).

2.6.5 Deshidratado por liofilización

Es el proceso industrial utilizado para garantizar la estabilidad a largo plazo y también sus propiedades originales de los productos farmacéuticos y biológicos. Recientemente este proceso se ha utilizado para mejorar la estabilidad a largo plazo de nanopartículas. La liofilización requiere la eliminación de agua contenidos en el producto de más del 99 % del diluyente original. La concentración total de soluto aumenta rápidamente y depende solo de la temperatura y, por lo tanto, no depende de la concentración de la solución original. El estado de agua constante durante la liofilización conserva la estructura y forma originales del producto sin pérdida de volumen. Los compuestos volátiles, sales o electrolitos, siempre que no formen un relleno especial, sal, acetato o bicarbonato, serán fácilmente eliminados en la fase de sublimación y por tanto inexistentes en los productos deshidratados. (Ochoa et al., 2013)

2.7 Descripción del proceso de liofilización

La liofilización es un proceso que se basa en la eliminación de agua mediante sublimación. Ha sido desarrollado para reducir la pérdida de sabor y compuestos aromáticos contenidos en los alimentos que se pierden durante el secado convencional. Este es un proceso que no cambia la estructura fisicoquímica de las materias primas, pero al mismo tiempo permite un almacenamiento ilimitado sin necesidad de cadena de frío, con contenido de humedad por debajo del 15% y alta estabilidad microbiológica. (Ramírez, 2006).

En el caso de la liofilización, el material consta de una parte central del material congelado. A medida que avanza el proceso, el hielo comienza a sublimarse desde la superficie exterior del producto, creando un plano de sublimación que separa la parte que aún contiene el hielo de la parte que permanece seca, donde se ha formado el material poroso. (Ramírez, 2006).

A continuación en la figura 2-3, se muestra la porosidad de un alimento deshidratado mediante liofilización.

Figura 2- 3 Material poroso de alimentos liofilizados



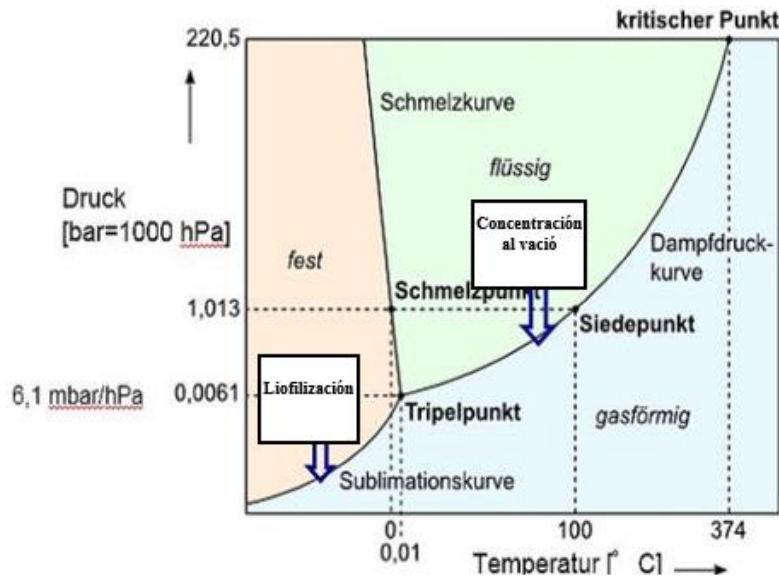
Fuente: Ramírez, 2006

El equipo liofilizador puede realizar una concentración al vacío y el secado por congelación según indica el fabricante ya que son métodos relacionados que se utilizan para el secado suave o la conservación de material sensible al calor.

A menudo incluye la eliminación del medio acuoso. (Christ, 2022)

En la figura 2-4, se puede ver el diagrama del estado del agua, por encima de una determinada presión de proceso, se produce el secado de la fase líquida. A presiones por debajo de esta, la temperatura del agua cae por debajo de 0°C. (Christ, 2022).

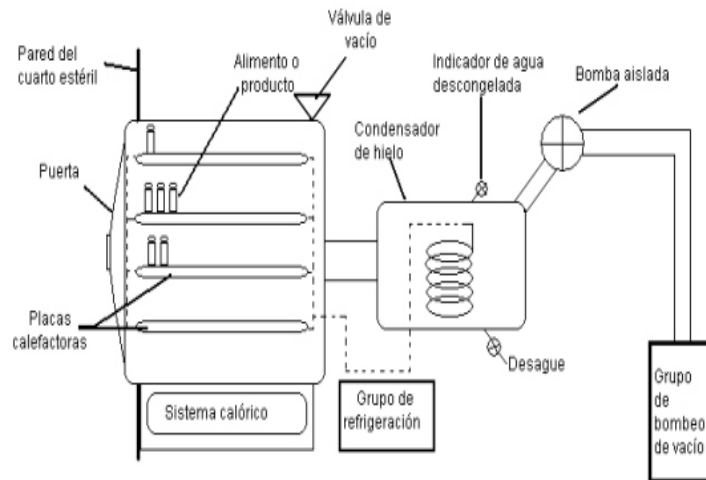
Figura 2-4 Diagrama de estado del agua



Fuente: Christ, 2022

En la figura 2-5 se muestra un esquema de un liofilizador detallando sus partes del mismo.

Figura 2- 5 Esquema general del liofilizador



Fuente: Parzanese, 2010

2.7.1 Velocidad de congelación

La congelación es una operación previa a la liofilización, afectando directamente la velocidad de congelación al tamaño de los poros formados tras la sublimación de los cristales de hielo del producto. La velocidad de congelación lenta da lugar a la formación de grandes cristales de hielo, que se vuelven porosos tras la sublimación, lo que permite lograr una velocidad de secado rápida. (Ramírez, 2006)

El producto liofilizado se caracteriza por mantener varias de las características de un fruto fresco, sin embargo, si la congelación afecta las características de calidad del producto, como la morfología del producto, la condición física, la humedad residual, el tiempo de recuperación y el rendimiento de la primera y segunda etapa de secado, o no, aún es discutible. (Vargas, 2015)

2.7.2 Flujo de calor

El flujo de calor es un factor importante para ralentizar la velocidad de secado. Si el secado se lleva a cabo rápidamente, el producto puede colapsar y las propiedades físicas del material seco cambiarán. Las altas temperaturas de liofilización afectan el contenido final de humedad del producto, pérdida de estructura y posible deterioro, mala retención del sabor, endurecimiento de la masa de la misma y una rehidratación variable. (Pérez y Vargas, 2014)

2.7.3 Presión de la cámara.

La presión en la cámara dependerá de las propiedades físicas del alimento que será sublimado y de la temperatura de almacenamiento del producto congelado. Si se permite una mayor presión, la tasa de sublimación será más lenta y la temperatura del material aumentará. A cierta presión, el proceso de liofilización también se detiene. Para velocidades de secado óptimas, la presión total debe ser aproximadamente la mitad de la presión de vapor del hielo. (Vargas, 2015).

2.7.4 Temperatura

La temperatura a la que se derrite el hielo del biomaterial limita la temperatura a la que trabajara el liofilizador. Por otra parte, el operador de la liofilización puede controlar

la fuente de calor indirectamente y así evitar deteriorar el producto, debido a que la temperatura de superficie del secado es directamente afectada por la cantidad del calor aplicado, su velocidad de sublimación y la eficiencia de eliminación de vapor. (Vargas, 2015)

La temperatura de las placas de liofilización puede afectar la velocidad de rehidratación del producto en polvo fino a obtener, a medida que disminuye la temperatura de las placas del liofilizador la rehidratación del producto obtenido tendrá un aumento en su velocidad de rehidratación. Cuando se aumenta la temperatura sin considerar el tipo de biomaterial liofilizado, se puede formar una capa superficial seca en el producto que impide que escapen los vapores, de manera que los tejidos internos del mismo forman una superficie porosa, denominada colapso. (Vargas, 2015)

2.8 Pardeamiento enzimático

Las frutas y verduras son productos perecederos. Cuando no se tratan, se producen cambios fisiológicos en muy poco tiempo, reduciendo su vida útil, debido a la acción de los microorganismos y su propia actividad metabólica. Los alimentos vegetales frescos se deterioran rápidamente cuando se cortan en rodajas debido al daño en los tejidos del mismo, así como el oscurecimiento de las células debido a la ruptura de sus membranas celulares y los componentes protoplásmicos. (Lee, 2014)

Los indicadores más importantes de deterioro son los cambios en la textura y el color, incluyendo una contaminación microbiana. La decoloración de la superficie cortada es un problema común en muchos alimentos vegetales, como la lechuga, el repollo, los melocotones y las manzanas. Estos cambios de color de la superficie están relacionados con el pardeamiento enzimático, en el que los compuestos fenólicos se oxidan a quinonas en reacciones catalizadas por enzimas comúnmente conocidas como polifenoloxidasas. (Jadán, 2016)

2.9 Tratamientos previos en el deshidratado de frutas

Los tratamientos previos son aquellos procesos físicos y químicos anteriores al deshidratado, que se aplican con la finalidad de evitar o minimizar el deterioro del

alimento durante el secado, así como también mejorar la calidad y conservación del producto final. Existen diferentes tipos de tratamientos y su aplicación depende del tipo de alimento. (Carrasco, 2019)

2.9.1 Escaldado

El escaldado es un proceso muy utilizado en la industria alimentaria para preparar verduras y algunas frutas. Este tratamiento forma parte de un paso previo a otros procesos cuyo principal objetivo es inactivar enzimas, aumentar la unión de clorofila (especialmente importante para las verduras) y ablandar el producto para su posterior envasado. Se realiza previamente al congelado para destruir las enzimas que afectan el color, el sabor y el contenido de vitaminas. (Gimferrer, 2009)

2.9.2 Acidificado

Este método es muy utilizado en el secado de frutas para neutralizar el pardeamiento debido a la oxidación y para minimizar la pérdida de vitaminas A y C. El pardeamiento es un efecto indeseable que es muy pronunciado en frutas y hortalizas como manzanas, melocotones, peras y plátanos a través de reacciones enzimáticas. Para evitar que esto suceda, la fruta fresca pelada se remoja en una solución de ácido y agua durante 2 a 3 minutos. Por lo general, el ácido ascórbico (vitamina C) y el ácido cítrico más suave se usan para tratar esto. (Carrasco, 2019)

2.9.3 Sulfatado

En el caso de la fruta deshidratada, la sulfatación o remojo en sulfito es más eficaz que la acidificación para evitar el pardeamiento y reducir la pérdida de vitamina A y C en los alimentos, no deja un retrogusto agrio en el producto terminado y tiene propiedades antibacterianas. La forma habitual de realizar la sulfatación es sumergir el producto en una solución de metabisulfito de sodio de 5 a 12 gramos en un litro de agua a temperatura ambiente. El tiempo de aplicación en alimentos es de 5 minutos para piezas o rebanadas y de 15 minutos para mitades. (Carrasco, 2019)

2.9.4 Agrietado

Las frutas tienen una capa superficial de cera natural en su cáscara, lo que protege y evita su deshidratación natural después de la cosecha. El agrietamiento es un procesamiento previo utilizado en frutas deshidratadas a las que no se les puede quitar su cáscara para que la capa protectora sea removida, con esto se logra agrietar ligeramente la piel de la fruta facilitando así la reducción de su contenido de humedad. El agrietado se suele realizar sumergiendo el fruto en una solución de hidróxido de sodio a 80 °C a razón de 10 g por litro de agua durante 5 a 10 segundos, luego se lava el fruto con agua y luego se neutraliza durante 30 segundos en 2 gramos de ácido cítrico por litro de agua antes de entrar al deshidratador. (Carrasco, 2019)

2.10 Índice de madurez

En la medición del índice de madurez existen técnicas utilizadas en la medición, estas técnicas utilizan índices de calidad. Estos índices son importantes para la comercialización y una eficiencia de manos de obra por parte de los encargados de realizar las mediciones. (Hinojosa, 2014)

En la determinación del índice de madurez los productores, procesadores y personal de control de calidad son los encargados de realizar las mediciones pertinentes. La medición de estos indicadores debe ser simple, fácil de usar y utilizar equipos relativamente económicos que brinden resultados objetivos y que generalmente son pruebas en laboratorio no destructivos para el fruto. (Hinojosa, 2014)

Durante el desarrollo de la pulpa del fruto se depositan nutrientes en forma de almidón, convertidos en azúcar durante la maduración. La aceleración del proceso de maduración conduce a un aumento en los niveles de azúcar. Este método es particularmente útil para frutas maduras y jugosas con un alto contenido de azúcar, ya que la determinación de sólidos solubles totales (SST), la cual se basa en la medición con un equipo llamado refractómetro, el cual mide sólidos solubles totales (SST) en grados Brix. (Velázquez, 2019)

CAPITULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Caracterización de la manzana variedad Princesa

Para caracterizar la manzana (*Pyrus malus L.*) de la variedad *Princesa* se consideran tres parámetros importantes que influyen, porque el producto depende de la calidad de la fruta, en el presente proyecto de investigación:

- Parámetros físico
- Parámetros fisicoquímico
- Parámetros microbiológico

3.1.1 Parámetros físicos de la manzana de la variedad *Princesa*

En la tabla III-1, se muestran los parámetros físicos tomados en cuenta en la manzana (*Pyrus malus L.*) de la variedad *Princesa*.

Tabla III- 1 Parámetros físicos de la manzana variedad Princesa

Parámetro	Método	Unidad
Peso	Gravimetría	g
Diámetro	Medición	cm
Porción no comestible	Cálculo	%

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.1.2 Parámetros fisicoquímicos de la manzana variedad Princesa

En la tabla III-2, se muestran los parámetros fisicoquímicos tomados en cuenta para la manzana (*Pyrus malus L.*) de la variedad *Princesa* realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla III- 2 Parámetros fisicoquímicos de la manzana variedad Princesa

Parámetros	Tecnica y/o método de ensayo	Unidad
Acidez	NB 36002:2002	%
Cenizas	NB 231:2:1998	%
Fibra	NB 35004:2014	%
Grasa	NB 228:1998	%
Hidratos de carbono	NB 312031:2010	%
Humedad	NB 367:1998	%
pH (20°C)	NB 338006:2009	-
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:2008	%
Valor energético	NB 312032:2006	Kcal/100g

Fuente: CEANID, 2022

3.1.3 Parámetros microbiológicos de la manzana variedad Princesa

En la tabla III-3, se muestran los parámetros y técnicas microbiológicas tomados en cuenta para la manzana de la variedad Princesa realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla III- 3 Parámetros microbiológicos de la manzana variedad Princesa

Microorganismos	Método	Unidad
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/g
Mohos y levaduras	NB 32006:2003	UFC/g
Salmonella	NB 32007:03	P/A/25g
Staphylococo aureus	NB 32004:02	UFC/g

Fuente: CEANID, 2022

3.2 Diseño experimental para la deshidratación por el método de liofilización

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, cuales están vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto. El diseño experimental encuentra aplicaciones en la industria, la agricultura, la mercadotecnia, la medicina, la ecología, las ciencias de la conducta, etc. constituyendo una fase esencial en el desarrollo de un estudio experimental (Google Arts & culture, 2013)

3.2.1 Diseño Factorial 2^k

Un diseño con dos niveles por factor se denomina diseño factorial 2^k , es decir, un experimento con k factores donde cada factor puede usar solo dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos o cualitativos, y una repetición completa de dicho diseño requiere 2^k combinaciones. Este diseño describe la mejor manera de realizar un experimento para comprender simultáneamente los efectos de los factores k en la respuesta y determinar si interactúan (Fernández, 2020).

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea un diseño factorial 2^k donde 2 es el número de niveles y k el número de factores, y sobre esto se evalúa la variable respuesta.

Teniendo en cuenta, las variables identificadas pasamos a determinar el número de repeticiones experimentales:

$$2^k = 2^2$$

Se consideran dos réplicas con el fin de obtener resultados significativos y validados. (Fernández, 2020)

El número de experiencias a realizar es:

$$N^{\circ} \text{ exp Totales} = (N^{\circ} \text{ niveles FA} * N^{\circ} \text{ niveles FB}) * N^{\circ} \text{ repeticiones}$$

$$N^{\circ} \text{ exp Totales} = (2*2) * 3 = 12$$

3.2.2 Variables y niveles del diseño factorial 2^2

De los principales parámetros a evaluar durante la obtención de fruta deshidratada por el método de liofilización descrita en el Capítulo II, los factores manipulables son:

3.2.3 Tiempo de secado de las rodajas de manzana

El tiempo de secado es un factor muy importante debido a que si el tiempo dado en la etapa de secado es poco o es mucho afectará directamente a la cantidad de humedad del producto si el tiempo es poco, la humedad del producto será alto y si el tiempo es mucho terminará dañando el producto debido a que los azúcares se caramelizan. (Parzanese, 2010)

3.2.4 Espesor del corte de las rodajas de manzana

El espesor del corte influirá en el congelado, debido a que se requiere un congelado rápido para evitar la formación cristales grandes y así conservar la mayor parte de la textura y sabor original al rehidratarse (Parzanese, 2010). A continuación, se muestra en la tabla III-4 los niveles y los factores seleccionados.

Tabla III- 4 Niveles de variación de los factores del diseño factorial 2²

Factores (k)	Unidad	Simbología	Nivel máximo	Nivel mínimo
Tiempo de secado	Minuto	min	300	240
Espesor de corte	Milímetro	mm	3	2

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.2.4 Variables de respuesta del diseño factorial 2²

En este proyecto se establece como variable respuesta el porcentaje de humedad del producto y el tiempo de rehidratación del producto. En la figura III-5, se muestra las variables de respuesta.

Tabla III- 5 Simbología de las variables de control del diseño factorial 2²

N°	Variable	Unidad	Simbología
1	Humedad	Porcentaje	%

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3 Matriz del diseño factorial 2² del proceso de liofilización

Para facilitar el tratamiento de datos, se codifica las variables en la tabla III-6:

Tabla III- 6 Codificación de variables del diseño factorial 2²

Factores (k)	Nivel Máximo	Nivel Mínimo
Tiempo de secado	+1	-1
Espesor de corte	+1	-1

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla III-7, se muestra la matriz del diseño factorial aplicada en el proceso de deshidratación de rodajas de manzana por el método de liofilización, la matriz está conformado por las siguientes variables: tiempo de secado y espesor.

Tabla III- 7 Matriz del diseño factorial 2²

Nº de Experimento	Tiempo de secado	Espesor	Contenido de Humedad
1	-1	-1	Y₁
2	-1	+1	Y₂
3	+1	-1	Y₃
4	+1	+1	Y₄
5	-1	-1	Y₅
6	-1	+1	Y₆
7	+1	-1	Y₇
8	+1	+1	Y₈
9	-1	-1	Y₉
10	-1	+1	Y₁₀
11	+1	-1	Y₁₁
12	+1	+1	Y₁₂

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.4 Equipos, instrumentos, materiales y reactivos

3.4.1 Equipos

Los equipos que se utilizaron en el presente trabajo de investigación experimental son los siguientes.

3.4.1.1 Liofilizador Alpha 2-4 LSCBasic

En la figura 3-1, se muestra el equipo liofilizador que se utilizó para el presente trabajo de investigación con sus especificaciones técnicas.

Figura 3- 1 Liofilizador Alpha 2-4 LSCBasic



Fuente: LACIA, 2022

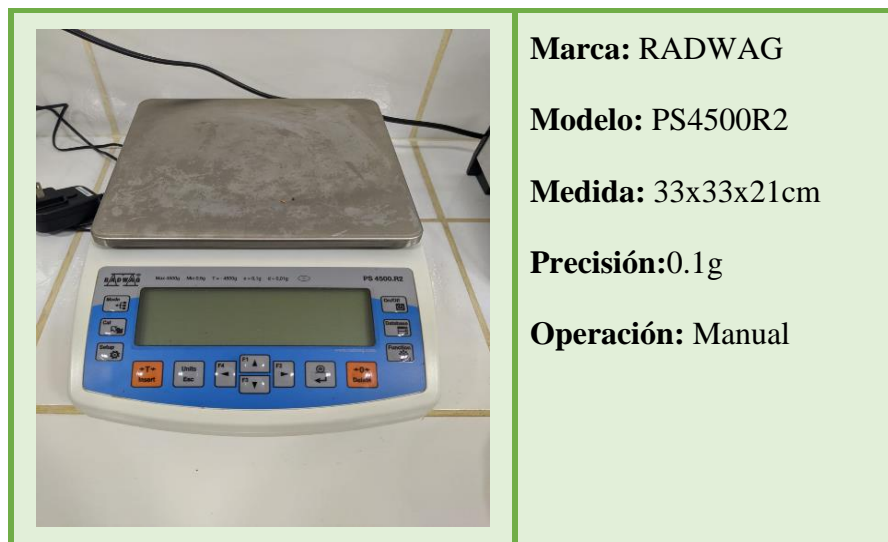
3.4.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos utilizados en el trabajo de investigación son los siguientes.

3.4.2.1 Balanza digital

La balanza digital se utilizó para pesar la manzana e insumos necesarios; en la siguiente figura 3-2 se muestra la balanza digital con sus especificaciones técnicas.

Figura 3- 2 Balanza digital

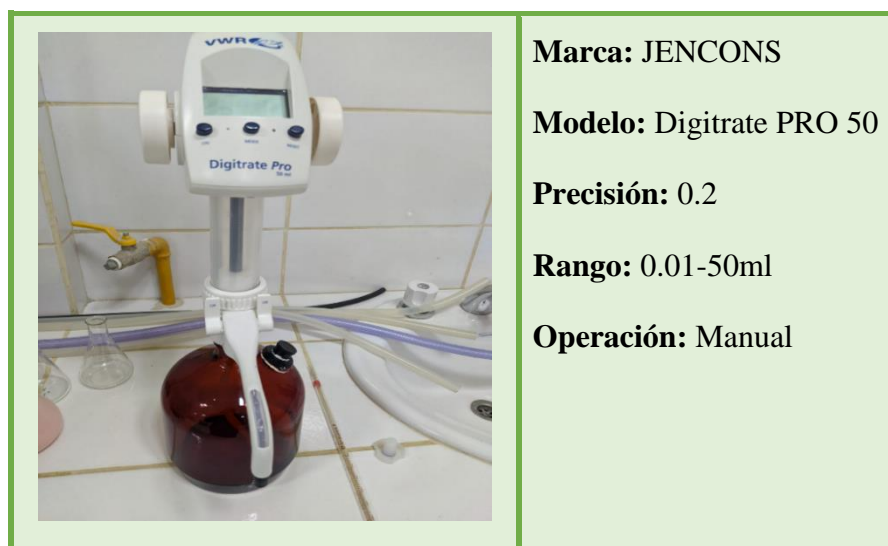


Fuente: LACIA, 2022

3.4.2.2 Bureta digital

En la figura 3.3, se muestra la bureta digital y sus especificaciones técnicas. Se utilizó para determinar la acidez expresada en ácido málico contenidos en las rodajas de manzana.

Figura 3- 3 Bureta digital



Fuente: LACIA, 2022

3.4.2.3 pH-metro digital

El pH-metro se utilizó para determinar el pH de la manzana. En la figura 3-4, se muestra el pH-metro y sus especificaciones técnicas.

Figura 3- 4 pH-metro digital



Fuente: LACIA, 2022

3.4.2.4 Refractómetro digital

El refractómetro se utilizó para la medición de los grados Brix de la manzana. En la figura 3-5 se muestra el refractómetro y sus especificaciones.

Figura 3- 5 Refractómetro digital

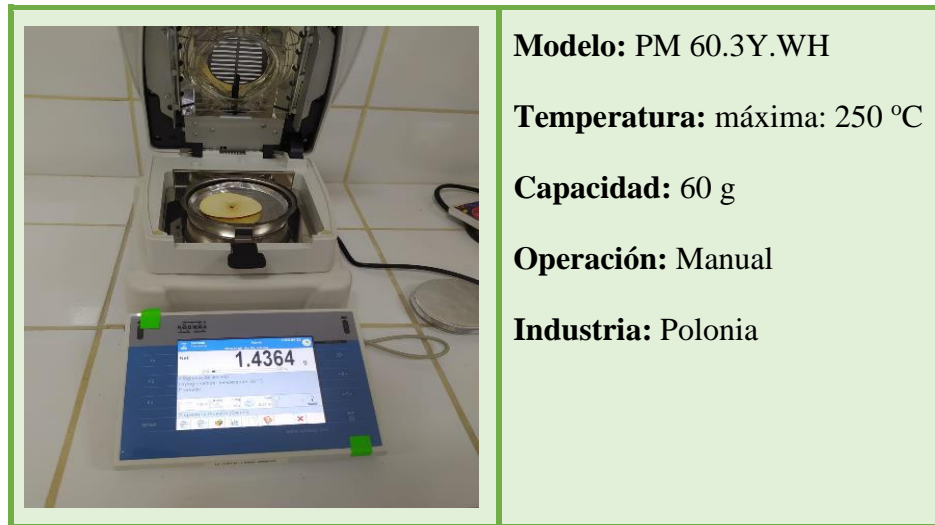


Fuente: LACIA, 2022

3.4.2.5 Termobalanza digital

La termobalanza se utilizó para medir el contenido de humedad del producto. En la figura 3-6 se muestra la termobalanza con sus especificaciones.

Figura 3- 6 Termobalanza digital



Fuente: LACIA, 2022

3.4.3 Materiales de laboratorio

En la tabla III-8, se muestran los materiales utilizados en el presente trabajo de investigación experimental de obtención de manzana deshidratada por el método de liofilización.

Tabla III- 8 Materiales de laboratorio

Materiales	Tipo	Capacidad	Cantidad
Piseta	Plástico	500ml	2
Vernier	Metal	200mm	1
Mortero	Porcelana	Mediano	1
Espátula	Metal	Pequeño	1
Varilla	Vidrio	Mediano	1
Vaso Precipitado	Vidrio	250ml	2
Vaso Precipitado	Vidrio	50ml	2

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.4.4 Materiales de cocina utilizados

En la tabla III-9, se muestran los materiales de cocina utilizados en el presente trabajo de investigación.

Tabla III- 9 Materiales de cocina

Materiales	Tipo	Capacidad	Cantidad
Cuchillo	Acero inoxidable	Mediano	1
Colador	Plástico	Pequeño	1
Repasadores	Algodón	Mediano	2

Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Reactivos e insumos utilizados

En la tabla III-10, se muestran las descripciones de los reactivos e insumos utilizados en el presente trabajo de investigación experimental.

Tabla III- 10 Descripción de reactivos e insumos utilizados

Reactivo o Insumo	Procedencia	Concentración
Agua potable	Tarija	-
Ácido cítrico	Tarija	0,0050 M
Ácido ascórbico	Tarija	0,0017 M
Hidróxido de sodio	Tarija	0,10 N ; f= 1,12
Fenolftaleina	Tarija	0,1 %

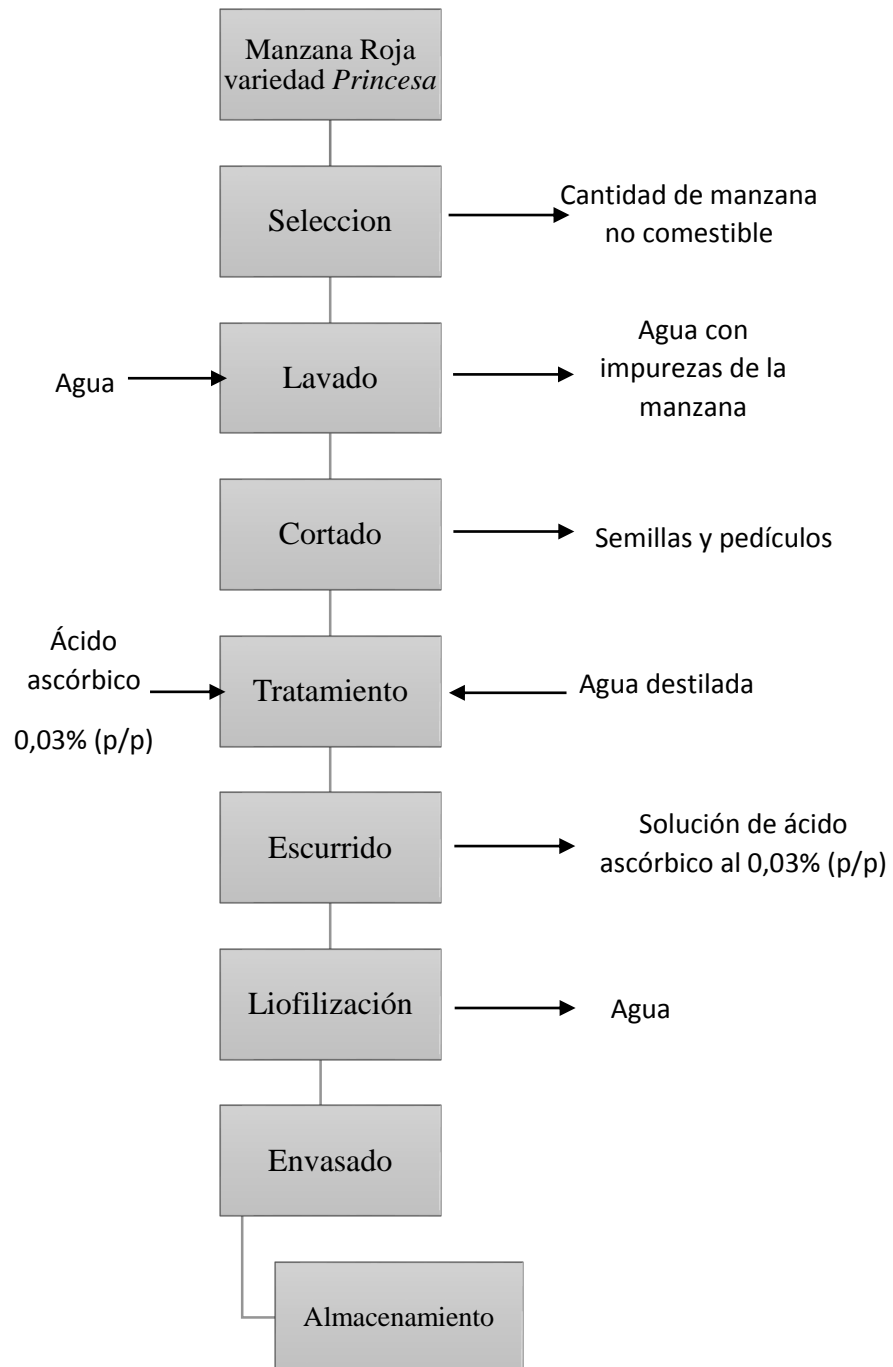
Fuente: Elaboración propia, 2022

3.5 Descripción del proceso de liofilización de rodajas de manzana

En la figura 3-7, se puede observar el diagrama de bloques para la obtención de manzana deshidratada por el método de liofilización.

Las etapas del proceso de deshidratación de rodajas de manzana son: selección, lavado, cortado, tratamiento, filtrado, congelación, secado principal, secado secundario y envasado.

Figura 3- 7 Diagrama de bloque para la obtención de manzana deshidratada mediante el método de liofilización



Fuente: Elaboración propia, 2022

3.6 Desarrollo del proceso experimental

El desarrollo del presente proyecto de investigación, se realizó en instalaciones del Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA) de la Carrera de Ingeniería de Alimentos y en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.6.1 Caracterización física de la manzana variedad *Princesa*

En la determinación del análisis físico de manzana (*Pyrus malus L.*) de la variedad *Princesa* proveniente del municipio de Camargo del departamento de Chuquisaca, se utilizan 20 muestras donde los parámetros que se analizan son: peso, diámetro polar, diámetro ecuatorial, porción comestible y porción no comestible. En la tabla III-11, muestra las características físicas en una muestra de 20 muestras, las mediciones de peso de las muestras se realizaron con una balanza analítica y un vernier electrónico:

Tabla III-11 Valores experimentales de las características físicas de la manzana variedad *Princesa*

Nº	Peso (g)	Diámetro polar (cm)	Diámetro Ecuatorial (cm)	PC (gr)	PNC (gr)	PC (%)	PNC (%)
1	139,63	8,30	7,12	125,45	14,18	89,84	10,16
2	132,57	7,60	6,95	126,21	6,36	95,20	4,80
3	129,97	7,45	7,24	119,69	10,28	92,09	7,91
4	135,85	8,12	7,10	128,63	7,22	94,69	5,31
5	134,23	8,26	6,87	128,47	5,76	95,71	4,29
6	123,54	7,70	7,17	114,97	8,57	93,06	6,94
7	132,30	8,00	7,21	123,39	8,91	93,27	6,73
8	137,92	7,51	7,19	124,23	13,69	90,07	9,93
9	135,88	8,24	6,94	128,64	7,24	94,67	5,33
10	148,67	8,38	6,87	135,29	13,38	91,00	9,00
11	129,78	8,48	7,10	120,77	9,01	93,06	6,94
12	124,41	7,96	7,00	112,73	11,68	90,61	9,39
13	140,02	7,58	6,79	128,19	11,83	91,55	8,45
14	136,95	8,52	7,23	127,10	9,85	92,81	7,19
15	135,23	8,47	6,94	125,03	10,2	92,46	7,54
16	133,19	7,98	7,20	121,26	11,93	91,04	8,96
17	137,92	8,24	6,99	132,38	5,54	95,98	4,02
18	140,46	8,12	7,27	134,45	6,01	95,72	4,28
19	141,57	7,65	6,70	127,45	14,12	90,03	9,97
20	136,22	8,35	7,25	119,56	16,66	87,77	12,23
Promedio	135,32	8,05	7,06	125,19	10,12	92,53	7,47

Fuente: Elaboración propia, 2022

Donde:

PC= Porción comestible (g)

PCN= Porción no comestible (g)

3.6.2 Índice de madurez de las muestras de manzana variedad *Princesa*

Con el fin de conocer el grado de madurez de la manzana (*Pyrus malus L*) de la variedad *Princesa* se realizó la determinación del índice de madurez de 20 muestras de manzana.

Para la determinación del porcentaje de acidez de las rodajas de manzana se utilizó la técnica para determinar la acidez titulable según la NB 36002, 2002 (IBNORCA) extraído de (anexo E) para lo cual se realizó la cuantificación de los sólidos solubles de cada muestra con la ayuda de un refractómetro digital.

Para el cálculo del índice de madurez se realizó la técnica para determinar el índice de madurez según (Romero et al., 2020) el índice de madurez es proporcional a la relación entre los sólidos solubles y la acidez de la fruta (anexo E). En la tabla 3-12 se muestra los resultados obtenidos.

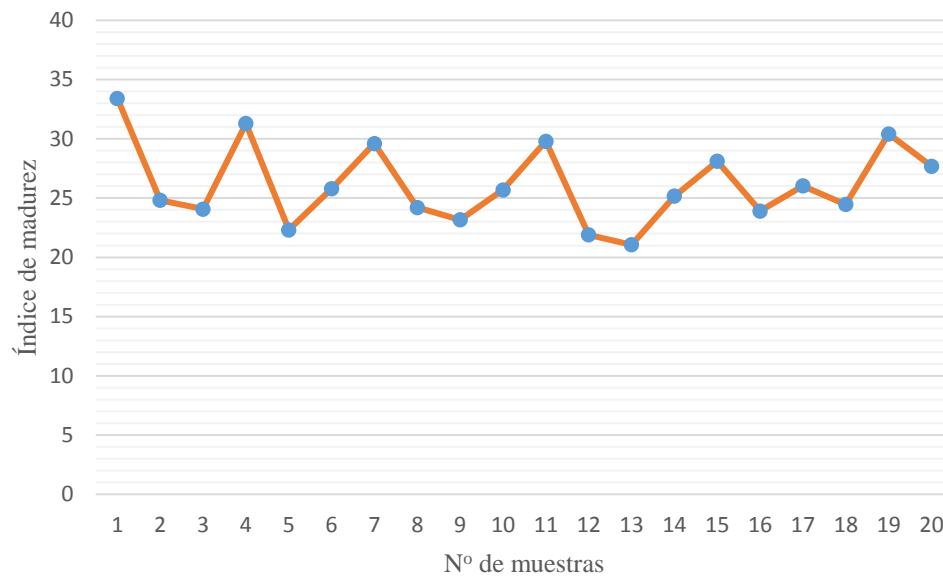
Tabla 3-12 Parámetros del índice de madurez de la manzana

Muestras	Sólidos solubles (Brix)	Acidez (%)	pH	Índice de madurez (IM)
1	14,7	0,44	4,12	33,41
2	13,9	0,56	3,98	24,82
3	14,2	0,59	4,24	24,07
4	14,4	0,46	4,10	31,30
5	14,5	0,65	3,75	22,31
6	14,7	0,57	3,28	25,79
7	15,1	0,51	3,63	29,61
8	13,8	0,57	3,84	24,21
9	14,6	0,63	4,04	23,17
10	14,9	0,58	3,79	25,69
11	14,3	0,48	3,95	29,79
12	13,8	0,63	3,77	21,90
13	13,9	0,66	3,67	21,06
14	14,6	0,58	3,96	25,17
15	14,9	0,53	4,13	28,11
16	15,3	0,64	4,05	23,91
17	15,1	0,58	3,78	26,03
18	13,7	0,56	3,99	24,46
19	14,6	0,48	3,65	30,42
20	14,4	0,52	3,74	27,69
Promedio	14,47 ± 0,1	0,56	3,87± 0,003	26,15

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla III-12, se muestran los valores de los análisis realizados de las 20 muestras de manzana roja de la variedad Princesa donde los promedios de los análisis son: sólidos solubles $14,47 \pm 0,1$; acidez 0,56 %, pH $3,87 \pm 0,003$ e índice de madurez de 26,15. En la figura 3-8, se muestra el índice de madurez de las muestras en base a los resultados obtenidos en la tabla III-12.

Figura 3-8 Índice de madurez de la manzana



Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-8, se observan los índices de madurez de la manzana en las 20 muestras tomadas donde se muestra que el mayor índice de madurez obtenido fue de la muestra número 1 con un índice de 33,41 y el índice más bajo fue de la muestra número 13 con un índice de 21,06, obtenidos los índices de madurez de todas las muestras se comenzaron a realizar las siguientes etapas del trabajo.

3.6.3 Selección

Al momento de la recepción se da una inspección donde se separan las manzanas que presentaron deterioro de la fruta como ser golpes físicos, deformidades en la manzana para ello se las selecciona de acuerdo a su estado físico, por consecuencias de daños físicos como golpes por la cosecha y transporte. Al separar las manzanas con deterioro físico se evitó que las manzanas preparadas para las pruebas preliminares no sean afectadas con la aparición de microorganismos que influyan en los resultados obtenidos.

3.6.4 Lavado

Se realizó el lavado con agua de las manzanas seleccionadas antes de realizar el corte debido a que es un punto muy importante en la producción de frutas eliminando impurezas, polvo y otros microorganismos que pudieran estar presentes en la parte externa de la manzana como ser el epicarpio y pedúnculo. Las manzanas seleccionadas fueron lavadas con agua en las instalaciones del laboratorio para que posteriormente fuera escurrido el exceso de agua presente en la manzana y secarlas completamente para posteriormente ser cortadas.

3.6.5 Cortado

El corte de las manzanas tuvieron un papel importante debido a que el espesor del corte fue una variable de diseño y para poder obtener una deshidratación uniforme en toda el área de las muestras, por ello minuciosamente se realizó un corte con un cuchillo de cocina por el centro y perpendicular al pedículo de la manzana debido a que presenta mayor uniformidad en el corte con grosores de 2 mm y 3 mm con ayuda de un vernier universal para mayor exactitud de medición con un error de +/- 0.03mm.

3.6.6 Tratamiento

Se realizaron pruebas con dos diferentes ácidos, el ácido cítrico y ácido ascórbico, con las pruebas y evaluación sensorial realizada se descartó el ácido cítrico debido a que obtuvo menor puntuación en las evaluaciones sensoriales realizadas. Posteriormente se escogió el ácido ascórbico para el pre tratamiento de las rodajas de manzanas, el ácido ascórbico fue disuelto en agua destilada al 0,03% (p/p). Se procede a sumergir las rodajas de manzana durante 5 minutos, según pruebas realizadas, dentro de la solución de ácido ascórbico según pruebas realizadas con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático de las rodajas de manzana durante las etapas de congelación y secado de proceso de liofilización.

3.6.7 Escurrido

Se escurrió las rodajas de manzana tratadas con el ácido ascórbico para evitar que en la etapa de congelamiento no se formen cristales por encima de las mismas, al escurrir

la solución de ácido ascórbico también se evita que las rodajas de manzana obtengan mayor cantidad de agua contenidos en las mismas facilitando en las etapas de congelación y secado de la liofilización.

3.6.8 Congelación de las rodajas de manzana

Las rodajas de manzanas son sometidas a una congelación rápida de $-94,9\text{ C}^\circ$ para evitar la formación de cristales grandes, ya que al rehidratarse conserva su textura y conserva gran parte de su sabor original a manzana fresca.

La temperatura o el punto de congelación de los frutos, que contienen diversos compuestos en solución, como las manzanas se sitúa por debajo de cero grados (0°C) y varía muy poco, en función de la madurez.

La congelación se realizó en el mismo equipo de liofilización donde se trabajó a una temperatura de condensación de -90°C y 750 Torr (0,987 atm) durante un tiempo de 90 minutos en todas las pruebas realizadas.

3.6.9 Secado primario

En el secado primario se sublimó el hielo de las rodajas de manzana congeladas. El agua pasa directamente de estado sólido a vapor sin pasar por el estado líquido, para lo cual se trabajó en las siguientes condiciones de presión de 0,170 Torr y una temperatura de $-94,9^\circ\text{C}$ respectivamente.

Los condiciones de temperatura, presión y tiempo pueden ser modificados independientemente del modelo de equipo liofilizador, durante el proceso experimental no se realizó modificaciones de presión y temperatura en el liofilizador evitando un exceso de manipulación para alargar la vida útil del mismo.

3.6.10 Secado secundario

En esta etapa se eliminó el excedente de agua que no se llegó a congelar durante la etapa de congelado, evaporando el agua no congelada ligada al producto. Las condiciones en las que se trabajó de presión y temperatura; fueron de una temperatura de $-95,2^\circ\text{C}$ y una presión de 0,0012 Torr respectivamente.

El tiempo de secado secundario es de 30 minutos para todas las pruebas debido a que es un secado para muestras mucho más grandes y con mayor cantidad de agua en su estructura.

3.6.11 Envasado de las rodajas de manzana liofilizadas

Una vez secado las rodajas de manzana, se procedió al pesado y posterior envasado en el menor tiempo posible dentro de una bolsa sellada para evitar que las rodajas de manzanas deshidratadas puedan absorber la humedad del aire la cual afectaría con gran medida en las pruebas de humedad.

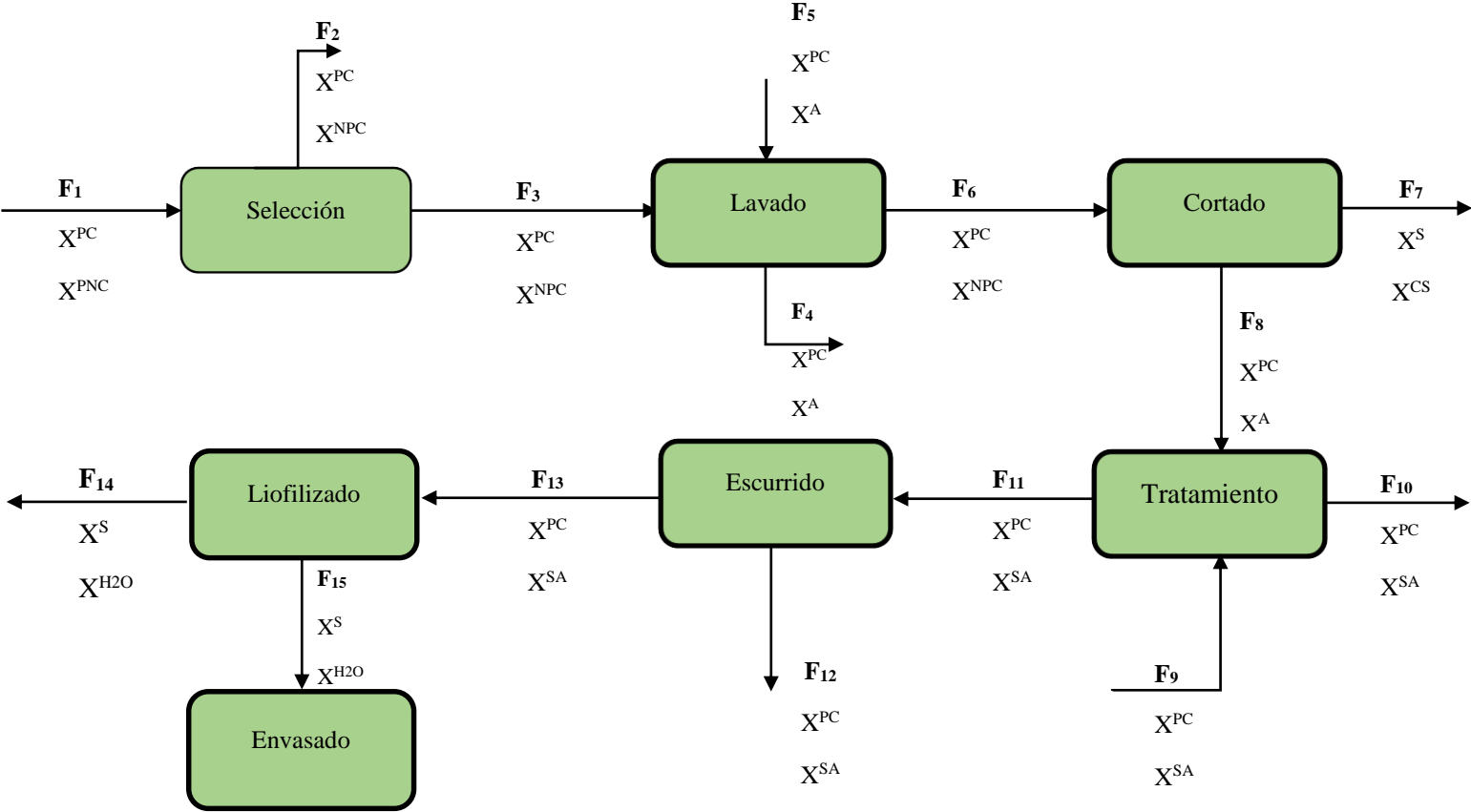
3.7 Balance de materia y energía en la deshidratación de rodajas de manzana

En la figura 3-9, se muestra el esquema general donde se realizaron los balances de materia y energía del proceso de deshidratación de manzana por el método de liofilización.

A continuación, se expone el balance de materia en la figura 3-9 con las condiciones de la muestra ganadora para 1000g, cuyo porcentaje de humedad es el más bajo respecto a los otros experimentos.

- El proceso se realizó en las condiciones siguientes:
- Espesor del corte del corte de rodajas: 2 mm
- Tiempo de congelación: 90 min
- Temperatura de congelación: -90 °C
- Tiempo de secado: 300 minutos

Figura 3-9 Balance general de masa



Fuente: Elaboración propia, 2022

Donde:

F_1 = Cantidad de manzana

F_2 = Manzana no comestible

F_3 = Manzana comestible

F_4 = Cantidad de agua residual

F_5 = Cantidad de agua

F_6 = Cantidad de manzana limpia

F_7 = Cantidad de pedúnculos y semillas de manzana

F_8 = Cantidad de manzana comestible cortada

F_9 = Cantidad de solución de ácido ascórbico

F_{10} = Cantidad de solución de ácido ascórbico residual

F_{11} = Cantidad de rodaja de manzana tratada

F_{12} = Cantidad de solución de ácido ascórbico en la manzana

F_{13} = Cantidad de rodajas de manzana escurridas

F_{14} = Cantidad de vapor de agua

F_{15} = Cantidad de rodaja de manzana deshidratadas

x_1^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F_1

x_2^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F_2

x_3^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F_3

x_1^{PNC} = Fracción de la porción no comestible de manzana en la corriente F_1

x_2^{PNC} = Fracción de la porción no comestible de manzana en la corriente F_2

x_3^{PNC} = Fracción de la porción no comestible de manzana en la corriente F_3

x_3^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F_3

x_4^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F_4

x_5^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F_5

x_6^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F_6

x_3^A = Fracción de agua en la corriente F_3

x_4^A = Fracción de agua en la corriente F₄
 x_5^A = Fracción de agua en la corriente F₅
 x_6^A = Fracción de agua en la corriente F₆
 x_6^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₆
 x_7^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₇
 x_8^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₈
 x_6^{PS} = Fracción de pedículos y semillas de manzana en la corriente F₆
 x_7^{PS} = Fracción de pedículos y semillas de manzana en la corriente F₇
 x_8^{PS} = Fracción de pedículos y semillas de manzana en la corriente F₈
 x_8^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₈
 x_9^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₉
 x_{10}^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₁₀
 x_{11}^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₁₁
 x_8^{SA} = Fracción de solución de ácido ascórbico en la corriente F₈
 x_9^{SA} = Fracción de solución de ácido ascórbico en la corriente F₉
 x_{10}^{SA} = Fracción de solución de ácido ascórbico en la corriente F₁₀
 x_{11}^{SA} = Fracción de solución de ácido ascórbico en la corriente F₁₁
 x_{11}^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₁₁
 x_{12}^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₁₂
 x_{13}^{PC} = Fracción de la porción comestible de manzana en la corriente F₁₃
 x_{11}^{SA} = Fracción de solución de ácido ascórbico en la corriente F₁₁
 x_{12}^{SA} = Fracción de solución de ácido ascórbico en la corriente F₁₂
 x_{13}^S = Fracción de solución de ácido ascórbico en la corriente F₁₃
 x_{13}^S = Fracción de rodajas de manzana en la corriente F₁₃
 x_{14}^S = Fracción de rodajas de manzana en la corriente F₁₄
 x_{15}^S = Fracción de rodajas de manzana en la corriente F₁₅

$x_{13}^{H_2O}$ = Fracción de vapor de agua en la corriente F_{13}

$x_{14}^{H_2O}$ = Fracción de vapor de agua en la corriente F_{14}

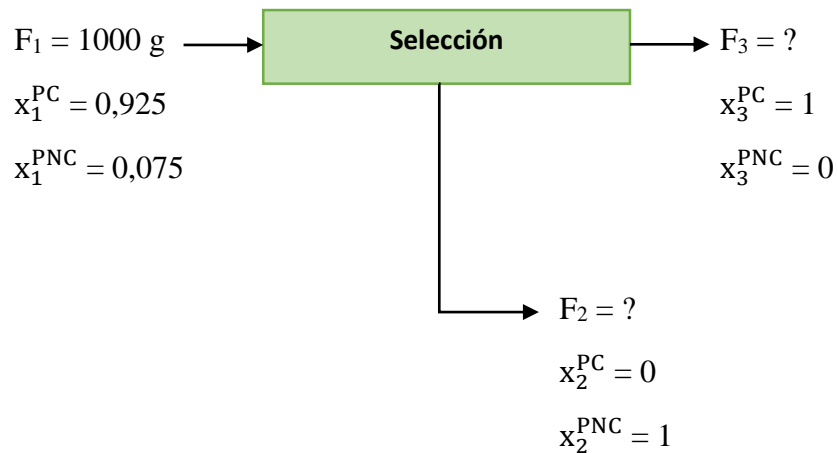
$x_{15}^{H_2O}$ = Fracción de vapor de agua en la corriente F_{15}

3.7.1 Balance de materia en el proceso de deshidratación de rodajas de manzana

3.7.1.1 Balance de materia en la etapa de selección

La figura 3-10, muestra el proceso de balance de materia en la etapa de selección de la porción comestible de la manzana, partiendo de 1000 g de manzana para realizar el balance de materia. En esta etapa la fracción de manzana comestible es de 0,925 y la fracción no comestible es igual 0,075 datos que fueron tomados de la parte experimental del trabajo en la tabla III-11. En la Figura 3-10, se muestra el bloque que representa la operación de lavado después de la selección, el cual se realiza con 1000 gramos de manzana entera.

Figura 3- 10 Selección de las manzanas



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general de materia para la selección de manzana comestible:

$$F_1 = F_2 + F_3$$

Ecuación 3-1

Balance parcial para la fracción comestible en la etapa de selección de manzana comestible:

$$F_1 * x_1^{PC} = F_2 * x_2^{PC} + F_3 * x_3^{PC} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

$$1000 * 0,925 = F_2 * 0 + F_3 * 1$$

$$925 = 0 + F_3$$

$$F_3 = 925 \text{ g de manzana comestible}$$

Balance parcial para la fracción no comestible de manzana:

$$F_1 * x_1^{PNC} = F_2 * x_2^{PNC} + F_3 * x_3^{PNC} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

$$1000 * 0,075 = F_2 * 1 + F_3 * 0$$

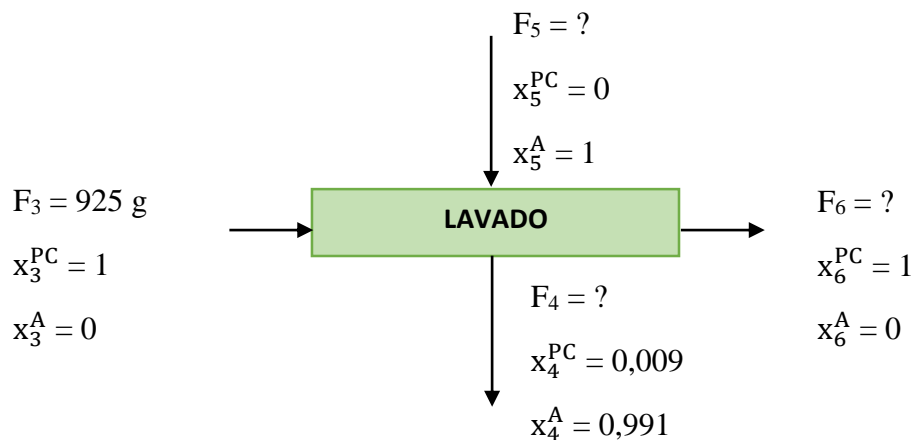
$$75 = F_2 + 0$$

$$F_2 = 75 \text{ g de manzana no comestible}$$

3.7.1.2 Balance en la etapa de lavado

En la figura 3-11, se muestra el diagrama en la etapa de lavado de la manzana para realizar el balance de materia correspondiente:

Figura 3- 11 Lavado de las manzanas



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general de materia para la etapa de lavado de manzana:

$$F_3 + F_5 = F_4 + F_6 \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Para llevar a cabo la etapa de lavado de la manzana, se trabajó con una relación 10:6 de cantidad de agua con manzana comestible.

$$\frac{F_3}{F_5} = \frac{10 \text{ g}}{6 \text{ g}} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Entonces:

$F_5 = 555 \text{ g}$ de agua para el lavado de la manzana

Balance parcial para el agua en la etapa de lavado de la manzana:

$$F_3 * x_3^A + F_5 * x_5^A = F_4 * x_4^A + F_6 * x_6^A \quad \text{Ecuación 3-6}$$

$$925 * 0 + 555 * 1 = F_4 * 0,991 + F_6 * 0$$

$$555 = 0,991 * F_4$$

$F_4 = 560,04 \text{ g}$ de agua residual de la etapa de lavado

Balance parcial para la porción comestible de manzana en la etapa de lavado:

$$F_3 * x_3^{PC} + F_5 * x_5^{PC} = F_4 * x_4^{PC} + F_6 * x_6^{PC} \quad \text{Ecuación 3-7}$$

$$925 * 1 + 555 * 0 = 560,04 * 0,009 + F_6 * 1$$

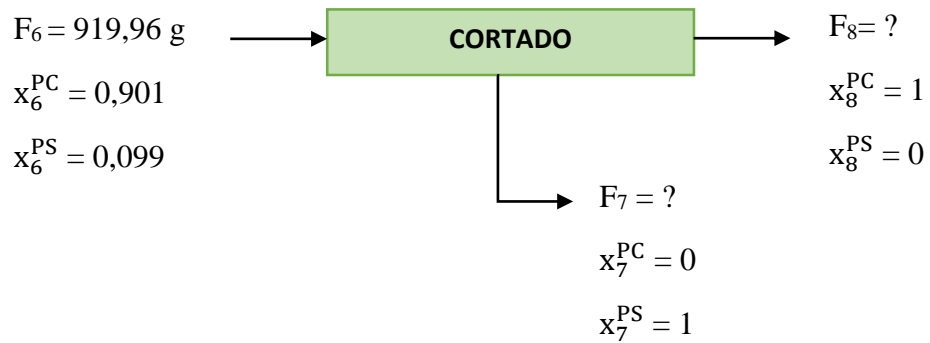
$$925 = 5,04 + F_6$$

$F_6 = 919,96 \text{ g}$ de manzana comestible lavada

3.7.1.3 Balance de materia en la etapa de cortado

En la figura 3-12, se muestra el diagrama en la etapa de cortado de la manzana en rodajas para realizar el balance de materia correspondiente:

Figura 3- 12 Cortado de las manzanas en rodajas



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general de materia para la etapa de cortado de manzana en rodajas:

$$F_6 = F_7 + F_8 \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Balance parcial para la porción comestible de manzana en la etapa de cortado:

$$F_6 * x_6^{PC} = F_7 * x_7^{PC} + F_8 * x_8^{PC} \quad \text{Ecuación 3-9}$$

$$919,96 * 0,901 = F_7 * 0 + F_8 * 1$$

$$828,88 = 0 + F_8$$

$$F_8 = 828,88 \text{ g de rodajas de manzana}$$

Balance parcial para la fracción pedículos y semillas de manzana en la etapa de cortado:

$$F_6 * x_6^{PS} = F_7 * x_7^{PS} + F_8 * x_8^{PS} \quad \text{Ecuación 3-10}$$

$$919,96 * 0,099 = F_7 * 1 + 828,88 * 0$$

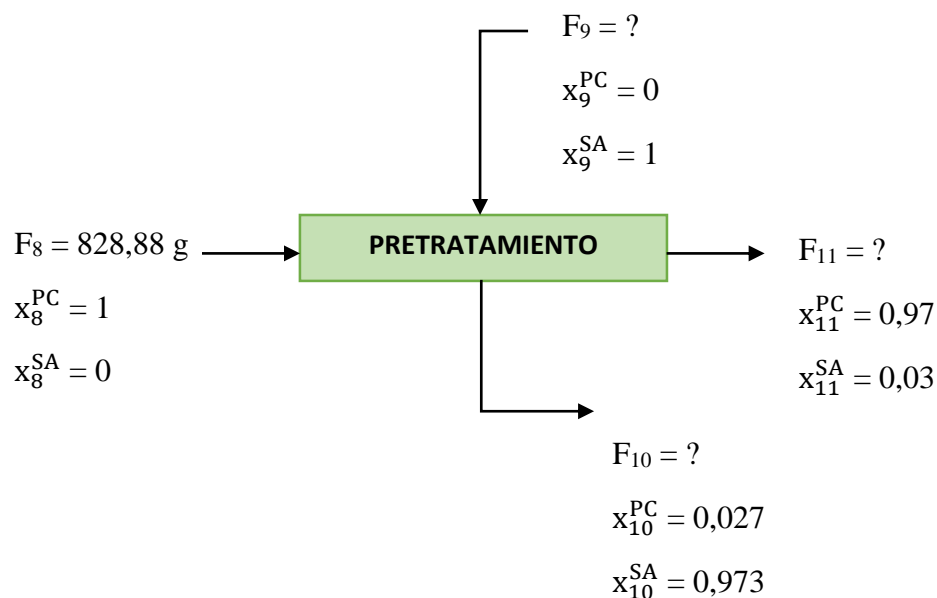
$$91,07 = F_7 + 0$$

$$F_7 = 91,07 \text{ g de pedículos y semillas de manzana}$$

3.7.1.4 Balance de materia en la etapa de tratamiento

En la figura 3-13, se muestra el diagrama en la etapa de tratamiento con una solución ácido ascórbico al 0,03 p/v de las rodajas de manzana para evitar el pardeamiento enzimático para realizar el balance de materia correspondiente:

Figura 3- 13 Tratamiento de las rodajas de manzana



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general de materia para la etapa de tratamiento de las rodajas de manzana:

$$F_8 + F_9 = F_{10} + F_{11} \quad \text{Ecuación 3-11}$$

Para llevar a cabo la etapa del tratamiento de las rodajas de manzana, se trabajó con una relación 1:1 de cantidad de solución de ácido ascórbico con manzana comestible.

$$\frac{F_3}{F_5} = \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ g}} \quad \text{Ecuación 3-12}$$

Entonces:

$F_8 = F_9 = 828,88$ g de cantidad de solución de ácido ascórbico

Balance parcial para la fracción de solución de ácido ascórbico en la etapa de tratamiento de las rodajas de manzana:

$$F_8 * x_8^{SA} + F_9 * x_9^{SA} = F_{10} * x_{10}^{SA} + F_{11} * x_{11}^{SA} \quad \text{Ecuación 3-13}$$

$$828,88 * 0 + 828,88 * 1 = F_{10} * 0,973 + F_{11} * 0,03$$

$$828,88 = 0,973 * F_{10} + (F_8 + F_9 - F_{10}) * 0,03$$

$$828,88 = 0,973 * F_{10} + (828,88 + 828,88 - F_{10}) * 0,03$$

$$828,88 = 0,973 * F_{10} + 24,86 + 24,86 - 0,03 * F_{10}$$

$$779,16 = (0,973 - 0,03) * F_{10}$$

$F_{10} = 826,25$ g de solución de ácido ascórbico residual

Balance parcial para la porción comestible de rodajas de manzana en la etapa de tratamiento:

$$F_8 * x_8^{PC} + F_9 * x_9^{PC} = F_{10} * x_{10}^{PC} + F_{11} * x_{11}^{PC} \quad \text{Ecuación 3-14}$$

$$828,88 * 1 + 828,88 * 0 = 826,25 * 0,027 + F_{11} * 0,97$$

$$828,88 + 0 = 22,31 + F_{11} * 0,97$$

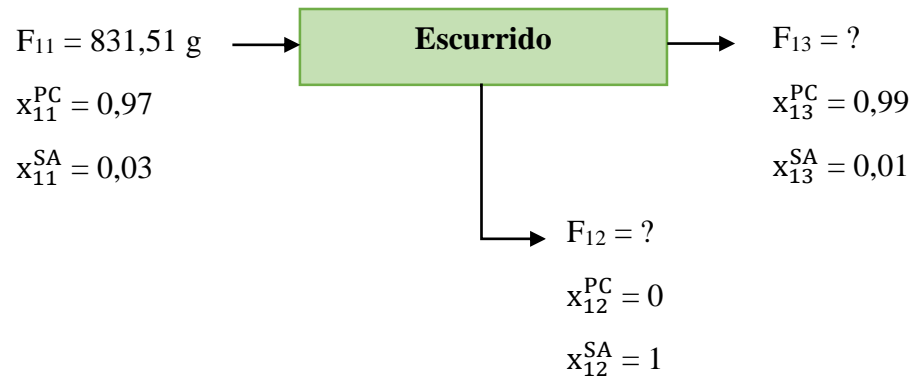
$$F_{11} * 0,97 = 806,57$$

$F_{11} = 831,51$ g de rodajas de manzana tratadas

3.7.1.4 Balance de materia en la etapa de escurrido de las rodajas de manzana

En la figura 3-14, se muestra el diagrama en la etapa de escurrido de las rodajas de manzana tratadas con ácido ascórbico para evitar el pardeamiento enzimático para realizar el balance de materia correspondiente:

Figura 3- 14 Ecurrido de rodajas de manzana tratadas



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general de materia para la etapa de escurrido de las rodajas de manzana tratadas con una solución de ácido ascórbico:

$$F_{11} = F_{12} + F_{13} \quad \text{Ecuación 3-15}$$

Balance parcial para la porción comestible en la etapa de escurrido:

$$F_{11} * x_{11}^{PC} = F_{12} * x_{12}^{PC} + F_{13} * x_{13}^{PC} \quad \text{Ecuación 3-16}$$

$$831,51 * 0,97 = F_{12} * 0 + F_{13} * 0,99$$

$$806,56 = 0 + F_{13} * 0,99$$

$$F_{13} = 814,71 \text{ g de rodajas de manzana escurridas}$$

Balance parcial para la fracción de solución de ácido ascórbico en la etapa de escurrido:

$$F_{11} * x_{11}^{SA} = F_{12} * x_{12}^{SA} + F_{13} * x_{13}^{SA} \quad \text{Ecuación 3-17}$$

$$831,51 * 0,03 = F_{12} * 1 + 814,71 * 0,01$$

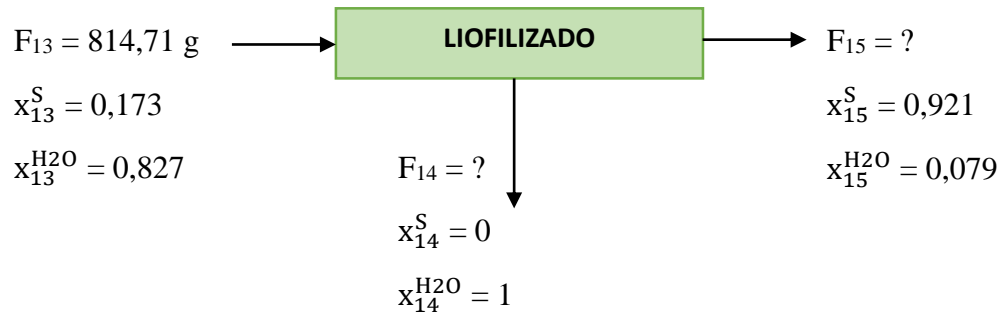
$$24,94 = F_{12} + 8,15$$

$$F_{12} = 16,79 \text{ g de solución de ácido ascórbico residual}$$

3.7.1.5 Balance materia en la etapa de liofilizado

En la figura 3-15, se muestra el diagrama en la etapa de liofilizado de las rodajas de manzana tratadas para realizar el balance de materia correspondiente

Figura 3- 15 Liofilizado de las rodajas de manzana



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general de materia para el liofilizado de las rodajas de manzana tratadas con una solución de ácido ascórbico:

$$F_{13} = F_{14} + F_{15} \quad \text{Ecuación 3-18}$$

Balance parcial para la fracción sólida de rodaja de manzana en la etapa de liofilización:

$$F_{13} * x_{13}^S = F_{14} * x_{14}^S + F_{15} * x_{15}^S \quad \text{Ecuación 3-19}$$

$$814,71 * 0,173 = F_{14} * 0 + F_{15} * 0,921$$

$$140,94 = 0 + F_{15} * 0,921$$

$F_{15} = 153,03$ g de rodajas de manzana liofilizadas

Balance parcial para la fracción de agua en la etapa de liofilización:

$$F_{13} * x_{13}^{H_2O} = F_{14} * x_{14}^{H_2O} + F_{15} * x_{15}^{H_2O} \quad \text{Ecuación 3-20}$$

$$814,71 * 0,827 = F_{14} * 1 + 153,03 * 0,079$$

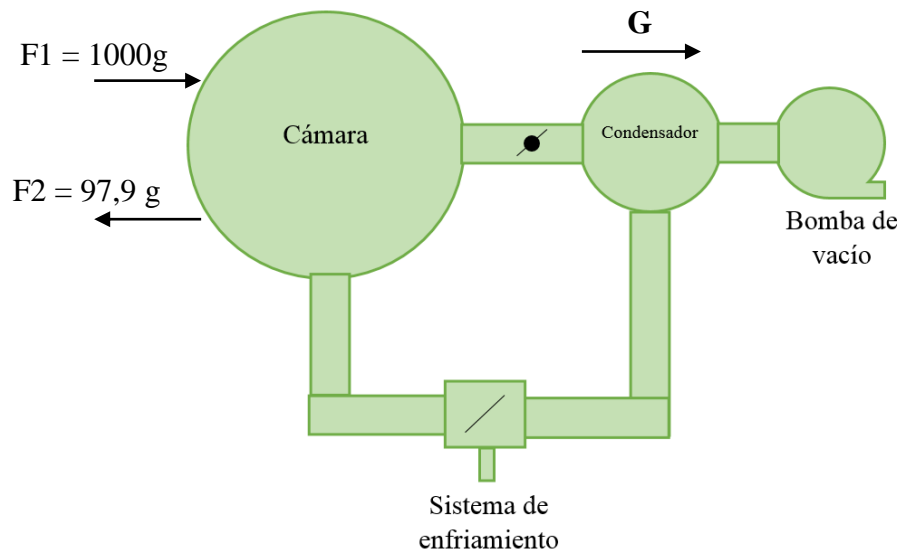
$$673,76 = F_{14} + 12,09$$

$F_{14} = 661,67$ g de vapor de agua de la liofilización

3.7.2 Balance de energía en el equipo liofilizador

En la figura 3-16, se muestra el balance de energía en la etapa de deshidratación de la manzana en el equipo de liofilización debido a que únicamente presenta intercambio de energía.

Figura 3- 16 Balance de energía en el liofilizador



Fuente: Elaboración propia, 2022

Donde los datos son

G = Cantidad de aire húmedo a la salida (kg)

Q_p = Energía necesaria para la liofilización (kj)

$F1$ = Alimentación de rodajas de manzana húmeda (kg)

$F2$ = Rodajas de manzana liofilizadas (kg)

Balance combinado de materia y energía en mezclado de materia y evaporación en la industria alimentaria según (Valiente, 1994) en la etapa de liofilización se muestra en la ecuación 3-21.

$$F1 \cdot H1 + QP = F2 \cdot H2 + G \cdot HG$$

Ecuación 3-21

Consideremos un sistema abierto estacionario donde se realiza el balance de energía en tanto la masa va desde una entrada a una salida, se puede considerar que los flujos son iguales. (Valiente, 1994)

$$F_1 = F_2 = F$$

Reemplazando variables en la ecuación (3-21), se obtiene:

$$F \cdot H_1 + QP = F \cdot H_2 + G \cdot HG \quad \text{Ecuación 3-22}$$

Donde:

F = Cantidad de producto (Kg)

H₁ = Entalpía del producto de ingreso (KJ/Kg sólido seco)

H₂ = Entalpía del producto de salida (KJ/Kg sólido seco)

G = Cantidad de aire (Kg aire seco)

HG = Entalpía del aire de salida (KJ/Kg sólido seco)

QP = Calor aportado al sistema (KJ)

Despejando QP se tiene la ecuación 3-21 que se muestra:

$$QP = G \cdot (HG) + F \cdot (H_1 - H_2) \quad \text{Ecuación 3-23}$$

Para el cálculo de la entalpía del aire, se toma en cuenta la ecuación (3-24) que se muestra a continuación. (Singh & Heldman, 2009)

$$H_a = C_s(T_a - T_o) + Y \cdot H_L \quad \text{Ecuación 3-24}$$

Donde:

C_s = Calor húmedo (KJ/Kg de aire seco °C)

T_a = Temperatura del aire °C

T_o = Temperatura de referencia, igual a 0°C

Y = Humedad absoluta (KJ agua/Kg de aire seco)

H_L = Calor latente de vaporización del agua (KJ/Kg de agua)

Para calcular el calor húmedo del aire, se toma en cuenta la ecuación (3-25) que es mencionada por (Singh & Heldman, 2009), donde: el calor específico del aire seco es de 1,005 (KJ/Kg aire seco °C) y el calor específico para el agua 1,88 (KJ/Kg agua °C).

$$C_S = 1,005 + 1,88Y \quad \text{Ecuación 3-25}$$

Reemplazando la ecuación (3-24) en (3-25), se tiene:

$$H_a = (1,005 + 1,88*Y)*(T_a - T_o) + Y*H_L \quad \text{Ecuación 3-26}$$

Se ajustan los datos de la ecuación (3-26) a la presión de la ciudad de Tarija que son 610 mmHg dando un calor específico del aire seco 0,81 KJ/Kg aire seco °C y el calor específico del agua es 1,51 KJ/Kg agua °C mencionado por (López, 2021).

Entonces la ecuación queda ajustada de la siguiente manera que se muestra:

$$H_a = (0,81 + 1,51*Y)*(T_a - T_o) + Y*H_L \quad \text{Ecuación 3-27}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (3-27) se tiene:

$$H_G = 0,81 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} + 1,51 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} * 0,0105 \frac{KJ}{Kg} * (19 - 0) \text{ } ^\circ C + 0,0105 \frac{KJ}{Kg} * 2456,5 \frac{KJ}{Kg}$$

$$H_G = 41,4 \frac{KJ}{Kg}$$

Para calcular la entalpía del producto, se tiene la ecuación (3-28):

$$H_P = C_{pP}(T_P - T_o) + X_P * C_{pX}(T_P - T_o) \quad \text{Ecuación 3-28}$$

Donde:

C_{pP} = Calor específico del producto (KJ/Kg °K)

T_P = Temperatura del producto (°K)

X_P = Humedad del producto (Kg agua/Kg sólido seco)

C_{pX} = Calor específico del agua (KJ/Kg agua °K)

Para calcular la entalpía de las rodajas de manzana deshidratada, reemplazando datos en la ecuación (3-28).

$$C_{p1} = 2,805 \text{ KJ/Kg } ^\circ K$$

$$T_P = 292,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$H_1 = 2,905 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} * (292,15 - 0) \text{ }^\circ\text{K} + 1,174 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} * 4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} * (292,15 - 0) \text{ }^\circ\text{K}$$

$$H_1 = 2281,3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Para el cálculo de los calores específicos de los alimentos, se procede a partir de la ecuación (3-29) citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_{pP} = x_C * C_{pC} + x_r * C_{pr} + x_g * C_{pg} + x_F * C_{pF} + x_a * C_{pa} + x_w \quad \text{Ecuación 3-29}$$

Donde:

$C_{pC} = 1,4 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)}$ = Calor específico de los carbohidratos.

x_c = Fracción másica de los carbohidratos

$C_{pr} = 1,6 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)}$ = Calor específico de las proteínas.

x_r = Fracción másica de la proteína

$C_{pg} = 1,7 \text{ (KJ/Kg g } ^\circ\text{K)}$ = Calor específico de las grasas.

x_g = Fracción másica de la grasa

$C_{pF} = 1,5 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)}$ = Calor específico de la fibra.

x_F = Fracción másica de la fibra

$C_{pa} = 0,8 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)}$ = Calor específico de las cenizas.

x_a = Fracción másica de las cenizas

$C_{pw} = 4,18 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)}$ = Calor específico del agua.

x_w = Fracción másica del agua

En la tabla III-13, muestra los datos de la composición fisicoquímica de la manzana liofilizada, estos valores son utilizados para calcular el calor específico del producto.

Tabla III- 13 Datos de la composición fisicoquímica de la manzana liofilizada

Parámetros	Porcentaje (%)	Fracción másica
Cenizas	1,39	0,0139
Fibra	3,75	0,0375
Grasa	0,44	0,0044
Hidratos de Carbono	78,02	0,7802
Humedad	15,06	0,1506
Proteína total (Nx6,25)	1,34	0,0134

Fuente: CEANID, 2022

Reemplazando valores de la tabla III-13, en la ecuación (3-29), se tiene:

$$C_{p2} = 0,7802 * 1,4 + 0,0134 * 1,6 + 0,0044 * 1,7 + 0,0375 * 1,5 + 0,0139 * 0,8 + 0,1506 * 4,18$$

$$C_{p2} = 1,82 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K}$$

Ya calculado el calor específico del producto final se reemplaza en la ecuación (3-28) se tiene:

$$H_P = 1,82 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} * (312,15 - 0) \text{ } ^\circ K + 0,146 * 4,18 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} * (312,15 - 0) \text{ } ^\circ K$$

$$H_P = 758,61 \frac{KJ}{Kg}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-23), se tiene:

$$Q_P = 1 \text{ Kg} * 41,4 \frac{KJ}{Kg} + 0,902(758,61 - 2281,3) \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_P = -373,47 \text{ KJ}$$

3.8 Evaluación sensorial de las rodajas de manzana liofilizada

Se define la evaluación sensorial como la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído citada por (Picallo, 2009). La evaluación se realizaron en los ambientes del Laboratorio de Operaciones Unitarias L.O.U de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se tuvo 10 jueces evaluadores para elegir el ácido a utilizar para el tratamiento de las rodajas de manzana y para la aceptación de la muestra ganadora de rodajas manzana liofilizadas.

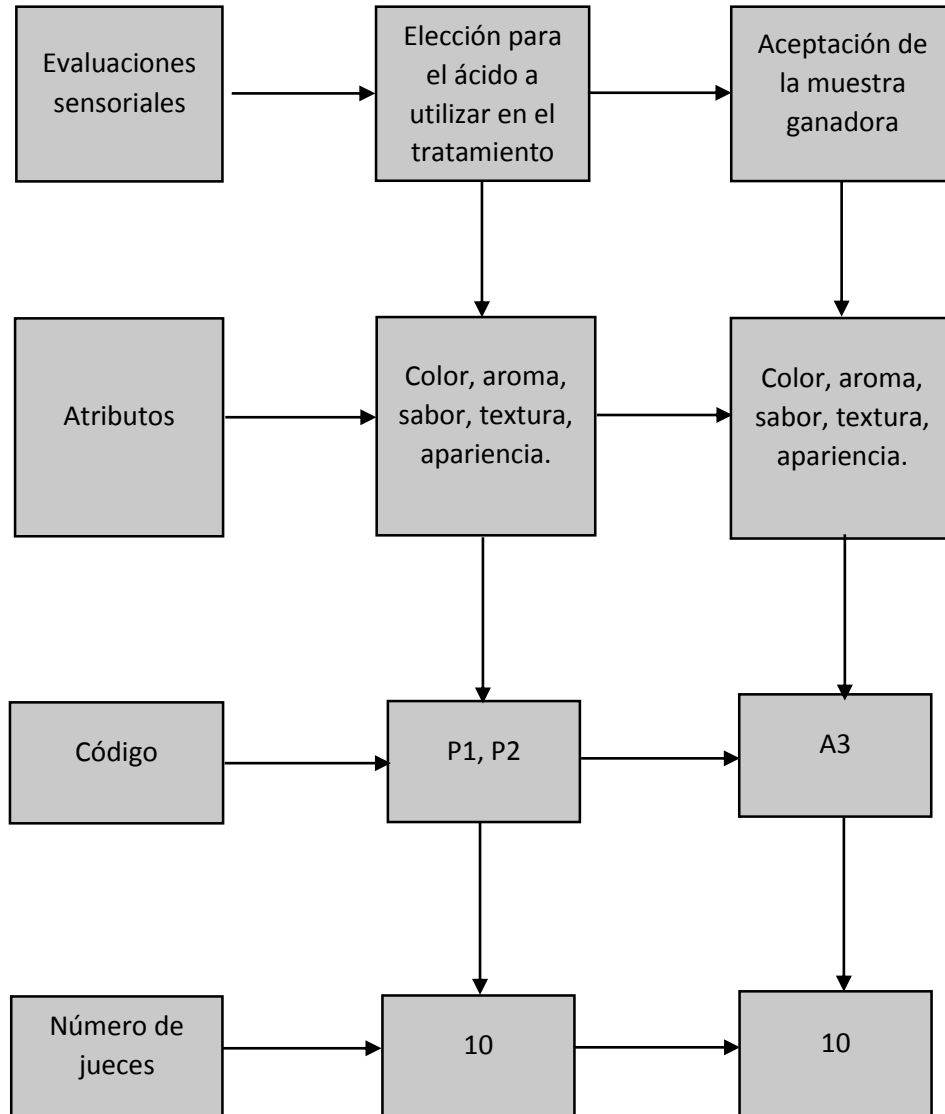
En la tabla III-14 se muestra la escala hedónica que se utilizó en la evaluación sensorial del presente trabajo de deshidratación de rodajas de manzana por el método de liofilización.

Tabla III- 14 Escala hedónica de las rodajas de manzana liofilizada

Nominal	Verbal
5	Me gusta mucho
4	Me gusta
3	No me gusta ni disgusta
2	Me disgusta
1	Me disgusta mucho

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-17, se detallan los resultados de las evaluaciones sensoriales realizadas en el presente trabajo de investigación experimental de deshidratación de manzana por el método de liofilización.

Figura 3- 17 Evaluaciones sensoriales realizada

Fuente: Elaboración propia, 2022

CAPITULO IV

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Resultados de los análisis de la manzana variedad *Princesa*

Se muestra los resultados obtenidos de los análisis de las rodajas de manzana variedad *Princesa* realizadas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) que es una unidad de servicio dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS).

4.1.1 Análisis fisicoquímico de la manzana roja de la variedad *Princesa*

En la tabla IV-1, se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de las rodajas de manzana variedad *Princesa*, los resultados mostrados fueron extraídos (Anexo A).

Tabla IV- 1 Parámetros fisicoquímicos de la manzana variedad *Princesa*

Parámetros	Tecnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez	NB 36002:2002	%	0,23
Cenizas	NB 231:2:1998	%	0,40
Fibra	NB 35004:2014	%	0,71
Grasa	NB 228:1998	%	0,22
Hidratos de Carbono	NB 312031:2010	%	14,97
Humedad	NB 367:1998	%	82,74
pH (20°C)	NB 338006:2009		4,06
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:2008	%	0,96
Valor energético	NB 312032:2006	Kcal/100g	65,7

Fuente: CEANID, 2022

Los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en la manzana variedad *Princesa* fueron realizadas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) que es una unidad de servicio dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS) dando los siguientes resultados: acidez 0,23 %, cenizas

0,40%, fibra 0,71%, grasa 0,22%, hidratos de carbono 14,97%, humedad 82,74%, pH: 4,06, proteína total 0,96% y valor energético 65,7 Kcal/100g.

4.1.2 Análisis microbiológicos de la manzana variedad *Princesa*

En la tabla IV-2, se muestran los resultados de los análisis microbiológicos de las rodajas de manzana variedad *Princesa* de datos extraídos (anexo A).

Tabla IV- 2 Parámetros microbiológicos de la manzana variedad *Princesa*

Microorganismos	Método	Unidad	Resultados
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	NB 32006:2003	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Salmonella	NB 32007:03	P/A/25g	Ausencia
Staphylococo aureus	NB 32004:02	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla IV-2, se observa los resultados de los análisis microbiológicos realizados en la manzana entera de la variedad *Princesa* que son: escherichia coli $<1,0 \times 10^1$, mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$, salmonella P/A/25 g y staphylococo aereus $<1,0 \times 10^1$.

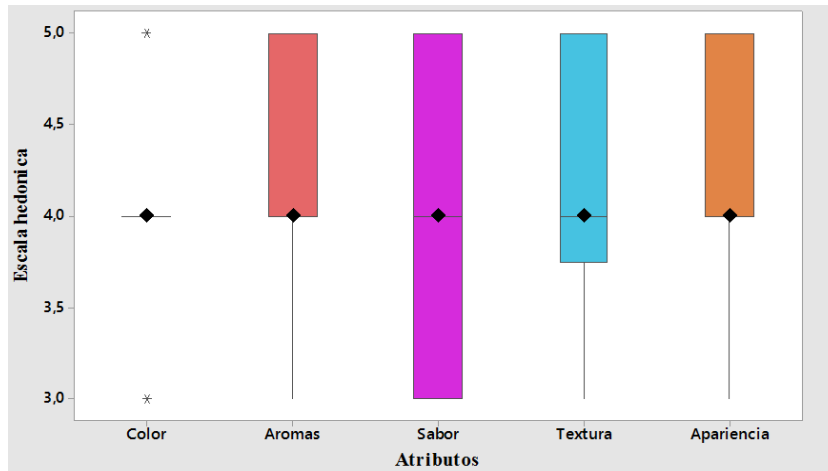
(*): No se observa desarrollo de colonias.

4.2 Pretratamientos de las rodajas de manzana liofilizadas

En el presente trabajo de investigación, se procedió a realizar la elección del tratamiento a ser utilizado para la obtención de las rodajas de manzana. Para lo cual se realizan pruebas con dos ácidos, el ácido ascórbico y ácido cítrico, las cuales fueron sometidas a una evaluación sensorial donde el ácido ascórbico obtuvo mejores resultados y por lo tanto fue escogido como el ácido a utilizar en el tratamiento para evitar el pardeamiento enzimático.

En las siguientes figuras 4-1 y 4-2, se muestran la caja y bigote de los ensayos realizados para la elección de ácido utilizado en el presente proyecto (Anexo C).

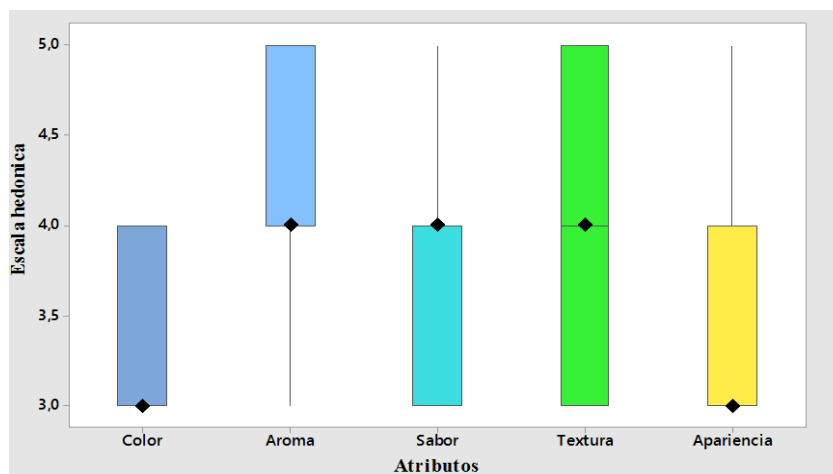
Figura 4-1 Evaluación sensorial para el tratamiento con ácido ascórbico



Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 4-1, se muestra la caja y bigote de los resultados del tratamiento de con ácido ascórbico en función de los atributos y donde los resultados en función de las medianas y posición de la caja: atributo color 4,0; aroma 4,0; sabor 4,0; textura 4,0 y apariencia 4,0 datos extraídos del (Anexo C).

Figura 4-2 Evaluación sensorial para el tratamiento con ácido cítrico



Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 4-2, se muestra la caja y bigote de los resultados del tratamiento de con ácido cítrico en función de los atributos y donde los resultados en función de las medianas y posición de la caja: atributo color 3,0; aroma 4,0; sabor 4,0; textura 4,0 y apariencia 3,0 datos extraídos del (Anexo C).

4.3 Resultados de la deshidratación de las rodajas de manzana por liofilización

Se realizó la deshidratación por el método de liofilización de cada muestra con las interacciones del diseño factorial, se realizan 12 pruebas para mayor recopilación de datos y así mejorar en la información estadística que ayudaran para escoger la muestra con menores humedades.

Tabla IV- 3 Pesos de las pruebas realizadas

Pruebas de las rodajas de manzana Liofilizadas y sus rendimientos					Réplica 1		Réplica 2	
Tiempo de secado (min)	Espesor del corte (mm)	Peso de la muestra (g)	Peso de rodajas de manzana liofilizada (g)	(%)	Peso de rodajas de manzana liofilizada (g)	(%)	Peso de rodajas de manzana liofilizada (g)	(%)
240	2	50	6,51	13,02	6,03	12,06	6,36	12,72
240	3	50	7,86	15,72	8,14	16,28	7,83	15,66
300	2	50	5,15	10,3	5,57	11,14	5,32	10,64
300	3	50	7,06	14,12	7,19	14,38	7,12	14,24

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla IV-3, se muestran los todos resultados experimentales, sometidas a una prueba más su réplica con las mediciones de las siguientes variables: tiempo de secado en (min) y espesor del corte en (mm).

4.4 Resultados de la reducción de peso de los experimentos

Las rodajas de manzana deshidratadas presentan una reducción de peso en las etapas de secado, los resultados de cada experimento tratados en el laboratorio se pueden observar en la tabla IV-4.

Tabla IV-4 Medición de la reducción peso de las muestras

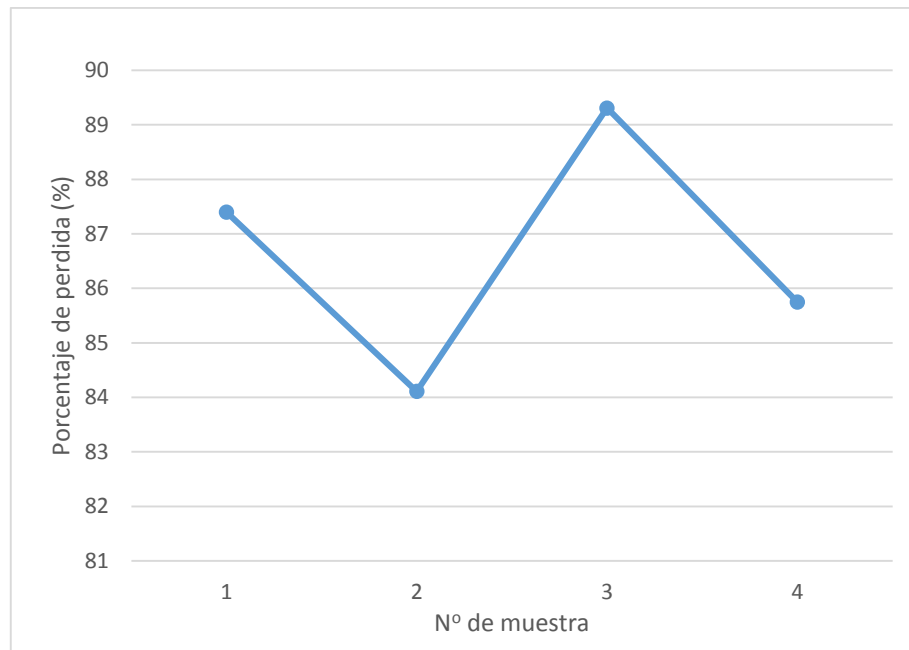
Pérdida de peso de las rodajas de manzana liofilizada						
Nº	Tiempo (min)	Espesor (mm)	Pérdida de peso (%)	Réplica 1 (%)	Réplica 2 (%)	Promedio (%)
1	240	2	86,98	87,94	87,28	87,40
2	240	3	84,28	83,72	84,34	84,11
3	300	2	89,70	88,86	89,36	89,31
4	300	3	85,88	85,62	85,76	85,75

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla IV-4, se muestran las pérdidas de peso de las rodajas de manzana después de la liofilización. La pérdida de peso fue obtenida por la diferencia de peso entre las rodajas de manzana frescas y las rodajas de manzana liofilizadas.

En la figura 4-3, se ilustra el porcentaje de pérdida de peso promedio de cada muestra realizada en este trabajo con la finalidad de saber que muestras presentan la mayor y menor porcentaje de pérdida de peso de las muestras realizadas.

Figura 4-3 Reducción de peso de las muestras de rodajas de manzana



Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 4-3, se muestra el porcentaje de pérdida de peso promedio de cada muestra donde la muestra numero 3 tiene el mayor porcentaje de pérdida de peso del 89,31 % y la muestra numero 2 tiene el menor porcentaje de pérdida de peso con un porcentaje del 84,11 %.

4.5 Resultados de la pérdida de agua de los experimentos

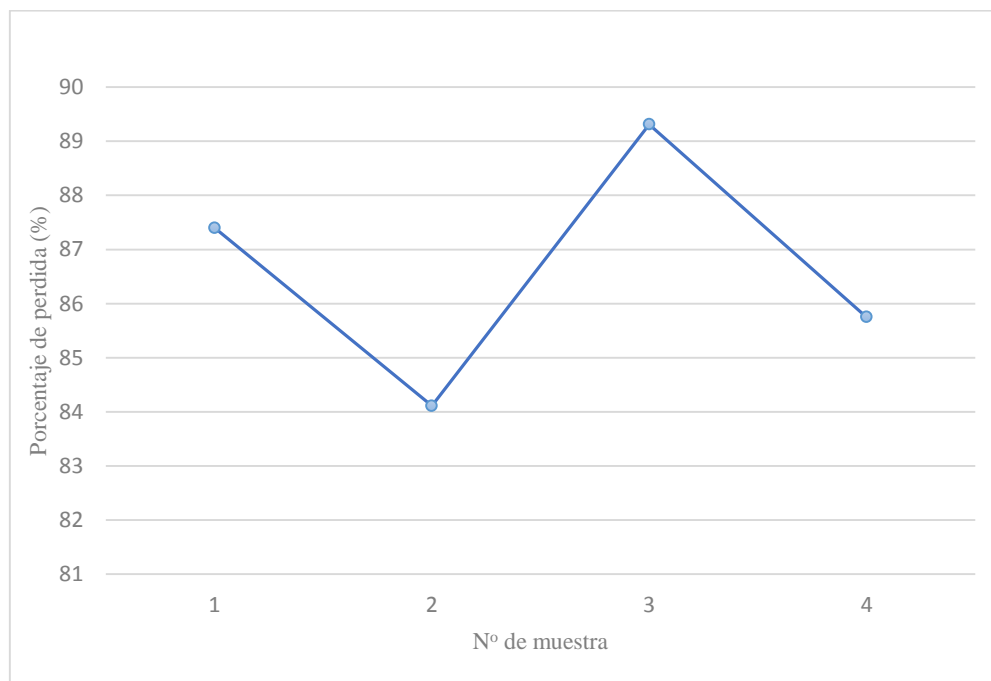
Las pérdidas de agua de cada prueba se realizaron tomando en cuenta las humedades obtenidas de cada experimento al inicio y al final del proceso de liofilizado.

Tabla IV- 5 Perdida de agua de las rodajas de manzana

Perdida de agua de las rodajas de manzana en la liofilización						
Nº	Tiempo (min)	Grosor (mm)	WR (%)	Replica 1 (%)	Replica 2 (%)	Promedio (%)
1	240	2	86,98	87,94	87,28	87,40
2	240	3	84,28	83,72	84,34	84,11
3	300	2	89,70	88,86	89,36	89,31
4	300	3	85,88	85,62	85,76	85,75

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 4-4, se ilustra el porcentaje de pérdida de agua promedio de cada muestra realizada en este trabajo con la finalidad de saber que muestras presentan la mayor y menor porcentaje de pérdida de agua entre las muestras realizadas

Figura 4- 4 Grafica pérdida de agua

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 4-4, se muestra el porcentaje de pérdida de agua promedio de cada muestra donde la muestra numero 3 tiene el mayor porcentaje de pérdida de agua de todas las muestra con un porcentaje de 89,31 % y la muestra numero 2 tiene el menor porcentaje de pérdida de agua de 84,11 % entre todas las muestras.

4.6 Humedad de las rodajas de manzana liofilizadas

Una vez realizada todas las pruebas de deshidratado de la las rodajas de manzana se determinó la humedad para ello se usaron los datos de la tabla IV-6 donde están detalladas las mediciones realizadas en el proceso de liofilización.

Tabla IV- 6 Variación de la humedad en base húmeda

Prueba	Tiempo (min)	Grosor (mm)	Humedad en base húmeda	Humedad en base húmeda Replica 1	Humedad en base húmeda Replica 2
A1	240	2	9,45	10,03	9,24
A2	240	3	11,35	11,12	11,55
A3	300	2	7,57	7,93	7,89
A4	300	3	8,96	8,46	8,55

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla IV-6, se compara las humedades de cada experimento, la muestra A3 tiene el menor porcentaje de humedad y la muestra A2 el mayor porcentaje de humedad.

4.7 Análisis estadístico del diseño factorial 2² para el deshidratado de rodajas de manzana

El diseño factorial aplicado se realizó con el fin de establecer si los factores tomados en cuenta en este trabajo de investigación (tiempo de secado y grosor del corte) influyendo la variable respuesta contenido de humedad en base húmeda. Para tal efecto, se aplicó la matriz del diseño experimental 2², como se muestra en la tabla IV-7.

Tabla IV- 7 Variables de diseño factorial en el deshidratado de rodajas de manzana

°N de Exp.	Tiempo de secado (min)	Espesor (mm)	Contenido de humedad en base húmeda (%)
1	-1	-1	9,45
2	-1	+1	11,35
3	+1	-1	7,57
4	+1	+1	8,96
5	-1	-1	10,03
6	-1	+1	11,12
7	+1	-1	7,93
8	+1	+1	8,46
9	-1	-1	9,24
10	-1	+1	11,55
11	+1	-1	7,89
12	+1	+1	8,55

Fuente: Elaboración Propia, 2022

En la tabla IV-8, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza ANOVA el cual es una fórmula estadística que se utiliza para comparar las varianzas entre las medias o el promedio de diferentes grupos los cuales fueron introducidos en el programa Statgraphics centurión XVI en el proceso de deshidratación donde la variable respuesta es el contenido de humedad en base húmeda en las rodajas de manzana liofilizadas.

Tabla IV-8 Análisis de varianza para contenido de humedad en base húmeda

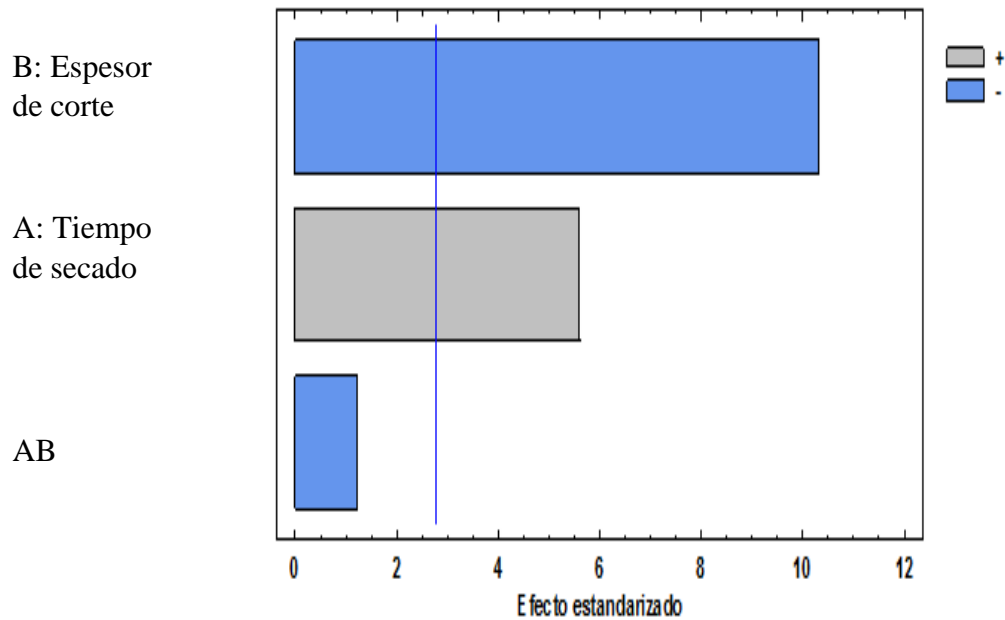
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo de secado	3,01351	1	3,01351	31,35	0,0050
B:Grosor del corte	10,1926	1	10,1926	106,05	0,0005
AB	0,143112	1	0,143112	1,49	0,2894
Error total	0,38445	4	0,0961125		
Total (corr.)	13,7337	7			

Fuente: Elaboración propia, 2022

Según el análisis de varianza para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ se puede observar que para los factores A (Tiempo de secado) y B (Espesor del corte) si existe diferencia significativa; sin embargo, en la interacción AB no existe diferencia significativa. Por lo tanto, se puede afirmar que los factores A y B si influyen en el proceso de deshidratado mediante liofilizado en la relación a la variable respuesta contenido de humedad.

En la figura 4-5 se muestra el diagrama de Pareto ya estandarizados para los factores A y B en función al contenido de humedad. El nivel de significancia de los factores e interacciones son determinados con el valor de referencia (2,306), en tal caso si las barras exceden el valor de referencia se dice que si son significativos para un nivel de confianza del 5%.

Figura 4-5 Diagrama de Pareto estandarizada para el contenido de humedad



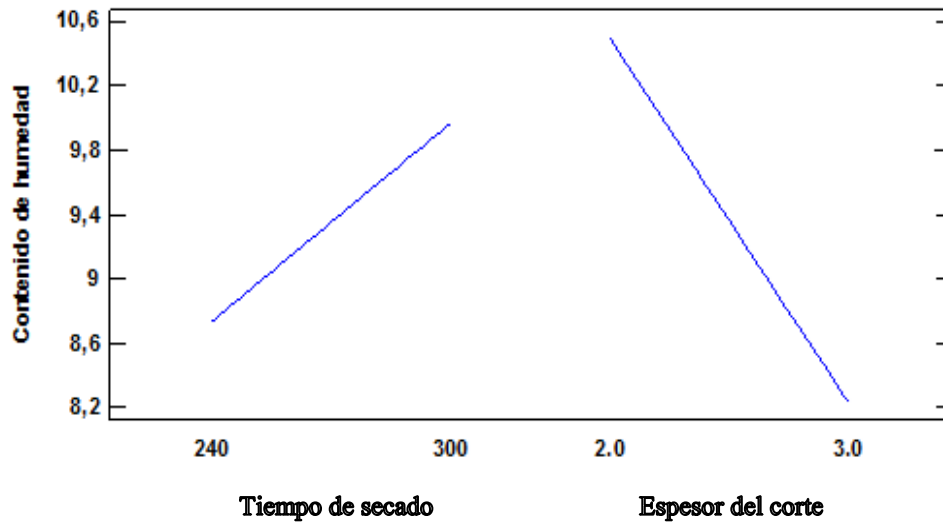
Fuente: Elaboración Propia, 2022

Según la figura 4-5, se observó que los valores absolutos de los factores A (tiempo de secado), B (espesor del corte) sobre pasan la línea de referencia por lo tanto son estadísticamente significativos.

Por otra parte la interacción AB (tiempo de secado-espesor del corte) no sobrepasa la línea de referencia, por lo tanto, no es estadísticamente significativa para una significancia del 5%.

En la figura 4-6, se muestra los efectos principales de los factores A (tiempo de secado) y B (espesor del corte) con relación al contenido de humedad en base húmeda.

Figura 4-6 Efectos principales en relación al contenido de humedad en base húmeda

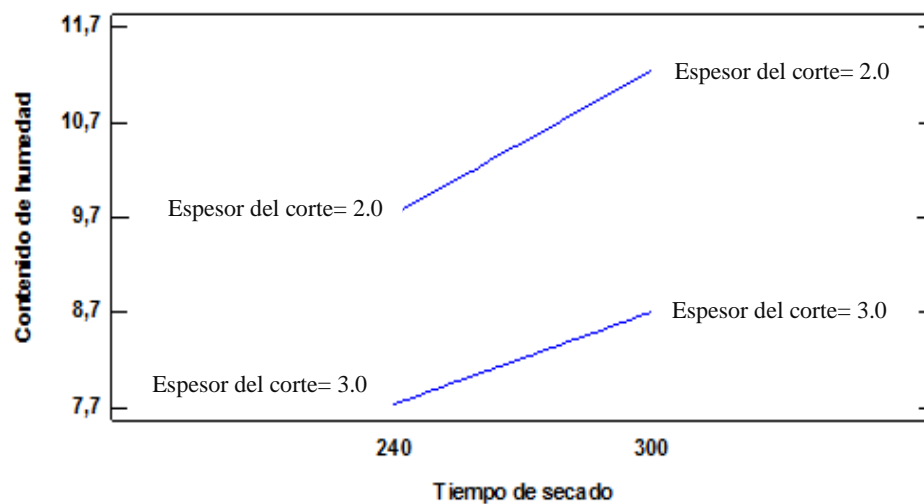


Fuente: Elaboración propia, 2022

Según la figura 4-6, se puede observar que los factores A (tiempo de secado) y B (espesor del corte) influyen significativamente sobre el contenido de humedad para un rango de (240-300) min y (2-3) mm respectivamente, por lo tanto a un nivel superior del factor A se obtiene mayor contenido de humedad por otro lado para un nivel superior del factor B existe un menor contenido de humedad.

En la figura 4-7, se observa la interacción de los factores A (tiempo de secado) y factor B (espesor del corte), AB.

Figura 4-7 Interacción de los factores en relación al contenido de humedad en base húmeda



Fuente: Elaboración propia, 2022

Según la figura 4-7, se observa que el contenido de humedad para la interacción AB no se ve afectado cuando los factores se encuentran en nivel alto y bajo (240-300) minutos de manera que no influyen significativamente en la variable de respuesta.

4.8 Análisis de la evaluación sensorial

La evaluación del producto final se realiza con la finalidad de tener conocimiento sobre el grado de aceptabilidad ante la sociedad. Mediante una evaluación estadística organoléptica fueron acontecidas mediante calificaciones de jueces en las instalaciones del L.O.U. Laboratorio de Operaciones Unitarias.

4.8.1 Escala hedónica de los parámetros organolépticos

En la tabla IV-9, se observan las calificaciones en escala de dos a diez, siendo el método ganador aquel que obtenga mayor puntaje.

Tabla IV- 9 Escala de Calificación por Puntuación

Escala hedónica	
Nominal	Verbal
5	Me gusta mucho
4	Me gusta
3	No me gusta ni disgusta
2	Me disgusta
1	Me disgusta mucho

Fuente: Elaboración, 2022

La Tabla IV-10 muestra el total de los resultados que los jueces atribuyeron a cada atributo organoléptico que se encontraron en la evaluación sensorial.

Tabla IV- 10 Resultados de escala para cada parámetro organoléptico

Atributo	Valor Porcentual	Unidad	Resultado Final
Color	20	%	16
Aroma	20	%	12
Sabor	20	%	16
Textura	20	%	20
Apariencia	20	%	16
Total	100	%	80

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.8.2 Análisis de varianza para el atributo de color de las rodajas de manzanas liofilizadas

Para realizar el análisis de varianza para el atributo color se registró la sumatoria de los resultados de cada juez en referencia al atributo color, en la siguiente tabla IV-11, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de resultados para el atributo color de las rodajas de manzana liofilizada.

Tabla IV-11 Resumen estadístico para calificación color

FV	SS(T)	GL	CM	Fcal	Ftab
Total	6,55	19			
Muestras	2,45	1	2,45	21,00	5,12
Jueces	3,05	9	0,34	2,90	3,18
Error	1,05	9	0,12		

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-11, se observa que el $F_{cal} > F_{tab}$ ($21 > 5,12$) para las muestras, por lo que se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación color entre los muestras, con un nivel de confianza del 95,0%. El análisis estadístico de Tukey, los intervalos se usaron para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

En la tabla IV-12, se observa las resumen de las diferencias de tratamiento respecto al atributo color.

Tabla IV-12 Resumen estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
A1-A2	0,7	0,34	Significativo

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.8.3 Análisis de varianza para el atributo de aroma de las rodajas de manzanas liofilizadas

Para realizar el análisis de varianza para el atributo color se registró la sumatoria de los resultados de cada juez en referencia al atributo color, en la siguiente tabla IV-13, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de resultados para el atributo color de las rodajas de manzana liofilizada.

Tabla IV-13 Resumen estadístico para calificación aroma

FV	SS(T)	GL	CM	Fcal	Ftab
Total	6,55	19			
Muestras	0,45	1	0,45	1,33	5,12
Jueces	3,05	9	0,34	1,00	3,18
Error	3,05	9	0,34		

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-13, se observa que el $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,33 < 5,12$) para las muestras, por lo que no se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación aroma entre los muestras, con un nivel de confianza del 95,0%.

El análisis estadístico de Tukey, los intervalos se usaron para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

En la tabla IV-14, se observa las resumen de las diferencias de tratamiento respecto al atributo color.

Tabla IV-14 Resumen estadístico de Tukey para el atributo aroma

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
A1-A2	0,3	0,58	No significativo

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.8.4 Análisis de varianza para el atributo de textura de las rodajas de manzanas liofilizadas

Para realizar el análisis de varianza para el atributo textura se registró la sumatoria de los resultados de cada juez en referencia al atributo color, en la siguiente tabla IV-15, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de resultados para el atributo textura de las rodajas de manzana liofilizada.

Tabla IV-15 Resumen estadístico para calificación textura

FV	SS(T)	GL	CM	Fcal	Ftab
Total	9,8	19			
Muestras	0	1	0	0	5,12
Jueces	3,8	9	0,42	0,63	3,18
Error	6	9	0,67		

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-15, se observa que el $F_{cal} < F_{tab}$ ($0 < 5,12$) para las muestras, por lo que no se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación de atributo textura entre los muestras, con un nivel de confianza del 95,0%.

El análisis estadístico de Tukey, los intervalos se usaron para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. En la tabla IV-16, se observa las resumen de las diferencias de tratamiento respecto al atributo color.

Tabla IV-16 Resumen estadístico de Tukey para el atributo aroma

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
A1- A2	0,31	0,34	No significativo

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.8.5 Análisis de varianza para el atributo de apariencia de las rodajas de manzanas liofilizadas

Para realizar el análisis de varianza para el atributo apariencia se registró la sumatoria de los resultados de cada juez en referencia al atributo apariencia, en la tabla IV-17, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de resultados para el atributo apariencia de las rodajas de manzana liofilizada.

Tabla IV-17 Resumen estadístico para calificación apariencia

FV	SS(T)	GL	CM	Fcal	Ftab
Total	11,2	19			
Muestras	5	1	5	15	5,12
Jueces	3,2	9	0,36	1,07	3,18
Error	3	9	0,33		

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-17, se observa que el $F_{cal} > F_{tab}$ ($15 > 5,12$) para las muestras, por lo que se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación de atributo apariencia entre los muestras, con un nivel de confianza del 95,0%.

El análisis estadístico de Tukey, los intervalos se usaron para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. En la tabla IV-18, se observa las resumen de las diferencias de tratamiento respecto al atributo color.

Tabla IV-18 Resumen estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
A1- A2	1	0,58	Significativo

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.8.6 Análisis de varianza para el atributo de sabor de las rodajas de manzanas liofilizadas

Para realizar el análisis de varianza para el atributo sabor se registró la sumatoria de los resultados de cada juez en referencia al atributo apariencia, en la tabla IV-19, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de resultados para el atributo sabor de las rodajas de manzana liofilizada.

Tabla IV-19 Resumen estadístico para calificación sabor

FV	SS(T)	GL	CM	Fcal	Ftab
Total	8,55	19			
Muestras	0,45	1	0,45	1,33	5,12
Jueces	5,05	9	0,56	1,65	3,18
Error	3,05	9	0,34		

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-19, se observa que el $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,33 < 5,12$) para las muestras, por lo que no se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación de atributo apariencia entre los muestras, con un nivel de confianza del 95,0%.

El análisis estadístico de Tukey, los intervalos se usaron para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. En la tabla IV-20, se observa las resumen de las diferencias de tratamiento respecto al atributo color.

Tabla IV-20 Resumen estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
A1- A2	1	0,58	No significativo

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.9 Control de calidad de producto obtenido

Por tal fin se realizaron análisis fisicoquímico y microbiológico al producto final verificando que se trabajó con inocuidad alimentaria ya que se trata de un producto alimenticio. Los análisis del producto, al igual que los de la materia prima, son realizados en el Centro de Análisis y Desarrollo CEANID.

4.9.1 Análisis fisicoquímico del producto

En la tabla IV-21. se muestran los resultados del producto final que son analizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) datos sacados del Anexo A, donde se determinan el acidez, cenizas, fibra, grasa, hidratos de carbono, humedad, pH (20°C), proteína total (Nx6,25), valor energético que fueron analizados en la rodajas de manzana liofilizadas.

Tabla IV- 21 Análisis fisicoquímicos de rodajas de manzana liofilizada

Parámetros	Tecnica y/o Método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez	NB 36002:2002	%	0,62
Cenizas	NB 231:2:1998	%	0,45
Fibra	NB 35004:2014	%	0,56
Grasa	NB 228:1998	%	0,31
Hidratos de Carbono	NB 312031:2010	%	23,43
Humedad	NB 367:1998	%	13,65
pH (20°C)	NB 338006:2009		4,12
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:2008	%	2,23
Valor energético	NB 312032:2006	Kcal/100g	398,76

Fuente: CEANID, 2022

El código alimentario boliviano no especifica las normas de exigencia que debe presentar una fruta deshidratada, por lo que se toman las normas de cualquier otro país, debido a que los códigos alimentarios del mundo están regulados bajo Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), por lo tanto se tomó como guía las normas de calidad vigentes en el país de Argentina, de acuerdo a su código alimentario, en el capítulo XI, Artículo 904, pág. 493 establece que la fruta desecada en el momento del empaque deberá cumplir con los siguientes parámetros:

Tabla IV- 22 Norma general para frutas deshidratadas

Microorganismos	Unidad	Límite de referencia
Humedad	g/100g	Máximo 25
Contenido de azúcar	g/100g	Sin referencia

Fuente: Código alimentario Argentino, 2018

4.9.2 Análisis microbiológico del producto

En la tabla IV-23, se muestra los resultados del análisis microbiológico de las rodajas de manzana liofilizada.

Tabla IV- 23 Análisis microbiológico de rodajas de manzana liofilizada

Parámetros	Método	Unidad	Resultado
Coliformes totales	NB 32003:02	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	NB 32006:2003	UFC/g	$<1,3 \times 10^3$ (*)

Fuente: CEANID, 2022

De la tabla IV-23, se muestra los resultados de los análisis microbiológicos que son: coliformes totales $<1,0 \times 10^1$, escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ y mohos y levaduras $<1,3 \times 10^3$.
(*): No se observa desarrollo de colonias.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación, se pueden dar las siguientes conclusiones.

- La manzana empleada en el proceso de deshidratación por liofilización es de la variedad Princesa producida en el municipio de Camargo, departamento de Chuquisaca donde los resultados de análisis fueron: fibra 0,71 %, grasa 0,22 %, hidratos de carbono 14,97 %, humedad 82,74 %, proteína total 0,96 % y valor energético 65,7 Kcal/100g.
- El análisis microbiológico de la manzana entera de la variedad Princesa tuvo los siguientes resultados: escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*), mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*), salmonella P/A/25 g y staphylococo aereus $<1,0 \times 10^1$ (*). Donde (*): no se observa desarrollo de colonias.
- De 40 g de rodajas de manzana se obtuvo un peso de 5,15 g de manzana liofilizada donde se realizó dos réplicas dando como resultado ahora un peso de 5,57 g y 5,32 g de manzana liofilizada. Concluimos que de 40 g de rodajas de manzana al 82,74 % de humedad se obtiene un peso medio de 5,35 g de manzana deshidratada por el método de liofilización.
- En el presente trabajo de deshidratado de rodajas de manzana por el método de liofilización se concluye que de 1000 g de manzana con una fracción comestible de 0,925 se obtiene 153,03 g de rodajas de manzana liofilizadas con un porcentaje de humedad en base húmeda del 7,89 %.
- De todos los experimentos realizados para la obtención de rodajas de manzana deshidratadas por el método de liofilización se eligió la A3 como muestra ideal debido a las diferencias significativas entre los tratamientos del presente trabajo de investigación.
- Los parámetros fisicoquímicos de las rodajas de manzana liofilizadas son: fibra 3,75 %, grasa 0,44 %, hidratos de carbono 78,02 %, humedad 15,06 %, proteína total 1,34 % y valor energético 321,4 Kcal/100g.

De acuerdo los resultados el producto obtenido cumple con la norma del código alimentario del país Argentina donde establece el límite de humedad en el momento de empaque es de 25 g/100g.

- El análisis microbiológico de las rodajas de manzana liofilizadas obtuvieron los siguientes resultados: coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*), escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*), mohos y levaduras $1,50 \times 10^3$. Donde (*): no se observa desarrollo de colonias.
- Se determinó que la muestra aceptada para fue la muestra A3, obteniendo mejores resultados en las siguientes condiciones: color (3,7); aroma (3,9); sabor (3,7); textura (4,5) y apariencia (4,2). Aplicando el análisis de Tukey, se estableció que la variable respuesta presenta significancia para dos factores: color y apariencia.
- De acuerdo al diseño factorial 2^2 aplicado en el proceso de deshidratado de la rodajas de manzana, se pudo establecer que para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ se puede observar que para los factores A (Tiempo de secado) y B (Espesor del corte) si existe diferencia significativa; sin embargo, en la interacción AB no existe diferencia significativa.

5.2 Recomendaciones

Las recomendaciones del presente proyecto realizado son las siguientes:

- Los rodajas de manzana deben ser cortadas lo más uniformemente posible con un cuchillo sobre una superficie plana debido a que el secado no se realizara de manera uniforme en toda el área de las rodajas de manzana y de igual forma los cortes de manzana no deberán tener un grosor mayor al de 3 mm con la finalidad de que el equipo liofilizador no funcione debido a su capacidad del mismo pudiendo ocasionar un sobre calentamiento.
- La velocidad de congelación y el tiempo son factores importantes que hay que tomar en cuenta durante el proceso de liofilizado, si se excede de temperatura menor al $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y tiempo mayor a 90 minutos se puede deteriorar al producto debido al rompimiento de las fibras de la manzana que provoca variaciones en las características de la manzana que pueden perderse como ser el color, olor, sabor, etc. por lo que se recomienda un congelado con una temperatura no menor al $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y no mantenerlo congelado por mucho tiempo debido para evitar el cambio de color del mismo, dependiendo del tamaño de la fruta a congelar el tiempo varía según el espesor del corte.
- Se recomienda tener en consideración las características como la capacidad de volumen del mismo y tiempo de trabajo del equipo liofilizador debido a que hay equipos aplicados para el sector farmacéutico, hacia la conservación de vacunas y medicinas que dan la posibilidad de modificar más parámetros como la presión, temperatura y tiempo facilitando el manejo del mismo equipo y dependiendo de la capacidad del mismo influirá en el tiempo de secado.