

# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

En Bolivia, el cultivo de yacón va en decremento debido a la pérdida de costumbres de consumo, la producción de este cultivo permanece en municipios alejados y principalmente para el auto consumo. El yacón forma parte de los grupos periféricos, en las comunidades de sud yungas en el municipio de Irupana los cultivos tradicionales como raíces y frutales están siendo reemplazados por otras plantaciones que es de consumo masivo. (Facultad de Agronomía, 2016)

En el departamento de Tarija el yacón llega a los mercados de diferentes lugares del departamento, las vendedoras del mercado campesino aseguran que la época de mayor producción de yacón empieza a partir del mes de marzo, ya que el mismo permanece a la venta hasta noviembre, o en algunos años hasta el mes de diciembre. (Rivera, 2015)

En el municipio de Uriondo la comunidad de Papachacra encabeza la producción de yacón, donde ellos pueden transformar esta raíz de yacón en subproductos como miel, licor, hojuelas, etc. Y otras comunidades pertenecientes a este municipio producen en cantidades menores. En el municipio de Entre Ríos la comunidad de Piedra Larga y Canaletas se caracterizan por producir bastante. El ciclo vegetativo del yacón ronda los seis meses aproximadamente, siendo una producción libre de químicos. (Hoyos, 2017)

Según (Plan de Desarrollo Municipal de San Lorenzo, 2013) en el municipio de San Lorenzo la producción de yacón es baja, donde una parte se destinan al consumo que permite diversificar la dieta alimentaria de los productores y por otra parte a la venta ya sea de forma directa en las ferias o en los principales mercados de San Lorenzo y Tarija. La comunidad de Erquis Ceibal produce yacón en mayor cantidad, pero no sobrepasan la cuarta hectárea de producción, al ser Erquis la cabecera de la cuenca tiene la ventaja de que los productos como ser el yacón están libres de contaminación, pues el agua es pura, los productos son orgánicos, sin pesticidas ni fertilizantes químicos. (Espinosa, 2019)

En Bolivia en estos últimos años se implementó plantas que producirán frutas liofilizadas estas, están ubicadas en Palos Blancos, en La Paz, y en Villa Tunari, en Cochabamba. Cada planta es administrada por la Empresa Boliviana de Alimentos y Derivados (EBA), donde el porcentaje de lo que se produce está destinado a la exportación, quedando poco porcentaje en Bolivia. También se anunció que en la Cumbre de Reconstrucción Económica y Productiva, realizada en Cobija, Pando, se propuso la construcción de una planta liofilizadora en esa región para el procesamiento de frutos amazónicos. (Flores, 2021)

## **1.2 Justificación**

- El yacón es una raíz que aporta con muchos beneficios para la salud, debido a que es rico en fibras solubles con efectos prebióticos y ejerce acción antioxidante al organismo, además es una forma de poder aprovechar la materia prima que existe en la región, donde esta raíz es de temporada o no se produce todo el año; por esta razón se pretende alargar su vida útil.
- Promover una alternativa de consumo del yacón en el mercado local, sabiendo que el mismo presenta propiedades nutritivas saludables debido a la presencia de fructosacaridos (FOS), que es un tipo de fibra soluble con efectos prebióticos, que ayudan a mejorar la salud gastrointestinal.
- Mediante el presente trabajo de investigación, se pretende dar valor agregado al yacón para ser consumido como rodajas deshidratadas por liofilización en épocas cuando no se disponga de esta raíz y que sea incorporado como sustituto de golosinas especialmente para niños y en snack saludables.
- Las rodajas de yacón liofilizadas serán otra opción de consumo en personas diabéticas, para los que tienen problemas de colesterol y triglicéridos, y para todas las personas que quieran incluir alimentos bajos en calorías en su dieta y llevar una mejor calidad de vida.

### **1.3 Objetivos**

Los objetivos planteados en el presente trabajo son:

#### **1.3.1 Objetivo general**

Obtener rodajas deshidratadas de yacón, mediante el proceso de liofilización a nivel experimental; con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas del yacón con la finalidad de conocer su composición nutricional.
- Aplicar un pretratamiento de ácido cítrico para el control del pardeamiento enzimático en las rodajas de yacón
- Establecer el tiempo y la temperatura de congelación de las rodajas de yacón para el proceso de liofilización.
- Aplicar diseño factorial  $2^2$  en la etapa de liofilización con la finalidad de establecer los factores que tienen mayor influencia en las muestras de rodajas deshidratadas de yacón.
- Realizar evaluación sensorial de las muestras del diseño factorial con el fin de elegir la muestra final.
- Caracterizar la composición fisicoquímica y microbiológica del producto terminado, con la finalidad de obtener un producto de calidad.
- Realizar el balance de materia y energía a nivel experimental en el proceso de obtención de rodajas de yacón.

#### **1.4 Objeto de estudio**

Aplicación del proceso de secado por liofilización para poder obtener rodajas deshidratadas de yacón.

### 1.5 Campo de acción

Para el presente trabajo de investigación, el campo de acción propuesto se detalla a continuación:

- **Espacial:** El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), provincia Cercado de Tarija.
- **Temporal:** El tiempo en que se desarrolló el presente trabajo de investigación fue entre las gestiones 2021- 2022.
- **Institución:** El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y en el laboratorio taller de alimentos LTA.

### 1.6 Planteamiento del problema

El yacón contiene un alto porcentaje de humedad, esto hace que sea un producto perecedero, esta raíz tiene poca demanda de consumo, debido a que se desconoce el valor nutricional que tiene el yacón para la salud. En el mercado de Tarija en épocas cuando hay mucha producción y al no ser transformado en subproductos causa pérdidas; por lo que no se cuenta con alternativas para poder alargar el tiempo de vida útil, por esta razón, se desea procesar y ofrecer al mercado rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización que logra disminuir la cantidad de agua que contiene el yacón por sublimación y logrando obtener un producto de calidad nutricional, para ser consumido como snack saludables durante todo el año y principalmente en épocas donde no se dispone de esta raíz y poder ofrecer una alternativa para personas diabéticas y para aquellas que llevan una dieta baja en calorías.

### 1.7 Formulación del problema

¿Se podrá obtener rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización a nivel experimental, con la finalidad de obtener el producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija?

## **1.8 Hipotesis**

El proceso de liofilización a ser aplicado a nivel experimental para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón, permitirá obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Origen de frutas liofilizadas**

La tecnología de liofilización tiene sus raíces en la refrigeración. También podría llamarse crio-deseccación en razón de su fase inicial de congelación. Una referencia histórica sobre los primeros trabajos de Louis Pasteur y otros investigadores durante la segunda mitad del siglo XIX, observaron la necesidad de innovar las técnicas de secado con el fin de preservarlos sin destruirlo. También resulto claro que necesitaban medios para hacer más lentas las reacciones químicas de modo que pudieran ser estudiadas durante un periodo de tiempo. (Ramírez, 2006)

## **2.2 Definición de frutas deshidratadas mediante el proceso de liofilización**

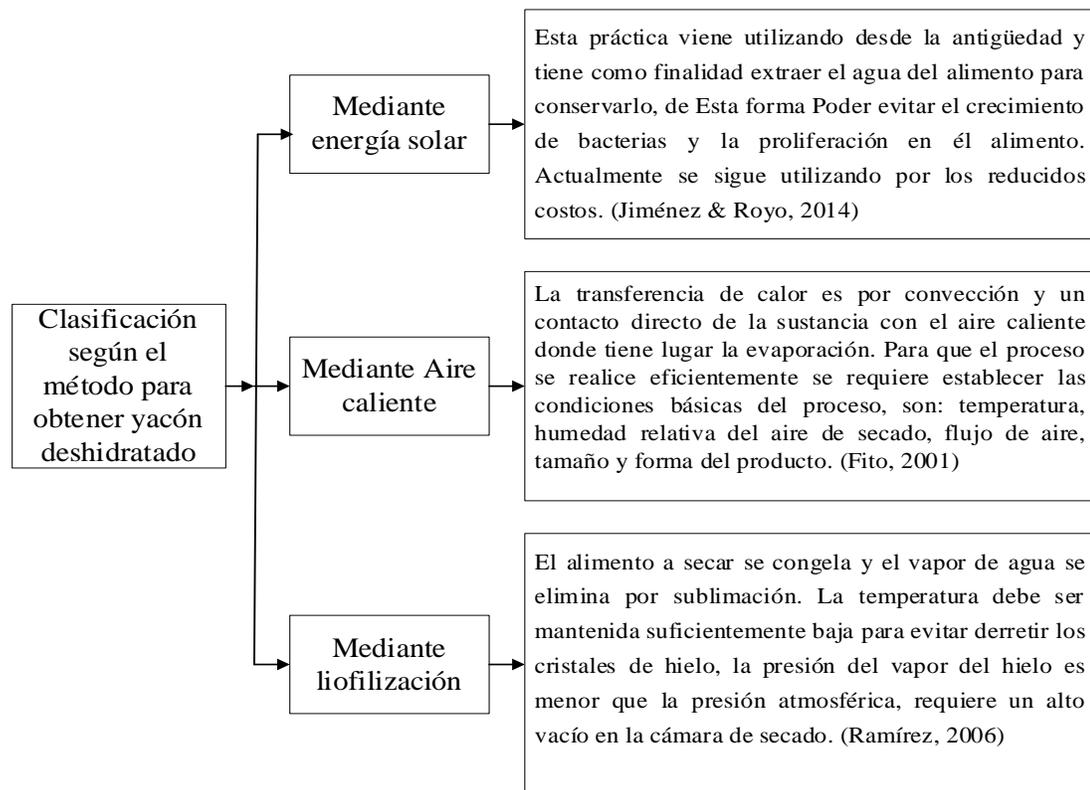
Según el (CODEX STAN 192-1995) se define como frutas liofilizadas a todas las frutas que se han eliminado el agua para impedir la proliferación microbiana. Comprende frutas desecadas ya sea en rodajas, cubos, etc. También los purés preparados de frutas (Pág. 20).

También Orrego (2008) define: “Como un proceso de secado mediante sublimación, con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado” (Pág. 49)

La liofilización permite extraer más del 95% del agua contenida en el alimento, donde el alimento se convierte en una estructura rígida que conserva el peso y el volumen, pero con peso reducido, preservando sus características nutritivas y organolépticas. Al rehidratarlo se recuperan la textura, el aroma y el sabor original. (Parzanece, 2003)

## **2.3 Clasificación del yacón deshidratado**

La clasificación del yacón deshidratado, según el método que se utiliza para la obtención tenemos por calor y frio. En la figura 2.1, se describe la clasificación del yacón deshidratado.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 2.1:** Clasificación según el método para obtención de yacón deshidratado.

#### 2.4 Aplicaciones de las frutas deshidratadas por liofilización para el ser humano

Las frutas liofilizadas están dentro de las “mega tendencias” consideradas como un producto saludable que puede consumirse en cualquier momento del día, no necesitan cocción y están a disposición durante todo el año. A la vez, la fabricación de dicho alimento permitirá incentivar la ingesta de las frutas y de esta manera se procurará disminuir la obesidad infantil y el riesgo de contraer enfermedades asociadas al elevado consumo de grasas y carbohidratos que actualmente se presentan en la población. (Delmoro & Clementz, 2011)

- **En snacks nutritivos.** - los Snacks resultan ser un tremendo aporte para las personas que viven exigentes y agitadas rutinas. Se trata de alimentos que en general se consumen entre las principales comidas del día, y dado que son

cómodos de llevar y de consumo inmediato, acompañan a jóvenes y adultos en sus jornadas universitarias y/o laborales, en el gimnasio, en paseos y trayectos, entre otras jornadas cotidianas (Bustos, 2016).

## **2.5 Caracterización del yacón como materia prima para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.**

Se describe el yacón como materia prima que se utilizó para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización.

### **2.5.1 El yacón**

El yacón es una planta herbácea perenne, sus raíces son reservantes o tuberosas que tienen un sabor dulce y agradable, por fuera estas raíces presentan una coloración purpúrea, opaca a cremosa y por dentro un cuerpo carnoso anaranjado a cremoso transparente, las raíces son gruesas de forma fusiforme ovalada y tienen cascara delgada y muy adherida a la pulpa (Sanz et al.; 2016).

### **2.5.2 Características botánicas de la planta del yacón**

El nombre botánico del yacón es *Smallanthus sonchifolius*, pertenece a la familia botánica de las Compuestas o Asteráceas. Es una planta herbácea, erecta, que puede llegar a medir desde 0,7 hasta 2 metros de altura, con pocas o muchas ramas (Valderrama, 2005). En la figura 2.2, se muestra la planta de yacón.



**Fuente:** Seminario et al., 2003

**Figura 2.2:** Planta de yacón

A la planta de yacón se describe según (Valderrama, 2005), de la siguiente manera:

- **Raíces:** Produce principalmente raíces reservantes, engrosadas, fusiformes u ovadas que almacenan azúcares en forma de fructooligosacáridos (FOS), un tipo especial de azúcares con atributos beneficiosos para la salud humana. Son los órganos de interés económico, y exteriormente son de color crema, blanquecino o púrpura.
- **Tallos:** Son cilíndricos, algo huecos como cañas y con pilosidad. Son de color verde o pigmentados de púrpura.
- **Hojas:** Son enteras y con peciolo, su borde es por lo general dentado; la lámina tiene forma triangular con la base hastada.
- **Flores:** Está compuesto por dos tipos de flores: a) Las femeninas se ubican alrededor del capítulo, son de color amarillo intenso o anaranjado pálido y b) Las masculinas están muy juntas, en mayor número y ocupan el centro del capítulo.

### 2.5.3 Composición fisicoquímica del yacón

El valor nutritivo del yacón está en su contenido de fibra dietética y de los fructooligosacáridos, (FOS) un compuesto funcional del grupo de los prebióticos. Se trata de un componente de sabor dulce pero que no es digerido, ni absorbido por el organismo, el que más bien lo elimina, y por lo tanto es apto para las personas con diabetes. Además, el yacón contiene fenoles los que pueden paulatinamente reducir el contenido de azúcar en la sangre. (Tapia & Fries, 2007)

En la tabla 2.1, se muestra la composición fisicoquímica del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en 100 gramos de porción comestible.

**Tabla 2.1***Composición fisicoquímica del yacón*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Energía	54,00	Kcal
Agua	86,60	g
Proteína	0,30	g
Grasa	0,30	g
Carbohidrato	10,50	g
Fibra	0,50	g
Ceniza	0,30	g
Calcio	23,00	mg
Fosforo	21,00	mg
Hierro	0,30	mg

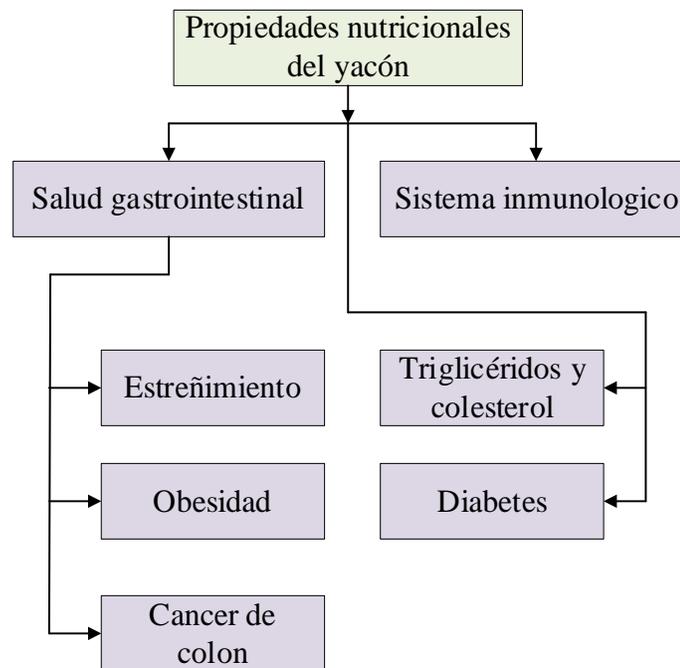
**Fuente:** Carbajal, 2019

#### **2.5.4 Propiedades nutricionales del yacón**

Su gran valor nutricional se asocia a la presencia de fructoolisacaridos, tipos especiales de azúcares que no elevan el nivel de glicemia en la sangre. Los fructoolisacaridos (FOS) son una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos, donde desde el punto de vista nutricional se reconoce a los FOS y a la inulina como los más portantes. La diferencia entre los FOS y la inulina radican en el número de moléculas que tienen estas cadenas. (Muñoz et al.; 2014)

A pesar de ello la inulina y los FOS generan casi el mismo efecto fisiológico en las personas que lo consumen. Proporcionan tan solo la cuarta parte del valor calórico de los carbohidratos comunes, son conocidos como fibra dietética y se emplean como insumos para la elaboración de alimentos funcionales. (Muñoz et al.; 2014)

En la figura 2.3, se muestra las propiedades nutricionales del yacón



**Fuente:** Seminario et al., 2003

**Figura 2.3:** Propiedades nutricionales del yacón

Propiedades del yacón según (Seminario et al., 2003), suelen ser:

- **Salud gasto intestinal.** - En La micro flora intestinal solo los prebióticos pueden fermentar los FOS, esta es la razón por lo cual los fructanos son considerados reconstituyentes de la micro flora intestinal. Los probióticos han sido asociados con una serie de propiedades benéficas.
- **Estreñimiento.** - Algunos estudios realizados han demostrado que el consumo de fructanos incrementa la frecuencia de deposiciones y el volumen de la masa fecal, ambos parámetros ligados a una disminución del estreñimiento. En la actualidad con la evidencia científica disponible, se ha reconocido que los Fructoolisacaridos pueden generar un efecto laxante que puede ayudar a las personas con estreñimiento.
- **Obesidad.** - Una forma de prevenir y revertir el sobre peso es sustituir en las comidas aquellos alimentos de alto contenido calórico por otros de menor contenido, el yacón tiene mucho menos calorías que la mayoría de los alimentos

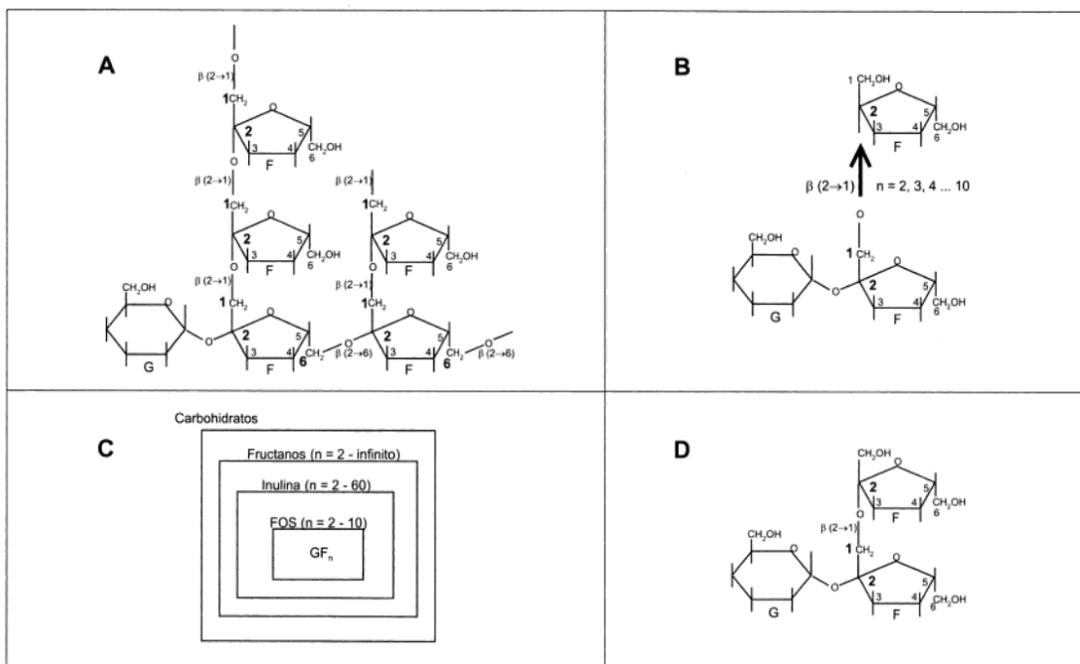
que se conocen, por lo que puede considerarse un alimento alternativo para el control del sobre peso y obesidad.

- **Sistema inmunológico.** - Los FOS tienen un efecto fortalecedor en su sistema inmunológico. El efecto de los fructanos es indirecto, es decir a través de la estimulación de los probióticos.
- **Triglicéridos y colesterol.** – El consumo de FOS reducen de modo significativo el nivel de colesterol y triglicéridos en la sangre. Pero se requiere más estudios adicionales para determinar el verdadero efecto de los fructoolisacaridos.
- **Diabetes.** - El yacón podría representar una excelente alternativa en el diseño de dietas hipocalóricas para diabéticos por su reducido contenido calórico, donde se han reportado que los FOS pueden tener efectos positivos en las personas diabéticas de tipo 2, los parámetros sanguíneos en cuanto a nivel de colesterol e índice glicémico mejoran significativamente.

#### 2.5.4.1 Los fructoolisacaridos

Los fructoolisacaridos (FOS), pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos. La estructura fundamental de los fructanos es un esqueleto de unidades de fructosa unidas entre sí por glucosídicos  $\beta$  (2  $\rightarrow$  1) y/o  $\beta$  (2  $\rightarrow$  6) es frecuente encontrar, adicionalmente una molécula de glucosa al inicio de la cadena de cada fructanos. La inulina y los FOS no tienen una composición química definida y que ambos son, en realidad, una mezcla de fructanos de diferente tamaño, Debido a que las moléculas de fructosa se unen exclusivamente por enlaces  $\beta$  (2  $\rightarrow$  1) estos fructanos adquieren una conformación espacial semejante a cadenas lineales. La diferencia entre los FOS y la inulina radica en el número de moléculas de fructosa que tienen estas cadenas, En la inulina este número varía entre 2 y 60, mientras que en los que tienen cadenas más pequeñas, el número varía entre 2 y 10. (Seminario et al., 2003)

En la figura 2.4, se muestra la estructura de los fructanos que se detalla a continuación:



**Fuente:** Seminario et al., 2003

**Figura 2.4:** Estructura de los fructanos

En la figura 2,4 se muestra la estructura de fructanos que se describe a continuación:

**A.** Los fructanos pueden polimerizar miles de moléculas de fructosa (FOS) utilizando enlaces glucosídicos  $\beta(2 \rightarrow 1)$  o  $\beta(2 \rightarrow 6)$ , lo que permite la conformación espacial de estructuras ramificadas. **B.** Información detallada de la composición química de los FOS: Entre 2 a 10 moléculas de F unidas por enlaces  $\beta(2 \rightarrow 1)$ . **C.** La inulina y los FOS tienen en su estructura sólo enlaces  $\beta$ . Se diferencian únicamente en el número de moléculas de F dentro de sus cadenas. En la inulina puede haber hasta 60 moléculas de F, mientras. **D.** Estructura química del oligofructano más sencillo que se conoce. (Seminario et al., 2003)

## 2.6 Usos y aplicaciones del yacón para el ser humano

Tapia & Frías (2007) afirman “que algunos productores de yacón suelen moler las raíces para exprimir el jugo y hacerlo hervir hasta espesarlo y de esta manera obtener un jarabe que lo usan para endulzar las mazamoras y otras comidas” (Pág. 142).

El yacón también se emplea como materia prima para poder obtener nuevos productos que se describen a continuación según (Seminario et al, 2003), como ser:

- **Jarabe de yacón.** - el jarabe de yacón es un concentrado denso y dulce que se obtiene al evaporar suficiente agua del jugo de yacón, de tal modo que la concentración de sólidos solubles se eleve hasta un valor aproximado de 70%.
- **Pasas de yacón.** - son resultado de un proceso de deshidratación de las raíces al medio ambiente.
- **Hojuelas de yacón.** - son rodajas deshidratadas en un horno a temperatura controlada.

## **2.7 Aditivos alimentarios**

El aditivo que se utilizó para el pretratamiento de rodajas de yacón fue el ácido cítrico.

### **2.7.1 Ácido cítrico (E-330)**

Es un aditivo de amplio espectro, presente naturalmente en las frutas cítricas. Tiene un papel vital en el metabolismo, durante el ciclo de producción de energía a partir de los alimentos. En la industria alimenticia se utiliza como aditivo (acidulante y antioxidante). Previene la turbidez, ayuda en la retención de la carbonatación, potencia los conservantes, confiere sabor "frutal" característico, prolonga la estabilidad de la vitamina C, reduce los cambios de color, realza los aromas y tampona el medio (Agrolab, 2018).

#### **2.7.1.1 Aplicaciones del ácido cítrico**

En el presente trabajo de investigación el ácido cítrico, se utilizó para el pretratamiento de las rodajas de yacón antes de ser liofilizadas, se utilizó para neutralizar el oscurecimiento por oxidación; porque el pardeamiento es un efecto indeseable que se presenta en las rodajas de yacón (Muñoz et al., 2014).

También el ácido cítrico se utiliza principalmente en la industria alimentaria debido a su agradable sabor ácido y su alta solubilidad en agua, se utiliza principalmente en quesos, productos alimenticios a base de cacao y chocolates, zumos de frutas, productos congelados, mermeladas, bebidas refrescantes, enlatados y otros. El uso de

compuestos acidulantes en la conservación y mejora de propiedades organolépticas en alimentos es extenso, en particular, los ácidos que contienen uno o más carboxilos son aditivos alimentarios importantes. (Muñoz et al., 2014).

### **2.7.2 El ácido ascórbico**

El ácido ascórbico evita el oscurecimiento de la fruta troceada porque actúa como un antioxidante, los antioxidantes retrasan la alteración oxidativa del alimento, pero no lo evitan de una forma definitiva, es más, el uso de antioxidantes en cantidades o en condiciones inadecuadas puede incluso acelerar la oxidación. También el ácido ascórbico evita la corrosión de los envases metálicos e inhibe la formación de nitrosaminas (Ibáñez et al.; 2003).

#### **2.7.2.1 Aplicaciones del ácido ascórbico**

La adición de ácido ascórbico como antioxidante nos permite hacer un uso publicitario del enriquecimiento en vitamina C del alimento su uso en la industria alimentaria es en confituras, mermeladas, zumos y néctares y también para el pretratamiento de frutas en trozos, donde la finalidad es evitar el oscurecimiento de la misma (Ibáñez et al.; 2003).

### **2.8 Proceso de conservación de alimentos basado en la reducción de la cantidad de agua en el alimento**

La presencia de agua en los alimentos contribuye de forma importante a su deterioro, por lo tanto, la disminución del contenido de agua en un alimento reduce la posibilidad de su alteración biológica y también, de forma apreciable, las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Los procesos de conservación basados en la reducción del contenido de agua tienen como objetivo principal la prolongación de la vida útil de los alimentos, la eliminación de agua permite disminuir considerablemente el peso de los mismos, lo cual consigue ahorros importantes en el almacenamiento y en el transporte de los alimentos (Casp & Abril, 2003).

### **2.9 Deshidratación por liofilización**

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. Se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en

los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado. El proceso de liofilización consta principalmente de dos pasos; el primero consiste en congelar el producto y en el segundo paso el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida. (Orrego, 2008)

Durante este proceso hay absorción de calor y hay que evitar que la mezcla supere la temperatura eutéctica, a fin de que durante todo el proceso permanezca en estado sólido. Procediendo de este modo los productos orgánicos termolábiles conservan sus propiedades indefinidamente y recuperen su forma y estado primitivo al hidratarlos. En los estudios biológicos la liofilización supone el poder conservar indefinidamente cepas de bacterias y virus sin necesidad de resiembras, etc. (Ramirez, 2006)

### **2.10 Transferencia de calor y transferencia de masa durante la sublimación**

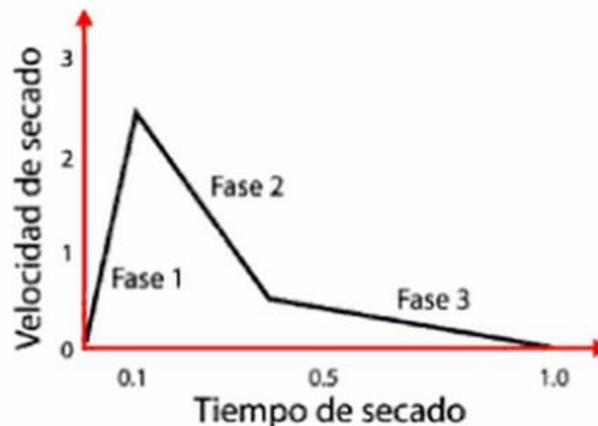
Los perfiles de temperatura y humedad dentro del alimento durante la liofilización dependen de los coeficientes de la transferencia de calor y de masa. El calor debe transferirse desde el producto al frente de sublimación, que es la línea que indica el límite entre el producto congelado y el producto seco. Dependiendo de la fuente de calor, la transferencia de calor puede tener lugar a través de la capa deshidratada o a través de ambas. Cuando se produce la sublimación del hielo, el vapor de agua toma el camino hacia la superficie por algún mecanismo de transferencia de masa, lo cual depende, como se ha indicado antes, de la estructura del producto deshidratado por congelación. (Casp & Abril, 2003)

### **2.11 Operaciones en el proceso de liofilización**

El proceso de liofilización comprende de etapas que se describen a continuación.

#### **2. 11.1 Etapas o fases de la liofilización**

Cuando se realiza el secado mediante la liofilización, se distinguen tres fases o etapas que se esquematizan en la figura 2.5.



**Fuente:** Ramírez, 2006  
**Figura 2.5:** Fases de liofilización

Fases de la liofilización según (Casp & Abril, 2003) son:

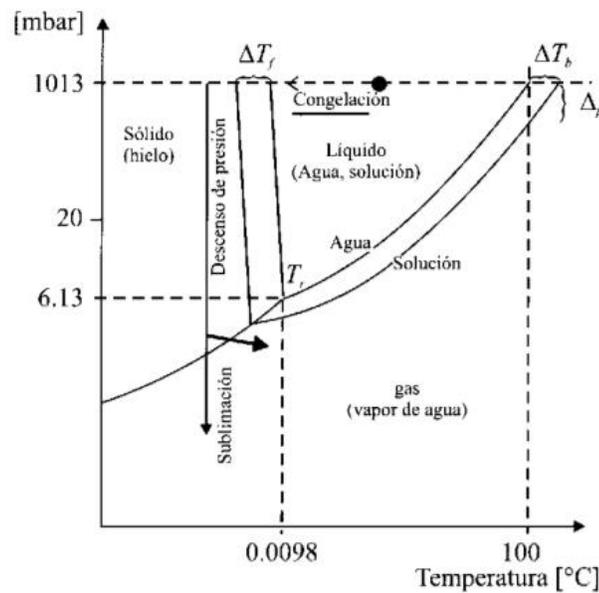
1. **Fase de congelación:** hasta la temperatura en la que el material está completamente sólido, que será inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ . con el fin de conseguir una estructura porosa en los alimentos secados por liofilización. La red de cristales de hielo formada durante la congelación es importante para los pasos siguientes.
2. **La fase de sublimación, también llamada “desección primaria”:** en la que se elimina alrededor del 90% del agua, lo que lleva al producto a una humedad del orden del 15%. Se elimina el hielo libre.  
 Se muestra un descenso importante de la velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor a medida que procede el secado.
3. **La fase de desorción o “desección secundaria”:** que elimina el 10% de agua ligada restante, con lo que se puede llegar hasta productos de una humedad del 2%. Esta fase consiste en una vaporización a vacío, a una temperatura positiva de  $20$  a  $60^{\circ}\text{C}$ . La velocidad de sublimación continúa decreciendo de forma que se aproxima a cero. Esto debido a que el calor necesario para retirar el agua

ligada es más alto que el calor de sublimación. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña, es posible en esta etapa incrementar la temperatura de la calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C, dependiendo del material que se trate.

### 2.11.2 El secado primario de los alimentos

En el secado primario el hielo se separa de la muestra mediante sublimación desde la fase sólida a la fase gaseosa. Mientras se disponga de un sistema que constantemente retire este vapor, el proceso de sublimación continua hasta que se agote el hielo presente. La fuerza impulsora que mantiene la sublimación es el gradiente de presión de vapor entre la superficie congelada del producto y el condensado (Alzate,2008)

En la figura 2.6 se muestran los pasos que se siguen en un proceso de liofilización en un diagrama temperatura- concentración.



**Fuente:** Alzate, 2008

**Figura 2.6:** Proceso de liofilización en un diagrama temperatura-concentración

Donde:

$\Delta T_f$  = Descenso del punto de fusión

$\Delta p$  = Descenso de la presión de vapor

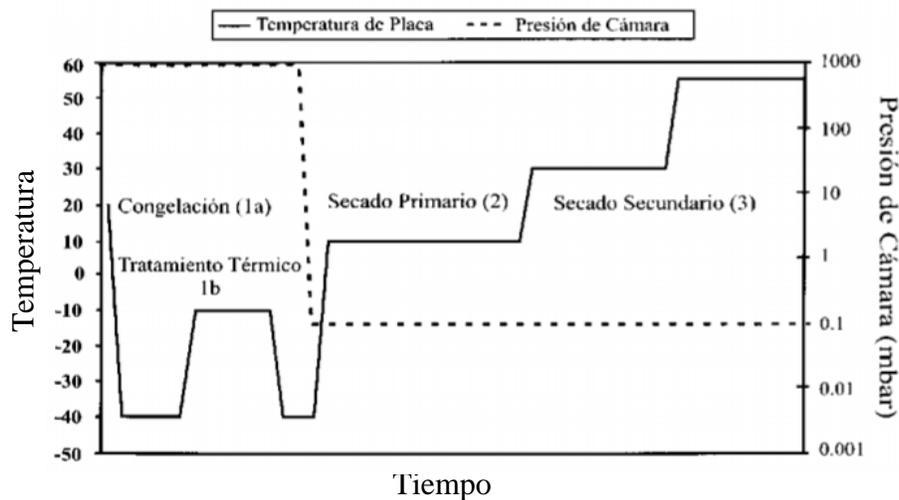
$\Delta T_h$  = Aumento del punto de ebullición

$\Delta T_r$  = Punto triple

### 2.11.3 El secado secundario de los alimentos

Las porciones remanentes de agua no congelada, que no subliman en la primera etapa de secado, lo hacen por vaporización en la segunda etapa al incrementarse la temperatura de vapor de matriz del alimento. Las partes secas de la muestra que se liofiliza pueden comenzar su estado secundario, aunque haya presencia en el alimento del hielo que sublima en fase primaria, mientras estas dos fases coexistan, y debido a que el hielo que sublima enfría la estructura permanece controlada a la temperatura del alimento. Cuando desaparece la última porción de hielo se presenta el incremento de la temperatura. (Alzate, 2008)

En la figura 2.7 se muestra el ciclo de liofilización.



**Fuente:** Alzate, 2008

**Figura 2.7:** Historia térmica de un proceso de liofilización

### 2.12 Contenido de humedad de los alimentos

El agua contenida en un alimento, ya sea de origen animal o vegetal, está más o menos “disponible” para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas. Esta

“disponibilidad” varía de un producto a otro según la composición de cada alimento, algunas estructuras o moléculas retienen más agua que otras; varía incluso para un mismo producto, un fruto maduro no se comporta de la misma forma que un fruto verde. (Rembalo & Sceni, 2009)

## **2.13 Variables que influye en la liofilización**

Las variables que influyen en la liofilización de los alimentos son las siguientes:

### **2.13.1 Tamaño del alimento**

Dependiendo del tipo de hortaliza o fruta con la que se esté trabajando se toma en cuenta el tamaño de la fruta que se va a liofilizar, donde se hace el troceado, cortado en rodajas o pinchado del mismo, por lo cual se favorecerá el efecto de la sublimación y la rehidratación posterior (Casp & Abril, 2003)

### **2.13.2 Congelación de alimentos**

La congelación es el proceso de preservación originado por la reducción de la temperatura por debajo de aquella en la que se comienzan a formar cristales en un material alimenticio y si la sustancia es pura antes de iniciar la congelación puede existir un ligero subenfriamiento seguido de un incremento de temperatura hasta el punto de congelación del material, como operación previa a la liofilización. Influye determinadamente en las características tales como ser color y la densidad del producto final, así en la velocidad de sublimación. (Orrego, 2008)

### **Propiedades importantes de la congelación**

- **Temperatura inicial de congelación:** durante la congelación del agua en un alimento, inicialmente solo aparecen los cristales de hielo puro, esto ocurre a la temperatura de inicio de congelación, a medida que prosigue la congelación llega a un momento donde ya empiezan a formarse cristales de soluto + agua en cierta concentración llamada eutéctica. (Orrego, 2008)

### **2.13.3 Presión de liofilización**

La presión es fuerza que ejerce un fluido por unidad de área. La curva de presión de vapor para hielo y para agua describen la transición de fase en función de la presión y la temperatura. A mayor temperatura mayor presión de vapor. A 6,11 mbar y 0,0098°C la curva de presión de fusión y la curva de presión de vapor y la curva de presión de sublimación se encuentran en un punto llamado punto triple, si la presión de vapor es inferior a 6,11 mbar y se agrega energía al hielo se convertirá directamente en vapor de agua una vez que alcance la curva de sublimación, esta transición se llama sublimación (Casp & Abril, 2003)

### **2.14 Características en un producto liofilizado**

Por medio de la liofilización se puede extraer más del 95% del agua contenida en un alimento, lo que se traduce en un gran beneficio con relación al costo del transporte, ya que permite cargar mayor cantidad de mercadería sin necesidad de cadena de frío (se logra un producto más estable microbiológicamente). Al finalizar el proceso de liofilización, el alimento se convierte en una estructura rígida que conserva la forma y el volumen, pero con peso reducido, preservando sus características nutritivas y organolépticas. Al rehidratarlo se recuperarán la textura, el aroma y el sabor original. Según (Parzanece, 2003) tenemos las siguientes ventajas y desventajas:

#### **Ventajas de la liofilización**

- Valorización y potenciación de las producciones primarias.
- Ausencia de temperaturas altas, por lo que previene el daño térmico.
- Conservación, fácil transporte y almacenamiento de los productos.
- Inhibición del crecimiento de microorganismos, estabilidad microbiológica.
- Recuperación de las propiedades del alimento al rehidratarlo.
- Ausencia de aditivos y/o conservantes.
- Mantenimiento del valor nutricional del alimento.
- Empleo de vacío, estabilidad química.

### **Desventajas de la liofilización**

- Largo tiempo de procesamiento.
- Alto consumo de energía, en algunos casos.
- Costo de inversión inicial alto.

### **2.15 Almacenamiento del producto liofilizado**

Los productos liofilizados y adecuadamente empacados pueden ser guardados por largos periodos de tiempo ya que en buena medida retiene las propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas de sus estados frescos de las frutas. La degradación enzimática es evitada por la rápida transmisión de alto o bajo contenido de humedad. El uso de bajo de rangos de temperatura también evitara la desnaturalización de proteínas en productos liofilizados. (Ramírez, 2006)

### **2.14 La rehidratación de productos liofilizados**

La habilidad para una rápida rehidratación es una de las cualidades más distintivas de los productos liofilizados, y es un factor que demuestra la superioridad de este método sobre otros métodos de secado, antes de aplicar rehidratación a alimentos deshidratados, se deben conocer las características del alimento en su estado fresco y deshidratado, ya que las propiedades físico-químicas, mecánicas, sensoriales y nutricionales, no cambian de un producto fresco a deshidratado, de tal manera que estos factores determinan el comportamiento de los alimentos en el proceso de rehidratación (Ramírez, 2006).

**CAPÍTULO III**  
**DISEÑO**  
**EXPERIMENTAL**

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

La parte experimental del trabajo de investigación “Obtención de rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización” se realizó en los laboratorios: (LACIA) Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos y en el (LTA) Taller de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **3.2 Tipo de intervención del trabajo de investigación a nivel experimental**

Para el presente trabajo de investigación “obtención de rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización” se utilizó la metodología experimental a nivel laboratorio en base a los siguientes aspectos:

- Análisis de los parámetros físicos del yacón.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del yacón.
- Análisis organolépticos de las muestras deshidratadas de rodajas de yacón.
- Análisis factorial de  $2^2$  en el proceso de liofilización de las rodajas de yacón.
- Método de análisis fisicoquímico de rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización.
- Análisis microbiológico de rodajas deshidratadas por liofilización de yacón.
- Operacionalización de las variables dependiente e independiente del proceso de liofilización.

### **3.3 Paradigma investigativo**

Se define como una concepción del objeto de estudio de una ciencia, de los problemas para estudiar de la naturaleza de sus métodos y de la forma de explicar, interpretar o comprender según el caso los resultados de la investigación realizada. En conjunto el paradigma define lo que constituye la ciencia legítima para el conocimiento de la realidad a la cual se refiere (Cerdeña, 2011). Según (Hernández et al., 2018) afirman. “Es evidente que según el paradigma que se adopte, este va a condicionar los procedimientos de estudios que se siguen en la investigación” (Pág. 33).

### **3.3.1 Paradigma positivista**

Este paradigma plantea que existe una realidad que puede ser estudiada y conocida, que es objetiva e independiente de la mente humana. En este paradigma, el método científico conlleva el empleo de procedimientos ordenados, rigurosos y disciplinados que buscan dar respuesta a la naturaleza del problema ordenado (Borda, 2016). Entre las características que tiene este paradigma, desde un punto de vista metodológicos destacan, significativamente, la utilización de métodos y técnicas válidos y confiables, el procesamiento estadístico para un análisis objetivo y riguroso de los datos, la posibilidad de generalizar los resultados y el distanciamiento del investigador en la relación sujeto – objeto (Hernández et al., 2018).

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

La investigación cuantitativa se basa en derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado, donde se identifica el problema y se busca aportar a la solución del problema identificado a través de la investigación que se realiza, tiende a generalizar y normalizar resultados. (Hernández, 2016). El enfoque cuantitativo parte de identificar y formular un problema científico, y una revisión de la literatura a fin al tema, con la que se construye un marco teórico-referencial; y sobre la base de esos dos aspectos se formulan hipótesis de investigación; se precisan las variables fundamentales de la investigación, las que son definidas conceptual y operacionalmente. (Torres, 2016)

### **3.5 Métodos – técnicas e instrumentos**

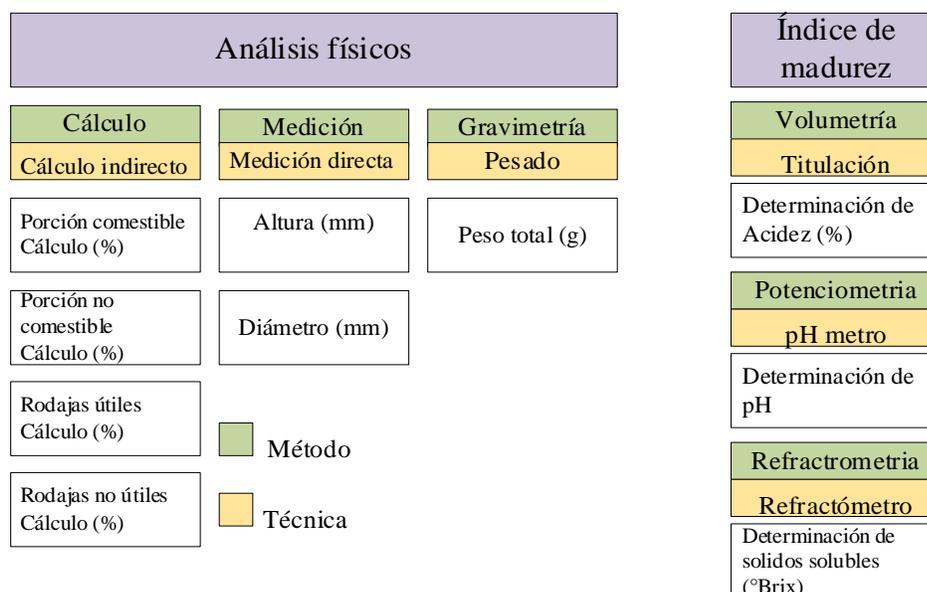
El método y la técnica se consideran métodos orientados para lograr un fin, hacen referencia a los procedimientos para lograr. Se entiende por método, al conjunto de pasos ordenados y de las secuencias, los cuales se siguen para obtener un resultado. Por otro lado, la técnica hace referencia a la manera en que se aplica el método y por tal motivo se considera un procedimiento más específico (Mar et al.; 2020).

Según (Morles, 2002) “metodología se refiere al cómo, es decir, a la definición, o descripción, de los pasos formales y medios para lograrlo, mientras que el propósito de la Técnica es encontrar o crear la solución real, objetiva, concreta y óptima” (Pág. 4).

Los métodos y técnicas que se aplicó para la obtención de resultados experimentales del presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

### 3.5.1 Métodos y técnicas de los análisis físicos e índice de madurez del yacón

En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas que se realizaron para los parámetros físicos e índice de madurez del yacón.

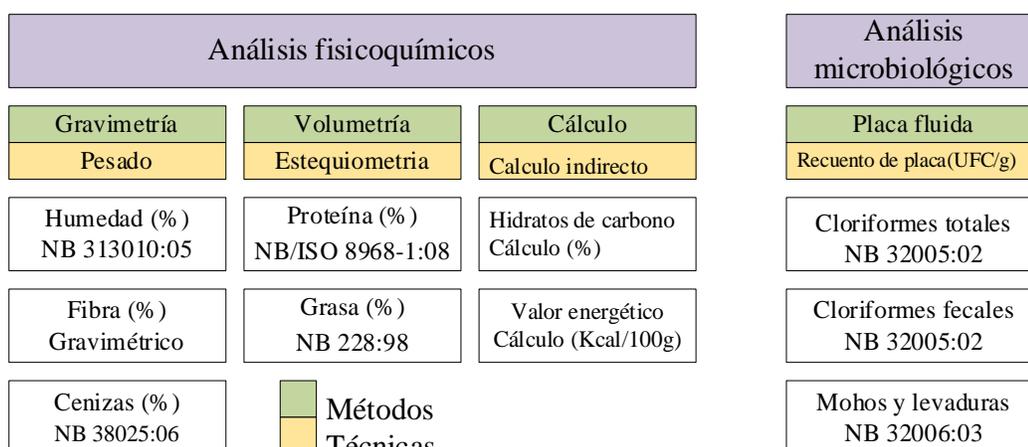


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.1:** Parámetros físicos del yacón

### 3.5.2 Métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del yacón

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del yacón se realizaron en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; donde se tomaron en cuenta los parámetros que se muestran en la figura 3.2

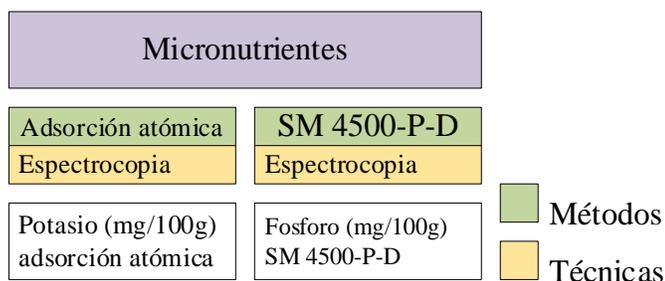


**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.2:** Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del yacón

### 3.5.2.1 Métodos y técnicas de los micronutrientes del yacón

En la figura 3.3, se muestran los métodos y técnicas que se realizaron para el análisis de micronutrientes del yacón, las cuales fueron realizadas en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

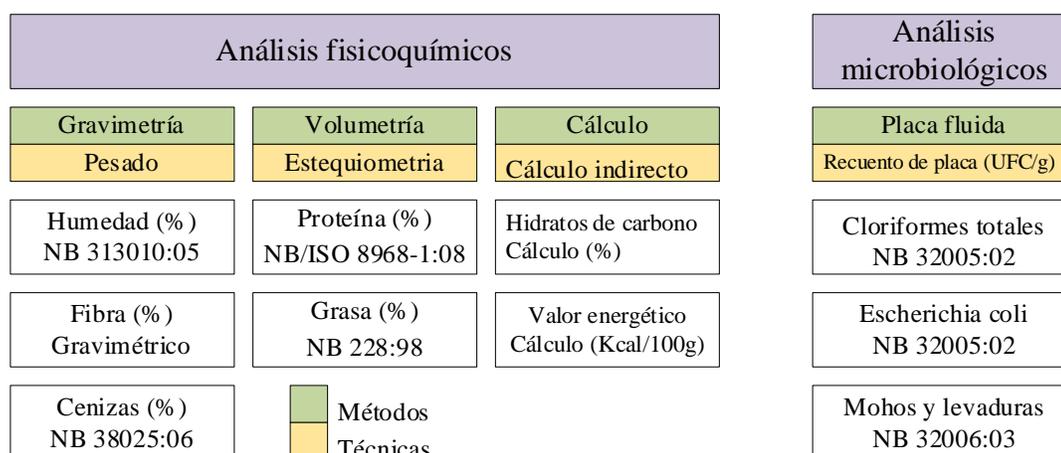


**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.3:** Métodos y técnicas de los micronutrientes del yacón

### 3.5.3 Métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

En la figura 3.4, se muestran los métodos y técnicas que se realizaron para el análisis de las propiedades fisicoquímicos y microbiológicos de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, las cuales fueron realizadas en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

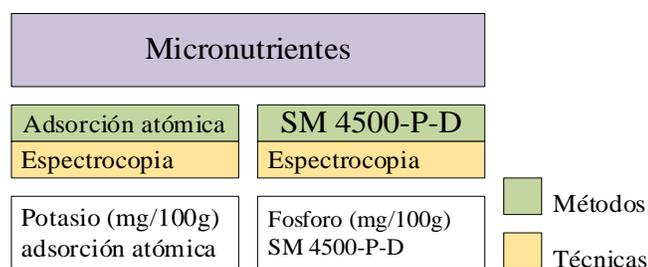


**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.4:** Parámetros fisicoquímicos del producto terminado

### 3.5.3.1 Métodos y técnicas de los micronutrientes de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

En la figura 3.5, se muestran los métodos y técnicas que se realizaron para el análisis de micronutrientes de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, las cuales fueron realizadas en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.5:** Métodos y técnicas de los micronutrientes de rodajas deshidratadas de yacón

### 3.6 Equipos, instrumentos y material de laboratorio

A continuación, se detallan los equipos, instrumentos y material de laboratorio que se utilizaron para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón mediante del proceso de liofilización.

### 3.6.1 Equipos

Los equipos que se utilizaron para la obtención de rodajas liofilizadas de yacón mediante el proceso de liofilización, se muestra en la figura 3.6 (Anexo G.1)

Liofilizador	Mandolina
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serie: 25607</li> <li>• Marca: CHRIST</li> <li>• Presión máx.: 25 bar</li> <li>• Temperatura máx.: 120°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca; Tupperware</li> <li>• Tipo de corte: 1 a 9 mm</li> <li>• Cuchillas: acero inoxidable</li> </ul>
Envasadora	Bomba
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Alfonsin</li> <li>• Industria: Boliviana</li> <li>• Tensión: 220 V</li> <li>• Potencia total: 500 W</li> <li>• Termonizador; 0 a 10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Vacuubrand</li> <li>• Industria: Alemania</li> <li>• Tensión: 230 V</li> </ul>

Equipos  
 Especificaciones

**Fuente:** LACIA, 2022  
**Figura 3.6:** Equipos

### 3.7.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo de investigación están descritos en la figura 3.7 (Anexo G.2)

Balanza de analítica	Refractómetro digital	Termobalanza
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo: PS 4500 R2</li> <li>• Marca: RADWAG</li> <li>• Peso máximo: 4500 g</li> <li>• Peso mínimo: 0,5 g</li> <li>• Error: 0,1g</li> <li>• Industria: Polonia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo: DR301-95</li> <li>• Marca: KRUSS</li> <li>• Rango: 0 – 95 °Brix</li> <li>• Peso mínimo: 0,5 g</li> <li>• Precisión: ±0,1</li> <li>• Rango de temperatura: 0-40°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo: PM 60.3Y.WH</li> <li>• Marca: RADWAG</li> <li>• Capacidad máxima: 60 g</li> <li>• Temperatura máxima: 250 °C</li> <li>• Industria: Polonia</li> </ul>
Bureta digital	pH metro	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo: Digitrate Pro</li> <li>• Marca: JENCONS</li> <li>• Capacidad máxima: 50 ml</li> <li>• Precisión: ±0,2 %</li> <li>• Rango: 0,01 a 50ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo: LAQUA PH1300</li> <li>• Marca: HORIBA</li> <li>• Rango: -2.00 a 19.99 pH</li> <li>• Precisión: 0,003</li> <li>• Rango de temperatura: -30.0–130°C</li> </ul>	

Instrumentos de laboratorio  
 Especificaciones

**Fuente:** LCIA, 2022  
**Figura 3.7:** Instrumentos de laboratorio

### **3.6.3 Materiales y utensilios de laboratorio**

Los materiales y utensilios de laboratorio que se utilizaron para realizar el presente trabajo fueron:

#### **3.6.3.1 Materiales de laboratorio**

Los materiales de laboratorio que se utilizaron para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización (Anexo G.3)

- Termómetro laser: Calidad digital de -50°C a 400°C de plástico.
- Vernier: Material de acero inoxidable de 15 cm de acero inoxidable.
- Probeta: Capacidad de 100ml de vidrio
- Vidrio reloj: Tamaño mediano de vidrio.
- Matraz Erlenmeyer: Material de vidrio de capacidad de 100 ml.
- Espátula: Tamaño mediano de acero inoxidable.
- Vaso precipitado: Capacidad de 500 ml de material de vidrio

#### **3.6.3.2 Utensilios de cocina**

Los utensilios de cocina que se utilizaron en el trabajo de investigación experimental (Anexo G.4)

- Colador: Material de plástico, tamaño mediano.
- Fuente: Material de acero inoxidable, tamaño pequeño.
- Cuchillo: Material de acero inoxidable, tamaño mediano.
- Platillos: Material de plástico, tamaño mediano.
- Cepillos: Material de plástico, tamaño mediano.
- Repasador: Material de algodón, tamaño mediano.
- Jarras: Material de plástico, capacidad de 500 ml
- Papel de cocina: Material de papel adsorbente.

### 3.7 Aditivos de uso alimentario

En la figura 3.8, se muestra el reactivo que se utilizó para el pre tratamiento de rodajas de yacón antes de ser liofilizadas, con la finalidad de evitar el oscurecimiento de las rodajas causadas por el pardeamiento enzimático.

<b>Acido citrico (E-330)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Esencial</li> <li>• Estado: Solido</li> <li>• Procedencia: Santa Cruz</li> <li>• Calidad: alimenticio</li> </ul>
----------------------------------	--

**Fuente:** Elaboracion propia

**Figura 3.8:** Reactivo de grado alimenticio

#### 3.7.1 Reactivos químicos de laboratorio

En la tabla 3.1, se muestra los reactivos químicos utilizados para la determinación de índice de madurez del yacón.

**Tabla 3.1**

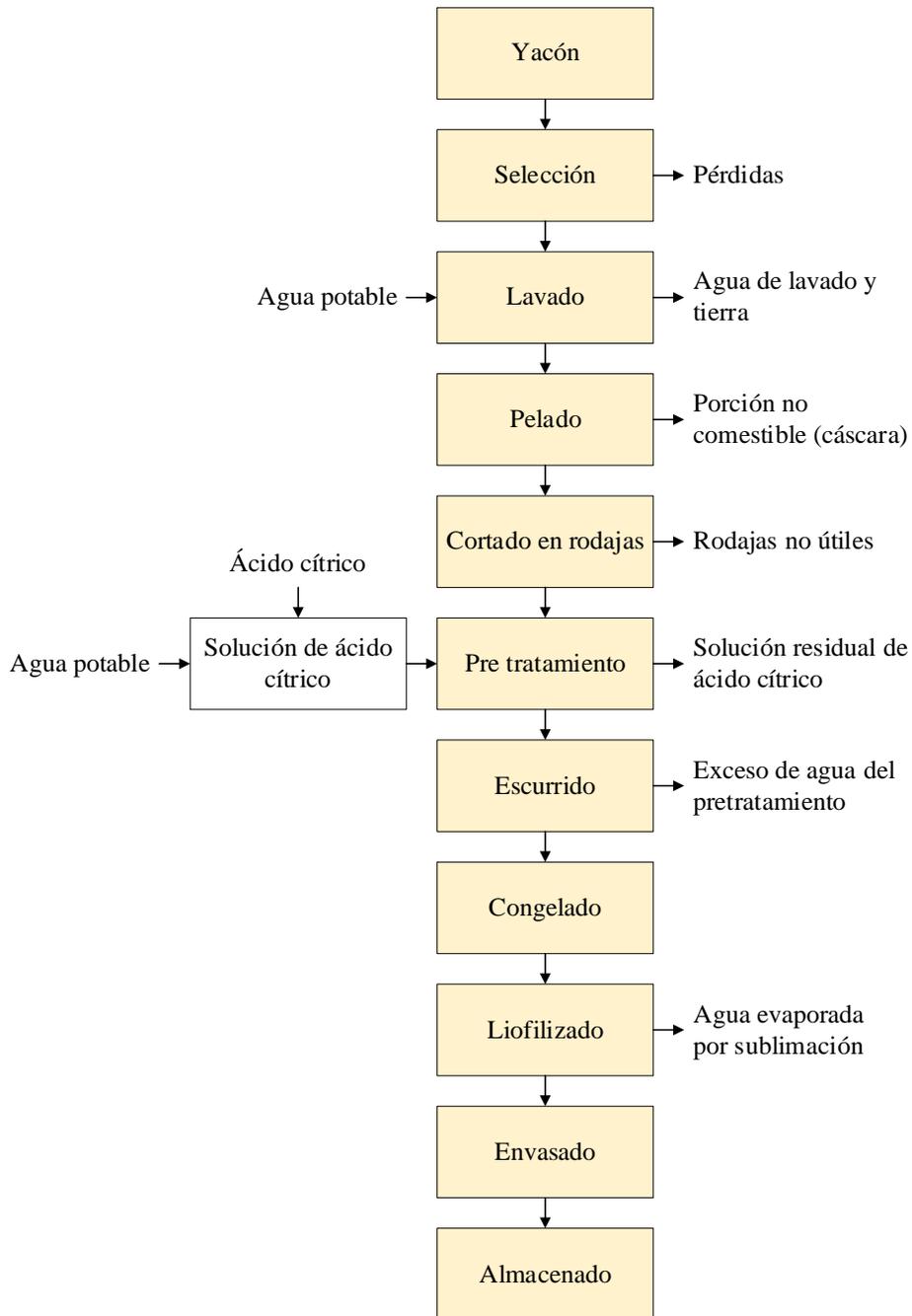
*Reactivos químicos de laboratorio*

Reactivo	Concentración	Estado	Procedencia	Marca
Hidróxido de sodio	0,1 N	Liquido	Boliviana	Biopack
Fenolftaleína	1%	Liquido	Boliviana	Biopack

**Fuente:** Elaboracion propia

### 3.8 Diagrama de flujo del proceso obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

En la figura 3.9 se muestra el diagrama de flujo de obtención de rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.9:** Obtención de rodajas deshidratadas de yacón por de liofilización

### 3.8.1 Desarrollo del diagrama de flujo de obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

A continuación, se describen los pasos que se siguieron para obtener rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.10:** Yacón

**Yacón:** En la figura 3.10, se muestra el yacón que se utilizó para el presente trabajo, que fue de la provincia Méndez del municipio de San Lorenzo, se obtuvo del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.11:** Selección

**Selección:** En la figura 3.11, se muestra la selección del yacón en donde se separaron aquellos yacones que estaban dañados, podridos o que estaban maltratados, también la selección se realizó tomando en cuenta el tamaño de (8 a 12) cm. y diámetro de (35 a 45)



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.12:** Lavado

**Lavado:** En la figura 3.12, se muestra el proceso de lavado del yacón donde se utilizó agua potable y un cepillo de plástico para eliminar el resto de tierra adherida en la raíz.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.13:** Pelado

**Pelado:** En la figura 3.13, se muestra el proceso de pelado del yacón, donde se hizo de forma manual utilizando un cuchillo de acero inoxidable para poder eliminar la porción no comestible (cáscara).



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.14:** Cortado

**Cortado:** Para el proceso de cortado, se utilizó una mandolina manual de acero inoxidable, se corta el yacón en rodajas de 2 mm de grosor como se muestra en la figura 3.14 para facilitar la deshidratación y que sea el tiempo menor en el proceso de secado por liofilización.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.15:** Pre tratamiento

**Pretratamiento:** Para realizar el pretratamiento se preparó una solución de ácido cítrico, el cual contiene 1000 ml de agua potable y el 1% de ácido cítrico, se sumergen las rodajas de yacón por un tiempo de 5 minutos, como se muestra en la figura 3.15.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.16:** Ecurrido

**Ecurrido:** En la figura 3.16, se muestra el proceso de escurrido, donde se colocaron las rodajas de yacón en un colador de plástico por un tiempo de 6 minutos con la finalidad de eliminar el exceso de agua que fue adquirida en el pretratamiento.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.17:** Congelado

**Congelado:** En el proceso de congelación, se prende el liofilizador, se deja calentar por 20 minutos y se colocaron las rodajas de yacón, cuya temperatura inicial de 18°C, como se muestra en la figura 3.17 y se dejaron que congele por un tiempo de 60 minutos en donde alcanza una temperatura entre (-27 a -28) °C.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.18:** Liofilizado

**Liofilizado:** En proceso de secado por liofilización se encendió la bomba de vacío se deja calentar 20 min. Se colocaron las rodajas congeladas en la bandeja como se muestra en la figura 3.18, en donde se hizo de manera rápida para evitar que las rodajas se descongelen y puedan afectar el proceso de secado; luego se programa la presión con el cual se trabajó 0.5 torr. Se deja que las rodajas se deshidraten por sublimación, el tiempo que tardó en liofilizar fue de 5:30 horas y 6:30 horas donde se obtuvo una humedad del 5 al 8%.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.19:** Envasado

**Envasado:** En la figura 3.19, se muestra las rodajas de yacón deshidratadas y envasadas en bolsas Krat con cierre hermético con la finalidad de proteger al producto de la humedad del ambiente y garantizar su conservación.



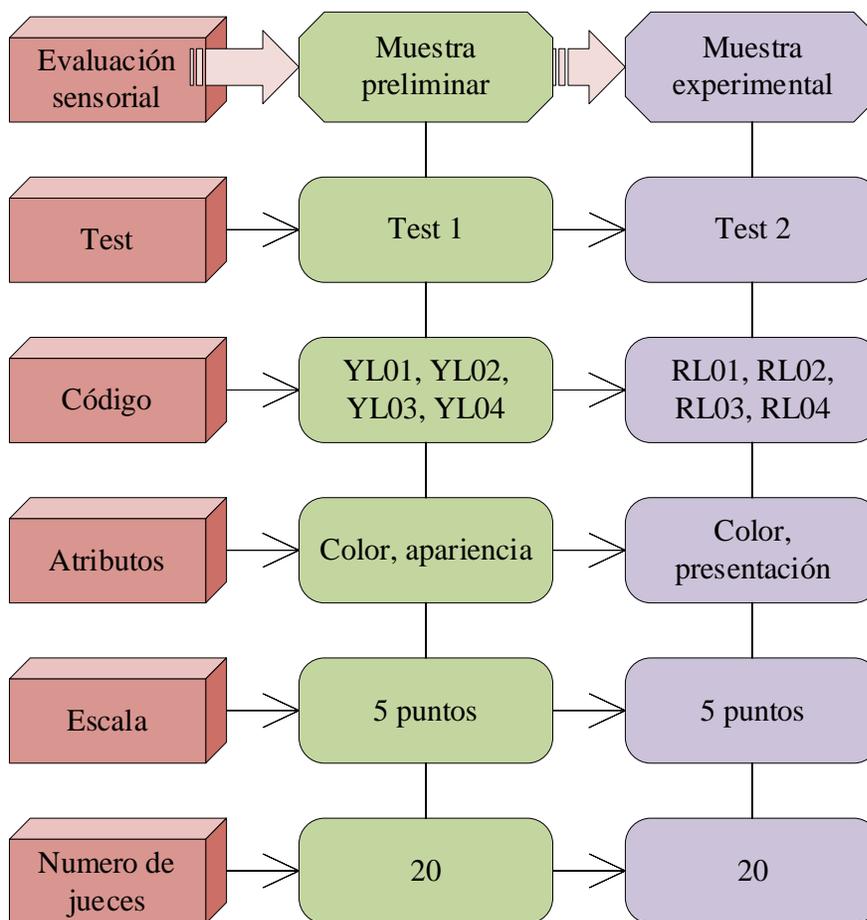
**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.20:** Almacenado

**Almacenado:** El proceso de almacenado, se realizó colocando las bolsas de las rodajas de yacón deshidratadas en una caja de cartón como se muestra en la figura 3.20, y las cuales fueron almacenadas en un lugar ventilado, cumpliendo con las condiciones requeridas.

### 3.9 Análisis Sensorial

La evaluación sensorial es la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo principalmente. Es considerada como el análisis de las propiedades sensoriales, se refiere a la medición y cuantificación de los productos alimenticios o materias primas evaluados por medio de los cinco sentidos. (Hernández, 2005).

En el presente trabajo de investigación se aplicó evaluación sensorial en las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización la cual se describe en la figura 3.21:



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.21:** Análisis organoléptico de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

### 3.10 Diseño experimental

Se entiende por diseño experimental al proceso de planteamiento de un experimento, que tomen datos apropiados con la mayor realidad posible, los cuales deben ser analizados mediante métodos estadísticos que deriven conclusiones válidas y objetivas. También podemos definir como el ordenamiento de las unidades experimentales para controlar y minimizar el error experimental. (Riaño, 2005)

Un experimento se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué las afectan. En relación con los sujetos de experimentación, el investigador manipula y controla una o

más variables independientes y puede tener la capacidad de designarlos a los diferentes grupos requeridos por el experimento (Agudelo et al.; 2010)

### 3.11 Diseño factorial

Un experimento factorial permite investigar todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores o condiciones en cada prueba completa. Los tratamientos constan de todas las combinaciones que puedan formarse de los distintos factores, entendiéndose como tratamientos la denominación de los diferentes procesos cuyos efectos van a ser medidos o comparados. (Medina & López, 2011)

La principal ventaja del diseño factorial radica en el hecho de poder estudiar no solo el efecto aislado de las variables independientes sobre la variable dependiente (lo cual podría realizarse con dos experimentos separados. Es posible estudiar el efecto cruzado de interacción de las variables independientes (Tejedor & Etxeberria, 2006)

Con el diseño factorial completo se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar. Así, la matriz de diseño es el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. (Gutiérrez & de la Vara, 2017)

#### 3.11.1 Diseño factorial $2^2$ en la etapa de liofilización

En el presente trabajo de investigación se aplicó el diseño factorial durante el proceso de liofilización de acuerdo a la ecuación (3.1), cuyo diseño factorial corresponde:

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ pruebas} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.1}$$

Donde las variables propuestas para el trabajo de investigación son: Tipo de corte y tiempo de secado, los niveles de variación de los factores se muestran en la tabla 3.1

**Tabla 3.2**

*Niveles de las variables*

Factores	Nivel bajo	Nivel alto	Unidad
Grosor de rodajas	1,00	2,00	mm
Tiempo de secado	5,30	6,30	horas

Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra una matriz del diseño experimental a ser aplicado en el presente trabajo de investigación, donde las variables a tomar en cuenta son: Grosor de rodajas y tiempo de liofilización.

Sean A y B los factores que se estudiaron y sean (1), a, b y ab los totales observados en cada uno de los cuatro tratamientos escritos en su orden estándar los efectos en este diseño se pueden calcular a partir de la tabla 3.3 de signos, donde las columnas de los efectos principales A y B son las mismas que en la matriz de diseño y las columnas de efecto de interacción se obtienen multiplicando las columnas correspondientes (Gutiérrez & de la Vara, 2017).

**Tabla 3.3**

*Matriz de variable en la etapa de liofilización*

Combinación de tratamientos	Factores		Interacción	Variable respuesta	
	A	B	AB	H <sub>BS</sub>	H <sub>BS</sub>
(1)	-1	-1	+1	H <sub>BS1</sub>	H <sub>BS1</sub>
a	+1	-1	-1	H <sub>BS2</sub>	H <sub>BS2</sub>
b	-1	+1	-1	H <sub>BS3</sub>	H <sub>BS3</sub>
ab	+1	+1	+1	H <sub>BS4</sub>	H <sub>BS4</sub>

**Fuente:** Elaboracion propia

Donde:

Y<sub>i</sub> = contenido de humedad (%) humedad

### **3.12 Operacionalización de variable dependiente e independiente en la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización**

en la tabla 3.4 se muestra la Operacionalización de la variable dependiente e independiente en la obtención de rodajas deshidratadas de yacón mediante el proceso de liofilización.

Tabla 3.4

*Operacionalización de la variable dependiente e independiente*

Hipotesis	Variables		Conceptualización	Dimensiones	Indicaciones
El proceso de liofilización a ser aplicado a nivel experimental para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón, permitirá obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.	<b>Independiente</b>	Proceso de secado por liofilización	La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación que consiste en congelar el producto y secar el producto por sublimación directa del hielo bajo presión reducida. (Orrego, 2008)	Tiempo de congelamiento de las rodajas de yacón	60 minutos
				Grosor de rodajas de yacón	(1 a 2) mm
				Tiempo de liofilización	(5:30 a 6:30) horas
				Presión de liofilización	0,5 Torrecelli
	<b>Dependiente</b>	Yacón deshidratado en rodajas	Según el (CODEX STAN 192-1995) las frutas deshidratadas, son aquellas a las que se ha eliminado el agua para impedir la proliferación microbiana.	Humedad	(%)
				Proteínas	(%)
				Fibra	(%)
				Grasa	(%)
				Cenizas	(%)
				Valor energetico	(Kcal/g)
				Hidratos de carbono	(%)
				Fosforo	(mg/100g)
				Potasio	(mg/100g)
				Mohos y levaduras	(UFC/g)
Coliformes totales	(UFC/g)				
Escherichia coli	(UFC/g)				
Análisis organoléptico	(Color - Presentación)				

**Fuente:** Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y**  
**DISCUSIÓN**

## 4.1 Caracterización del yacón

Para caracterizar la materia prima (yacón), se tomaron en cuenta las propiedades físicas e índice de madurez, fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes que se detallan a continuación:

### 4.1.1 Propiedades físicas del yacón

Para la determinación de las propiedades físicas se realizaron en 15 muestras de yacón, las cuales fueron tomadas al azar para determinar el peso total, diámetro de rodajas, grosor de rodajas, porción comestible (PC), porción no comestible (PNC), rodajas útiles (RU) y rodajas no útiles (RNU)

**Tabla 4.1**

#### *Propiedades físicas del yacón*

Muestras	Peso total (g)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	PC (%)	PNC (%)	RU (%)	RNU (%)
1	137,07	36,00	99,50	65,98	34,02	65,52	34,48
2	123,62	40,30	86,20	69,38	30,62	69,23	30,77
3	126,31	40,50	111,90	65,09	34,91	72,41	27,59
4	120,73	40,65	103,20	65,31	34,69	72,00	28,00
5	126,88	40,00	91,40	64,44	35,56	70,97	29,03
6	169,61	38,55	98,40	60,63	39,37	70,00	30,00
7	141,22	41,00	97,50	69,01	30,99	75,00	25,00
8	118,46	40,25	100,30	69,15	30,85	70,00	30,00
9	92,61	36,60	97,20	70,98	29,02	76,92	23,08
10	139,87	36,65	88,60	56,94	43,06	71,88	28,13
11	175,37	37,60	98,20	70,55	29,45	68,75	31,25
12	165,27	36,50	88,40	64,88	35,12	70,97	29,03
13	149,64	41,00	110,10	64,31	35,69	73,33	26,67
14	149,43	38,20	105,30	63,03	36,97	75,00	25,00
15	95,16	35,00	86,50	70,59	29,41	70,37	29,63
Promedio	135,42±0,01	38,59±0,05	96,61±0,05	65,73	34,27	71,46	28,54

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.1 se observa los resultados promedios de las propiedades físicas del yacón donde: peso total 135,42±0,01g; diámetro de rodajas 38,59±0,05mm; altura 96,61±0,05mm; PC 65,73%; PNC 34,27%; RU 71,46%; y RNU 28,54%.

#### 4.1.2 Índice de madurez del yacón

Para la determinación del índice de madurez, se realizaron en 10 muestras de yacón, los cuales fueron tomadas al azar para determinar los análisis de acidez mediante: titulación; sólidos solubles y pH. Los resultados obtenidos, se muestran en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2**

*Parámetros del índice de madurez del yacón*

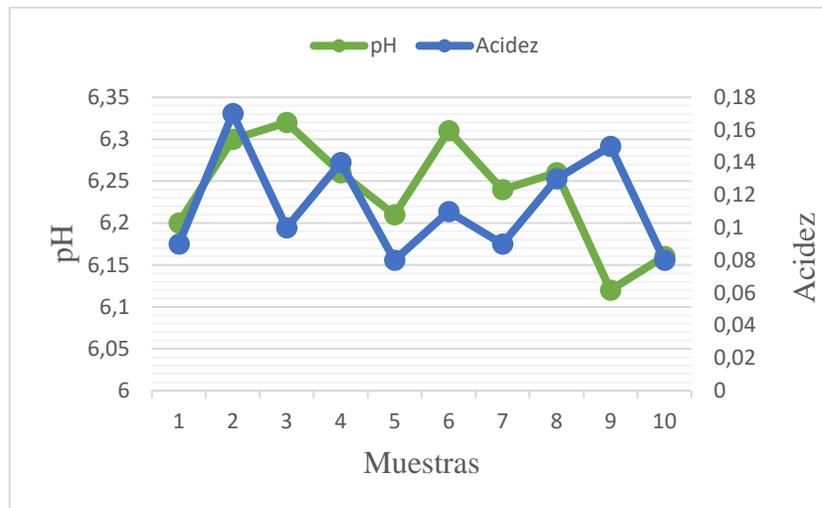
Muestras	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Acidez (%)	Índice de madurez (IM)
1	8,60	6,20	0,09	95,56
2	9,30	6,30	0,17	54,71
3	9,20	6,32	0,1	92,00
4	7,90	6,26	0,14	56,43
5	8,80	6,21	0,08	110,00
6	10,70	6,31	0,11	97,27
7	9,10	6,24	0,09	101,11
8	7,80	6,26	0,13	60,00
9	9,30	6,12	0,15	62,00
10	9,40	6,16	0,08	117,50
<b>Promedio</b>	9,01 ± 0,1	6,24 ± 0,003	0,11	84,66

**Fuente:** Elaboracion propia

En la tabla 4.2, se observan los resultados promedios de los análisis de las muestras de yacón donde: sólidos totales  $9,01 \pm 0,1$  °Brix; pH  $6,24 \pm 0,003$ ; Acidez 0,11 e índice de madurez 84,66 (°Brix/acidez).

##### 4.1.2.1 Relación acidez en función de pH en las muestras de yacón.

En la figura 4.1, se muestra la relación de la variación del pH y acidez en las 10 muestras de yacón.

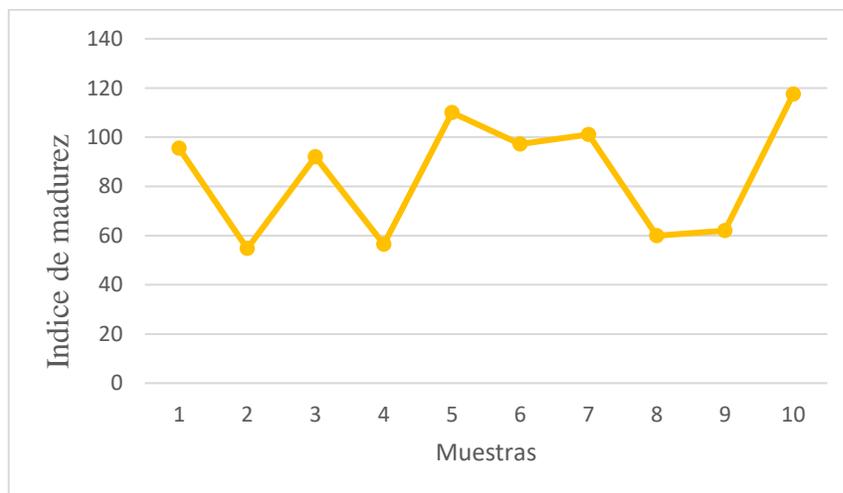


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1:** Relación de pH y acidez de las muestras de yacón

En la figura 4.1, se observa que la muestra 1 tiene un pH de 6,2, luego las muestras fueron aumentando el pH, hasta la muestra 8; posteriormente la muestra 9 y 10 disminuye el pH de 6,19 (muestra 9) que es el más bajo y en acidez comienza con 0,09% y va subiendo hasta la muestra 4, se observan disminución en la muestra 5.

En la figura 4.2, se muestra el índice de madurez de 10 muestras de yacón, de datos de la tabla 4.2



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.2:** Índice de madurez de las muestras de yacón

En la figura 4,2 se puede observar que para (muestra 1) presenta IM de 95,56 °Brix/acidez y los posteriores van disminuyendo hasta la (muestra 4) que presenta un valor de IM (56,43) °Brix/acidez y luego el índice de madurez va aumentando hasta alcanzar el valor más alto en la muestra 10 con IM 117,50 °Brix/acidez.

#### 4.1.3 Análisis fisicoquímico del yacón

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del yacón.

**Tabla 4.3**

##### *Análisis fisicoquímico del yacón*

Parámetros	Unidad	Cantidad
Cenizas	%	0,3
Fibra	%	0,7
Grasa	%	n.d
Hidratos de carbono	%	12,32
Humedad	%	85,81
Proteína total	%	0,87
Valor energético	Kcal/100g	52,76

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del yacón donde: cenizas 0,3%; fibra 0,7%; grasa n.d; hidratos de carbono 12,32%; humedad 85,81%; proteína total 0,87% y valor energético 52,76 Kcal/100g de muestra.

#### 4.1.3 Análisis de minerales del yacón

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados de los análisis de minerales del yacón.

**Tabla 4.4**

##### *Análisis de minerales del yacón*

Minerales	Unidad	Cantidad
Fósforo	mg/100g	15
Potasio	mg/100g	211

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.4 se muestran los resultados de los análisis de minerales del yacón y en dónde presentan: Fósforo 15 mg/100g de muestra y potasio 211 mg/100g de muestra.

#### 4.1.4 Análisis microbiológico del yacón

En la tabla 4.5, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del yacón.

**Tabla 4.5**

#### *Análisis microbiológico del yacón*

<b>Microorganismos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Coliformes totales	UFC/g	$1,2 \times 10^2$
Mohos y levaduras	UFC/g	$7,0 \times 10^1$
Coliformes fecales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

**Fuente:** Elaboracion propia

Como se puede observar en la tabla 4.5 los resultados obtenidos del análisis microbiológico del yacón fueron coliformes totales  $1,2 \times 10^2$  UFC/g, mohos y levaduras  $7,0 \times 10^1$  UFC/g y coliformes fecales  $<1,0 \times 10^1$ .

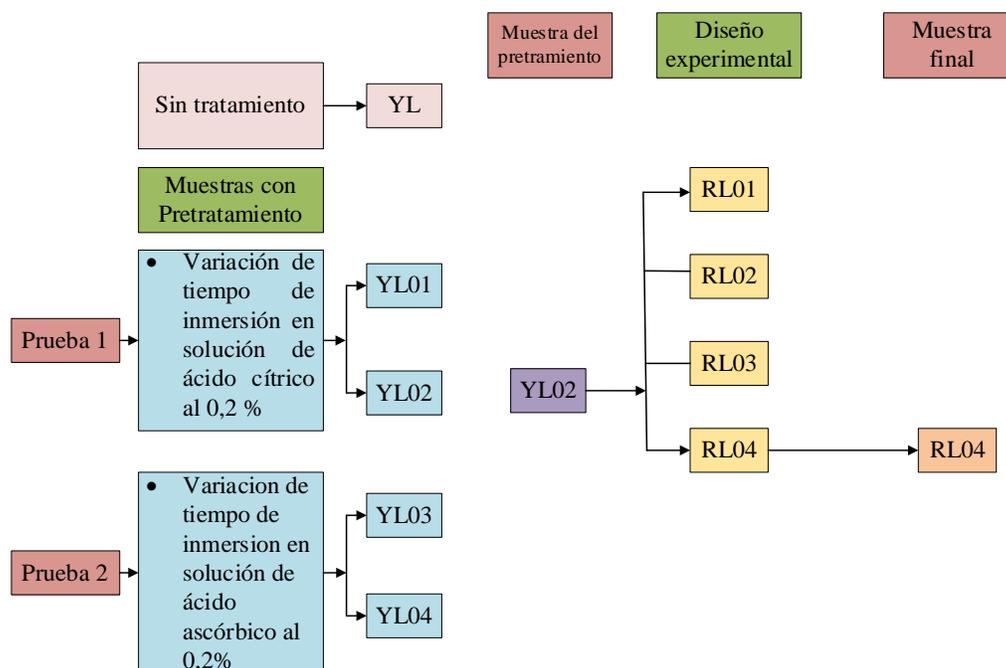
## 4.2 Caracterización de las variables del proceso para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

Para la caracterización de las variables del proceso para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización se tomaron en cuenta los siguientes aspectos.

### 4.2.1 Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento de muestras de rodajas de yacón

Para realizar el presente trabajo de investigación, se procedió realizar la elección del pretratamiento a ser utilizado. Según (Muñoz et al., 2014). El pretratamiento se utiliza para neutralizar el oscurecimiento por oxidación porque el pardeamiento es un efecto indeseable que se presenta en las frutas u hortalizas. En la figura 4.3, se muestra las pruebas experimentales realizadas para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización y se realizaron las siguientes pruebas: prueba sin tratamiento, prueba 1 con tratamientos de ácido cítrico, al 0,2%, y prueba 2 con pretratamiento de ácido

ascórbico al 0,2%; con el fin de determinar el pretratamiento más adecuado para las rodajas de yacón.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.3:** Pruebas experimentales para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

#### 4.2.2 Variación de tiempo de inmersión en solución de ácido cítrico para determinar el tipo de pretratamiento de la prueba 1

Se preparó una solución de ácido ascórbico. Según (Codex Alimentarius Stan, 2013) “se tomó una dosificación del ácido cítrico al 0,1% a temperatura ambiente de 20 °C, el ácido cítrico se utilizó como antioxidante para evitar el pardeamiento enzimático” (Pág. 79). y rodajas de yacón de 2mm de grosor, donde se sumergieron en la solución de ácido por un tiempo de 3 y 5 minutos, según se muestra en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6**

##### *Pretratamiento con solución de ácido cítrico*

Muestra	Solución	Grosor de rodajas (mm)	Tiempo de sumergido (minuto)
YL01	Ácido cítrico	2	3
YL02	Ácido cítrico	2	5

**Fuente:** Elaboración propia

### 4.2.3 Variación de tiempo de inmersión en solución de ácido ascórbico para determinar el tipo de pretratamiento de la prueba 2

Se preparó una solución de ácido cítrico. Según (Codex Stan, 2005) “se tomó una dosificación del ácido cítrico al 0,2% a temperatura ambiente de 20 °C, el ácido cítrico se utilizó como antioxidante” (Pág. 82). En las rodajas de yacón de 2mm de grosor, se sumergieron en la solución de ácido ascórbico por un tiempo de 3 y 5 minutos, según se muestra en la tabla 4.7.

**Tabla 4.7**

#### *Pretratamiento con solución de ácido ascórbico*

Muestra	Solución	Grosor de rodajas (mm)	Tiempo de sumergido (minuto)
YL03	Ácido ascórbico	2	3
YL04	Ácido ascórbico	2	5

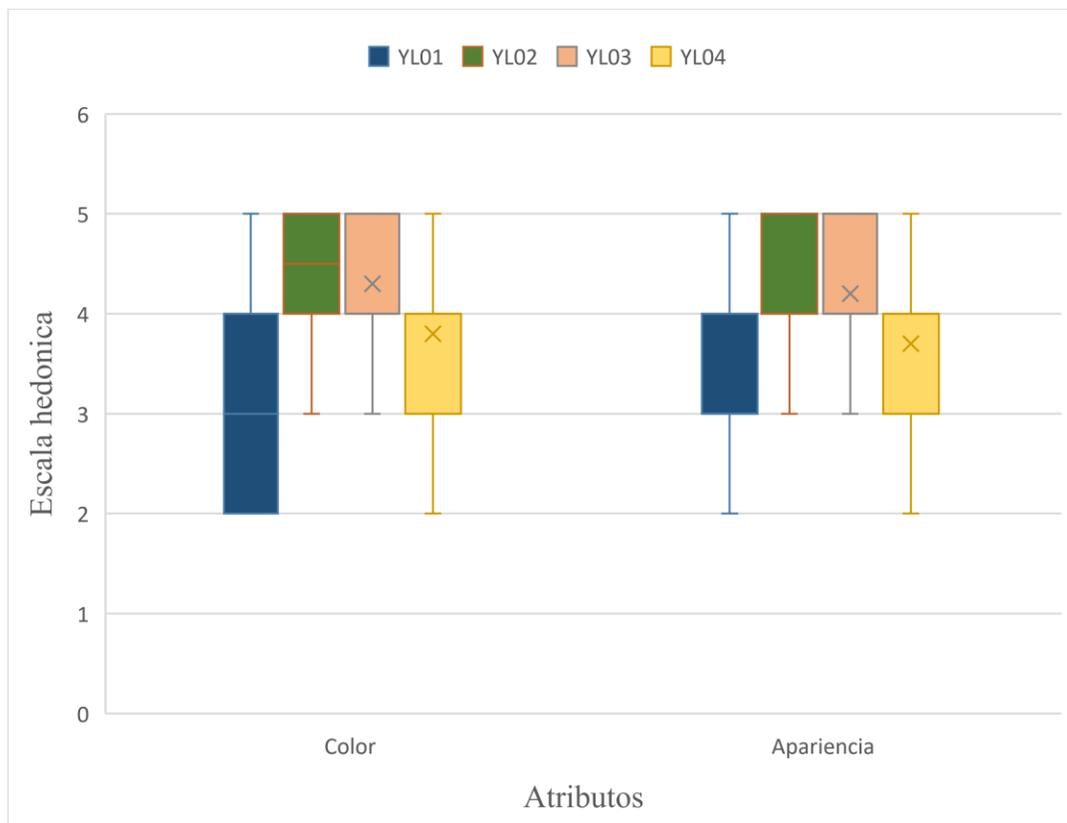
**Fuente:** Elaboracion propia

### 4.2.4 Evaluación sensorial para el atributo color y apariencia para elegir el tipo de pretratamiento de la muestra preliminar

La evaluación sensorial; se realizó de manera objetiva con 20 jueces no entrenados, utilizando una escala hedónica de cinco puntos donde la muestra elegida, fue YL02, con variación de tiempo de inversión en solución de ácido cítrico al 0,2% a temperatura ambiente de 20 °C, y tiempo de 5 minutos., la muestra sin tratamiento fue rechazada debido a que existe cambio de color que no fue agradable para los jueces.

#### 4.2.4.1 Estadístico caja y bigote para elegir el tipo de pretratamiento para las muestras de rodajas de yacón

En la figura 4.4, se muestran los resultados y valores de caja y bigote para elegir el tipo de pretratamiento en rodajas de yacón para el proceso de liofilización.



**Fuente:** Elaboracion propia

**Figura 4.4:** Caja y bigote en la determinación de tipo de tratamiento térmico en rodajas de yacón

La figura 4.4 se muestra la caja y bigote para las cuatro muestras (YL01, YL02, YL03 y YL04) en función de los atributos y donde los resultados están en función de las medianas y de la caja: atributo color 4,5 (YL02) y apariencia 4,0 (YL2). Así mismo se pudo evidenciar que no hubo diferencia significativa en los atributos color y presentación de las muestras para un nivel de confianza del 95%.

De acuerdo a la preferencia de los jueces la muestra más aceptada fue YL02, según sus atributos color y presentación, por lo tanto, se pudo evidenciar que el pretratamiento elegido fue con solución de ácido cítrico al 0,2% y por un tiempo de inmersión de 5 minutos.

#### 4.2.4.2 Análisis de varianza para el atributo color en las muestras de rodajas de yacón con pretratamiento

Como se puede observar en la tabla C.3.2 (Anexo C.3)  $F_{cal} > F_{tab}$  ( $4,60 > 2,77$ ) para los tratamientos del atributo color, y el cual existe evidencia estadística de variación entre los valores promedio entre las muestras YL01, YL02, YL03 y YL04 con un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). Por lo tanto, esta condición nos indica la evidencia estadística de la prueba de Tukey.

#### 4.2.4.3 Prueba de Tukey para el atributo color en las muestras de rodajas de yacón con pretratamiento

En la tabla 4.8, se muestra la prueba Tukey para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

**Tabla 4.8**

*Prueba de Tukey para el atributo color en las muestras de rodajas de yacón con pretratamiento*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
YL02-YL03	0,10	0,57	No hay significancia
YL02-YL04	0,55	0,57	No hay significancia
YL02-YL01	0,75	0,57	Si hay significancia
YL03-YL04	0,45	0,57	No hay significancia
YL03-YL01	0,65	0,57	Si hay significancia
YL04-YL01	0,20	0,57	No hay significancia

**Fuente:** Elaboración propia

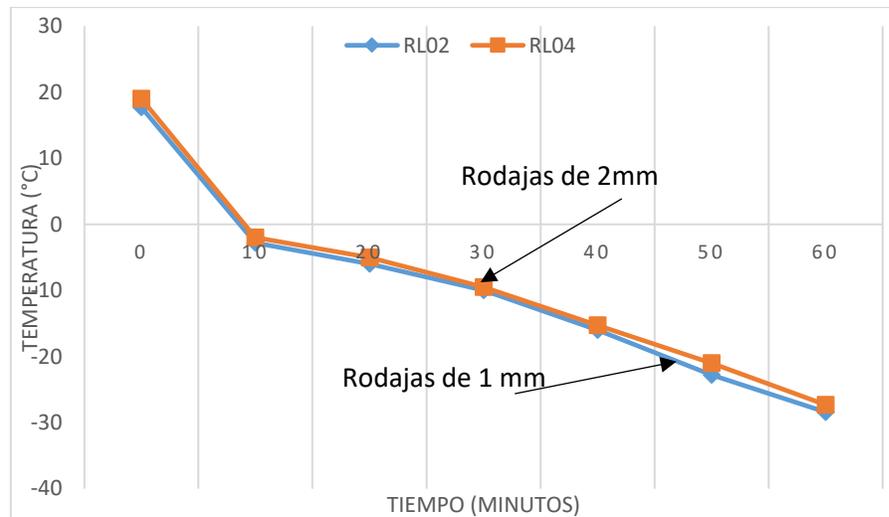
En la figura 4,8 se observa que para el atributo color no hay significancia entre los tratamientos (YL02-YL03); (YL02-YL04), (YL03-YL01) Y (YL04-YL01). Las muestras (YL02-YL01) Y (YL03-YL01) si presentan diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.4.4 Análisis de varianza del atributo apariencia para elegir el pretratamiento de las muestras de rodajas de yacón

Como se puede observar en la tabla C.2.2 (Anexo C.2)  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,23 < 2,77$ ) para los tratamientos del atributo apariencia, el cual nos indica que no existe evidencia estadística de variación entre los valores promedio entre las muestras YL01, YL02, YL03 y YL04 con un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 4.2.5 Variación de temperatura y tiempo de congelación en las muestras de rodajas de yacón con pretratamiento

En la figura 4.5, se muestra la variación de la temperatura de congelación en función del tiempo de las muestras RL02 Y RL04, donde se determinaron cada 10 minutos utilizando las siguientes condiciones: grosor de rodajas 2mm. Los datos obtenidos para cada muestra una de las muestras RL02 (tabla G.2) y RL04 (tabla G.2) del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Variación de temperatura en función del tiempo

En la figura 4.5 se muestra la variación de la temperatura de congelación de las rodajas de yacón en función del tiempo para las muestras RL02 Y RL04, se hizo una congelación rápida. Chavarrías (2010) afirma que “se debe congelar el producto a muy bajas temperaturas de forma rápida para evitar que se formen grandes cristales de hielo” (Pág. 2); donde la muestra RL02 con un corte de 1mm congelo más rápido que la muestra RL02 con un corte de 2mm.

#### 4.3 Diseño experimental en el proceso de liofilización de las muestras de rodajas de yacón

Para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, se aplicó el diseño experimental de  $2^2$ . En la tabla 4.9, se muestra los factores que fueron controlados durante la etapa de liofilización de las muestras de rodajas de yacón con

pretratamiento y donde los resultados de la variable respuesta es el contenido de humedad en base seca.

**Tabla 4.9**

*Contenido de humedad en base seca en el proceso de liofilización*

Combinación de tratamientos	Variables		Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Grosor de rodajas	Tiempo de liofilización			
	A	B			
(1)	1	05,30	6,86	7,06	6,96
a	2	05,30	7,96	7,99	7,98
b	1	06,30	6,06	6,34	6,20
ab	2	06,30	6,75	6,62	6,69

**Fuente:** Elaboración propia

**4.3.1 Análisis de varianza para la variable respuesta del contenido de humedad en la etapa de secado por liofilización**

En la tabla 4.10, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño  $2^2$  para las muestras con pretratamiento de ácido cítrico al 0,2%.

**Tabla 4.10**

*Análisis de varianza para la variable respuesta humedad*

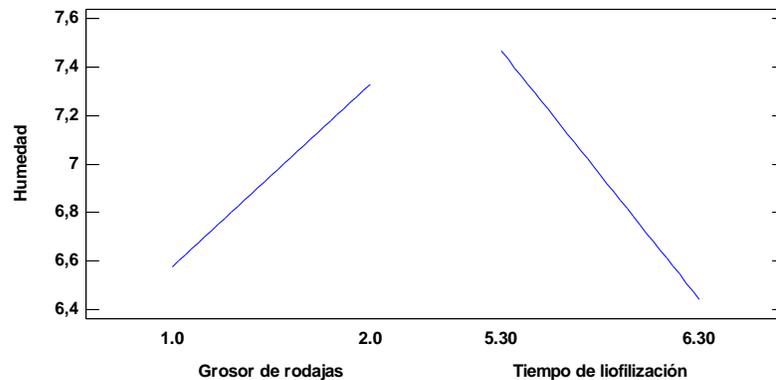
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Fcal	Ftab	Valor-P
A:Grosor de rodajas	1,132	1	1,1325	66,440	10,128	0,004
B:Tiempo de liofilización	2,091	1	2,0910	122,670	10,128	0,002
1AB	0,143	1	0,1431	8,400	10,128	0,063
Error total	0,051	3	0,0170	-	-	-
Total	3,437	7	-	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Según el análisis de varianza en la tabla 4.10 se observa que los factores A grosor de rodajas y B tiempo de liofilización son estadísticamente significativos para el proceso

de liofilización; ya que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada. Sin embargo, para la interacción AB no existe diferencia significativa, ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

En la figura 4.6 se observa la gráfica de intersección para la humedad en relación con las variables (A) grosor de rodajas y (B) tiempo de liofilización

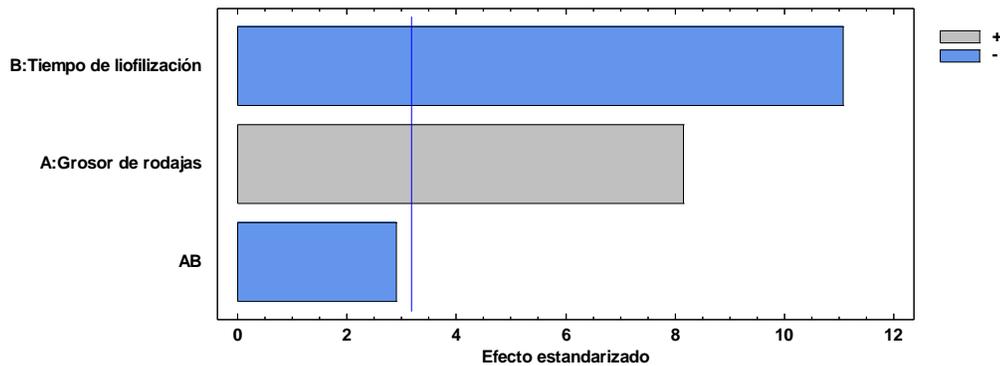


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6:** Efectos principales de intersección de humedad

En la figura 4.6, se puede observar el contenido de humedad en base seca, cuando el factor A (grosor de rodajas) aumenta positivamente teniendo una pendiente positiva y la línea del factor B (tiempo de liofilización) disminuye teniendo una pendiente negativa, quiere decir que el tiempo de liofilización tiene mayor efecto en el porcentaje de humedad.

En la figura 4.7, se observa el diagrama de Pareto estandarizado de los factores del diseño factorial que fueron tomados en cuenta, donde la línea vertical representa la línea de referencia como valor crítico para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$



**Fuente:** Elaboracion propia

**Figura 4.7:** Diagrama de Pareto estandarizado para humedad

En la figura 4,7 se puede observar que los factores A (grosor de rodajas) y B (tiempo de liofilización) que sobre pasan la línea de vertical de referencia por lo que son estadísticamente significativos para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ ; mientras que la interacción AB no es estadísticamente significativo, ya que, no llega a pasar la línea de referencia.

#### 4.3.1.2 Optimización de la variable respuesta del diseño factorial de las muestras de rodajas deshidratadas de yacón con pretratamiento

En la tabla 4.11, se muestra los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de rodajas de yacón donde las variables que se tomaron en cuenta se muestran en la tabla 4.11 de datos extraídos de la tabla D.1.8 del (Anexo D)

**Tabla 4.11**

*Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad*

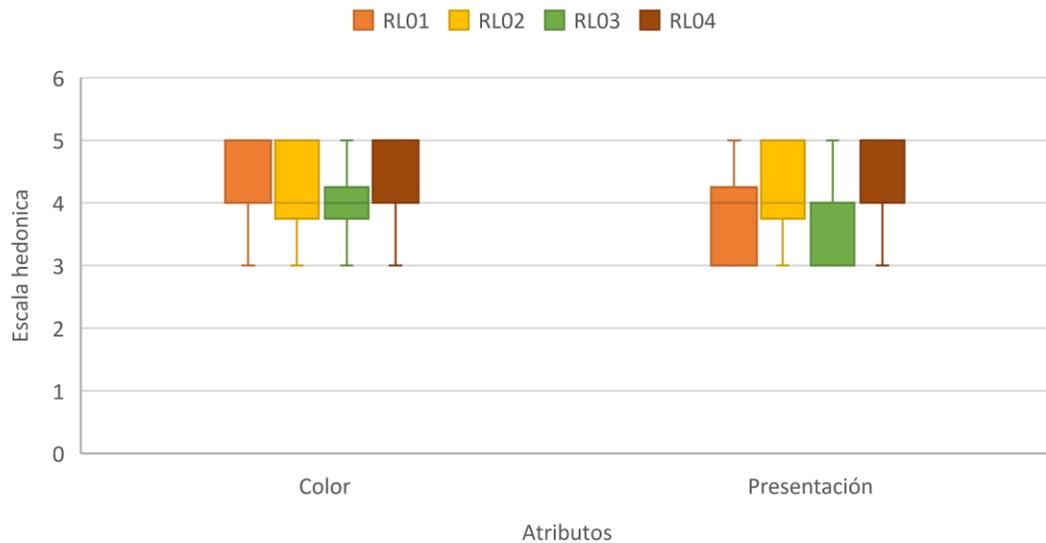
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Grosor de rodajas	1,0	2,0	2,0
Tiempo de liofilización	5,3	6,3	6,3

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad donde: grosor de rodajas 2mm y tiempo de liofilización de 6,30 el valor óptimo de contenido de humedad es 6,06%

#### 4.3.2 Estadístico caja y bigote para las muestras del diseño experimental 2<sup>2</sup>

En la figura 4.8, se muestran los resultados de caja y bigote del análisis de varianza de la variable respuesta (humedad).



**Fuente:** Elaboracion propia

**Figura 4.8:** Caja y bigote para el análisis de varianza de la variable respuesta del contenido de humedad

La figura 4.8 se muestra la caja y bigote de las cuatro muestras (RL01, RL02, RL03 y RL04) en función de los atributos sensoriales y donde los resultados están en función de la posición de la caja y mediana para: atributo color 5,0 (RL04) y presentación 5,0 (YL4). Así mismo se pudo evidenciar que no hubo diferencia significativa en los atributos color y presentación de las muestras para un nivel de significancia del 95%.

De acuerdo al análisis estadístico de varianza, se procedió a elegir la muestra RL04; ya que presentó mayor aceptación por parte de los jueces en los atributos color y presentación.

#### 4.3.2.1 Análisis de la varianza para el atributo color en las muestras con pretratamiento del diseño experimental 2<sup>2</sup> para el contenido de humedad

Como se puede observar en la tabla C.3.2 (Anexo C.3)  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,436 < 2,77$ ) para los tratamientos del atributo color, lo cual indica que no existe evidencia estadística de variación entre los valores promedio entre las muestras RL01, RL02, RL03 y RL04 para un nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ).

Para el caso de los jueces  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,246 < 1,77$ ). por lo tanto, no existe evidencia estadística de variación entre los 20 jueces para un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 4.3.2.2 Análisis de la varianza para el atributo presentación en la muestra del diseño experimental 2<sup>2</sup> para el contenido de humedad

Como se puede observar en la tabla C.4.2 (Anexo C.4)  $F_{cal} > F_{tab}$  ( $5,80 > 2,77$ ) para los tratamientos del atributo presentación, lo cual indica que existe evidencia estadística de variación entre los valores promedio entre las muestras RL01, RL02, RL03 y RL04 para un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

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

En la tabla 4.12 muestra la prueba Tukey para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

**Tabla 4.12**

*Prueba de Tukey para el atributo presentación*

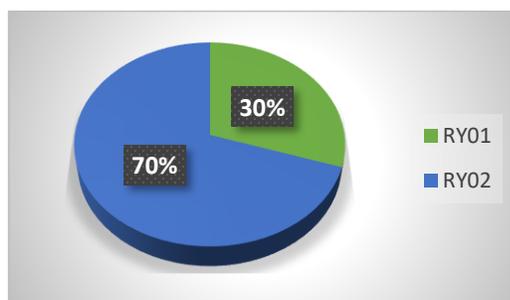
Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
RL04-RL02	0,45	0,49	No hay significancia
RL04-RL01	0,65	0,49	Si hay significancia
RL04-RL03	0,8	0,49	No hay significancia
RL02-RL01	0,20	0,49	No hay significancia
RL02-RL03	0,35	0,49	No hay significancia
RL01-RL03	0,15	0,49	No hay significancia

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4,12 se observa que para el atributo presentación no hay significancia entre las muestras (RL04–RLO1) si presentan diferencia significativa, mientras que las muestras (RL04-RL02); (RL04–YL03); (RL02–RLO1); (RL02–YL03); (RL01-RL03) no presentan diferencia significativa para una un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

### 4.3.2.3 Elección de la muestra final del diseño experimental en rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

Para seleccionar la muestra final del diseño experimental, la evaluación sensorial fue realizada por 20 jueces no entrenados. Se tomaron dos muestras elegidas del diseño factorial  $2^2$  RL02 y RL04, donde estas muestras fueron recodificadas RL02= YL01 y RL04 = YL02. En la Figura 4.9, se observan los resultados obtenidos de la evaluación sensorial del diseño experimental.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 4.9:** Porcentaje de aceptación para la muestra final

Como se puede observar en la figura 4.9, el 30% de las personas que evaluaron les gustó la muestra RY01 (rodajas de 2 mm y un tiempo de 5:30 horas) y el 70% de las personas tuvieron mayor preferencia por la muestra RY02 (rodajas de 2mm y un tiempo de liofilización de 6:30 horas), por lo tanto, se tomó la muestra experimental RL04 como muestra final.

## 4.4 Caracterización de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

En la caracterización de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, se realizaron los análisis que se detallan a continuación:

### 4.4.1 Análisis fisicoquímico de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización se muestran en la tabla 4.13.

**Tabla 4.13*****Análisis fisicoquímico de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización***

Parámetros	Unidad	Cantidad
Cenizas	%	2,9
Fibra	%	0,90
Grasa	%	0,23
Hidratos de carbono	%	80,01
Humedad	%	12,42
Proteína total	%	3,54
Valor energético	Kcal/100g	336,27

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.13 se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, donde: cenizas 2,9%; fibra 0,90%; grasa 0,23%; hidratos de carbono 80,01%; humedad 12,42%; proteína total 3,54% y valor energético 336,27 Kcal/100g de muestra.

**4.4.2 Análisis de minerales de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización**

En la tabla 4.14, se puede observar los resultados de los análisis de minerales de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.

**Tabla 4.14*****Análisis de minerales de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización***

Minerales	Unidad	Cantidad
Fósforo	mg/100g	244,00
Potasio	mg/100g	1539,27

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.14, se muestran los resultados de los análisis de minerales de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, en donde: fosforo 244,00 mg/100g y potasio 1539,27 mg/100g de muestra.

**4.4.3 Análisis microbiológico de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización**

En la tabla 4.15, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del yacón.

**Tabla 4.15***Análisis microbiológico del yacón*

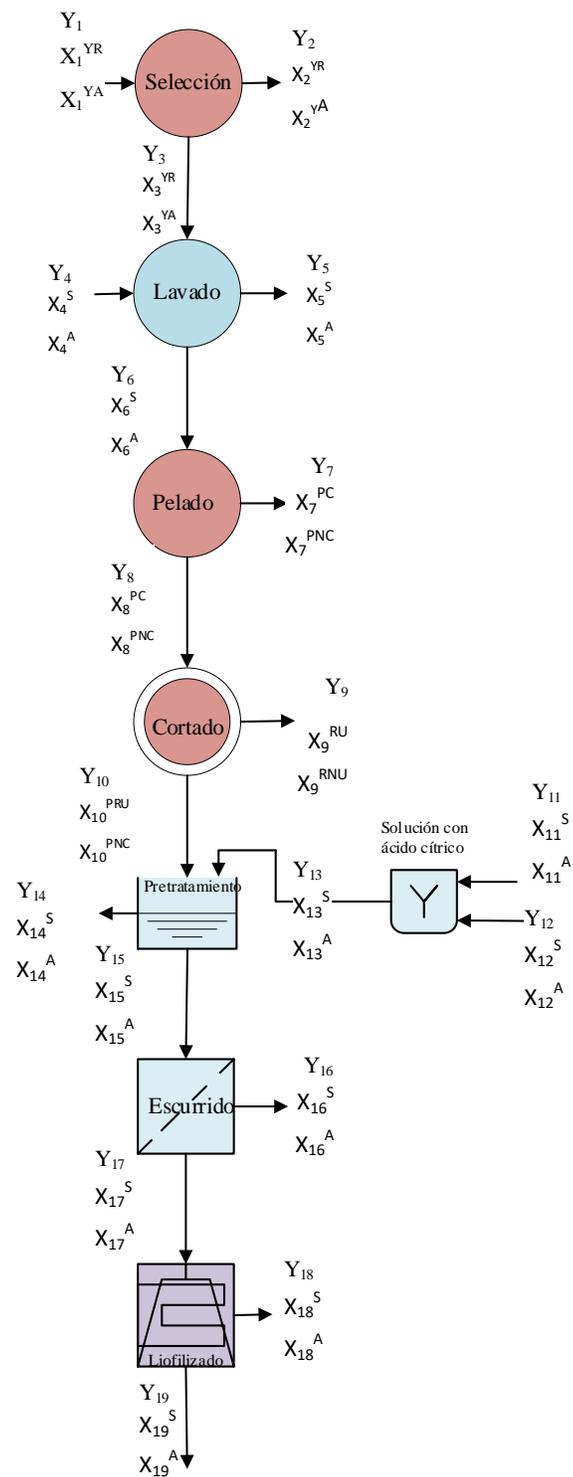
<b>Microorganismos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Coliformes totales	UFC/g	$1,2 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$8,0 \times 10^1$
Escherichia coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

**Fuente:** Elaboracion propia

En la tabla 4.15, se observa los resultados obtenidos del análisis microbiológico de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, donde coliformes totales  $1,2 \times 10^1$  UFC/g, mohos y levaduras  $8,0 \times 10^1$  UFC/g y Coliformes fecales  $<1,0 \times 10^1$ .

#### **4.5 Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización**

En la figura 4.10, se muestra el balance de materia para el proceso de obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización, para lo cual se tomó como base para el proceso 995,94 g de yacón y obteniendo 48,69 g.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.10:** Balance de materia en la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

Donde:

$Y_1$  = Yacón (g)

$Y_2$  = Pérdidas (g)

$Y_3$  = Yacón seleccionado (g)

$Y_4$  = Agua potable (g)

$Y_5$  = Agua residual de lavado (g)

$Y_6$  = Yacón lavado (g)

$Y_7$  = Pérdidas (cascara) (g)

$Y_8$  = Yacón pelado (g)

$Y_9$  = Pérdidas en el cortado de rodajas (g)

$Y_{10}$  = Rodajas de yacón (g)

$Y_{11}$  = Ácido cítrico (g)

$Y_{12}$  = Agua potable para la solución (g)

$Y_{13}$  = Solución de ácido cítrico (g)

$Y_{14}$  = Rodajas de yacón con pretratamiento (g)

$Y_{15}$  = Solución residual del pretratamiento (g)

$Y_{16}$  = Solución residual del escurrido (g)

$Y_{17}$  = Rodajas escurridas de yacón (g)

$Y_{18}$  = Agua eliminado por sublimación (g)

$Y_{19}$  = Yacón liofilizado (g)

$X^{YA}$  = Fracción de yacón aceptado

$X^{YR}$  = Fracción de yacón rechazado

$X^{YS}$  = Fracción de sólidos de yacón

$X^A$  = Fracción de agua

$X^{PN}$  = Fracción de porción comestible

$X^{PNC}$  = Fracción de porción comestible

$X_4^{RU}$  = Rodajas útiles del yacón pelado (g)

$X^{RNU}$  = Fracción de rodajas no útiles

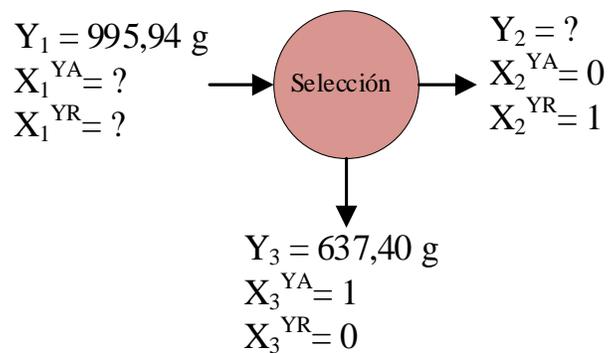
$X^{RU}$  = Fracción de rodajas útiles de

$X_5^{SS}$  = Fracción de componente de sólidos solubles

$X_5^H$  = Fracción de componente de humedad

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

En la figura 4.11 se muestra el balance de materia en la etapa de selección del yacón, donde la cantidad seleccionada fue 995,94 g, obteniendo 637,40 g de yacón seleccionado.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11:** Balance de materia en la etapa de selección

Balance general en la etapa de selección

$$Y_1 = Y_2 + Y_3$$

Ecuación 4.1

Despejando  $Y_2$  de la ecuación 4.1:

$$Y_2 = Y_1 - Y_3$$

$$Y_2 = 995,94 - 637,40$$

$$Y_2 = 358,54 \text{ g de pérdidas}$$

Balance parcial para el yacón aceptado en la etapa de selección

$$Y_1 * X_1^{YR} = Y_2 * X_2^{YR} + Y_3 * X_3^{YR} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Despejando la ecuación 4.2

$$Y_1 * X_1^{YR} = \cancel{Y_2 * X_2^{YR}} - Y_3 * X_3^{YR}$$

$$Y_1 * X_1^{YR} = Y_3 * X_3^{YR}$$

$$X_1^{YR} = \frac{Y_3 * X_3^{YR}}{Y_1}$$

$$X_1^{YR} = \frac{637,40 * 1}{995,94}$$

$$X_1^{YR} = 0,6396 \text{ fracción de yacón aceptado en la etapa de selección}$$

Balance parcial para el yacón rechazado en la etapa de selección

$$Y_1 * X_1^{YR} = Y_2 * X_2^{YR} + Y_3 * X_3^{YR} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Despejando la ecuación 4.3

$$Y_2 * X_2^{YR} = Y_1 * X_1^{YR} - \cancel{Y_3 * X_3^{YR}}$$

$$Y_1 * X_1^{YR} = Y_2 * X_2^{YR}$$

$$X_1^{YR} = \frac{Y_2 * X_2^{YR}}{Y_1}$$

$$X_1^{YR} = \frac{358,54 * 1}{995,94}$$

$$X_1^{YR} = 0,36 \text{ fracción de yacón rechazado en la etapa de selección}$$

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

En la figura 4.12 se muestra el balance de materia en la etapa de lavado del yacón, la cantidad fue 637,40 g de yacón seleccionado y 2000 g de agua potable.

Balance parcial de para la fracción de sólidos de yacón en la etapa de lavado

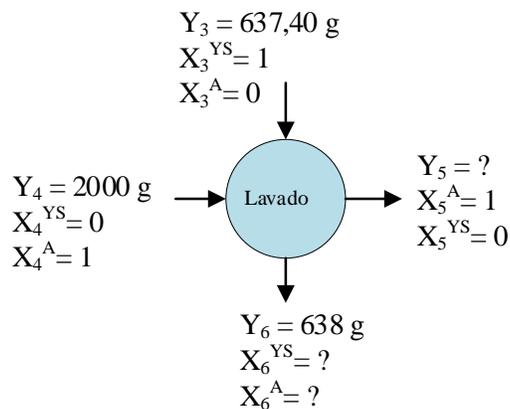
$$Y_6 * X_6^{SY} = Y_4 * X_4^{SY} + Y_3 * X_3^{SY} - Y_5 * X_5^{SY} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Reemplazando la ecuación 4.4

$$Y_6 * X_6^{SY} = \cancel{Y_4 * X_4^{SY}} + Y_3 * X_3^{SY} - \cancel{Y_5 * X_5^{SY}}$$

$$X_6^{SY} = \frac{637,40 * 1}{638}$$

$X_6^{SY} = 0,9991$  fracción de sólidos de yacón en la etapa de lavado



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12:** Balance de materia en la etapa de lavado

Balance general en la etapa de lavado

$$Y_3 + Y_4 = Y_5 + Y_6 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Despejando  $Y_5$  de la ecuación 4.4:

$$Y_5 = Y_3 + Y_4 - Y_6$$

$$Y_5 = 637,40 + 2000 - 638$$

$Y_5 = 1999,4$  g de agua residual de lavado

Balance parcial para la fracción de sólidos de yacón en la etapa de lavado

$$Y_6 * X_6^{SY} = Y_4 * X_4^{SY} + Y_3 * X_3^{SY} - Y_5 * X_5^{SY} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Reemplazando la ecuación 4.6

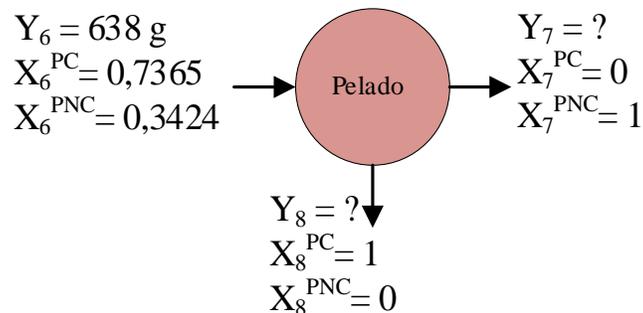
$$Y_6 * X_6^{SY} = \cancel{Y_4 * X_4^{SY}} + Y_3 * X_3^{SY} - \cancel{Y_5 * X_5^{SY}}$$

$$X_6^{SY} = \frac{637,40 * 1}{638}$$

$X_6^{SY} = 0,9991$  fracción de sólidos de yacón en la etapa de lavado

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

En la figura 4.13 se muestra el balance de materia en la etapa de pelado del yacón, se trabajó con 638 g de yacón, obteniendo 419,36 g de yacón, tomando en cuenta datos de la tabla 4.1, la porción comestible fue de 73,65% y la porción no comestible de 34,24%



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13:** Balance de materia en la etapa de pelado

Balance general en la etapa de pelado

$$Y_6 = Y_7 + Y_8 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Balance parcial para porción comestible

$$Y_6 * X_6^{PC} = Y_8 * X_8^{PC} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Despejando  $Y_8$  de la ecuación 4.8:

$$Y_8 = \frac{Y_6 \cdot X_{8PC}}{X_{6PC}}$$

$$Y_8 = \frac{638 \cdot 0,6573}{1}$$

$Y_8 = 419,36$  g yacón sin cascara

Despejando  $X_7$  de la ecuación 4.7:

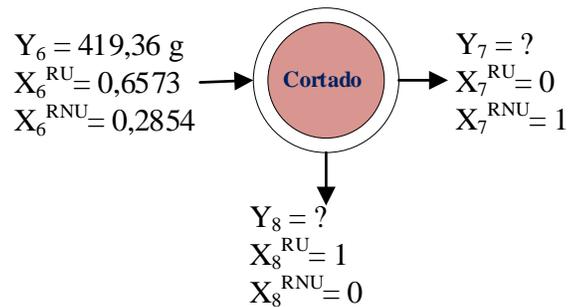
$$Y_7 = Y_6$$

$$Y_7 = 638 - 419,36$$

$Y_7 = 218,64$  g de perdidas (cascara)

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

En la figura 4.14 se muestra el balance de materia en la etapa de cortado en rodajas del yacón, el yacón pelado fue de 419,36 g, obteniendo 298,42 g de rodajas de yacón, tomando en cuenta datos de la tabla 4.1, rodajas útiles el 65,73% y rodajas no útiles el 28,54%



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14:** Balance de materia en la etapa de cortado

Balance general en la etapa de cortado

$$Y_6 = Y_7 + Y_8$$

Ecuación 4.8

Balance parcial para rodajas útiles

$$Y_6 * X_6^{RU} = Y_8 * X_8^{RU}$$

Ecuación 4.9

Despejando  $Y_8$  de la ecuación 4.9:

$$Y_8 = \frac{Y_6 * X_6^{RU}}{X_8^{RU}}$$

$$Y_8 = \frac{419,36 * 0,7116}{1}$$

$$Y_8 = 298,42 \text{ g rodajas útiles}$$

Despejando  $Y_7$  de la ecuación 4.8:

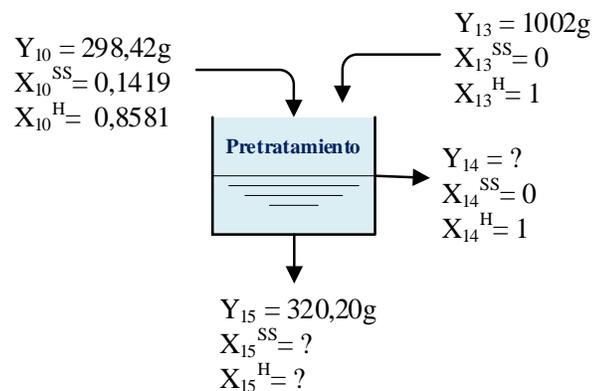
$$Y_7 = Y_6 - Y_8$$

$$Y_7 = 419,36 - 298,42$$

$$Y_7 = 120,94 \text{ g pérdidas en el cortado de rodajas}$$

#### 4.5.5 Balance de materia en la etapa de pre tratamiento

En la figura 4.15, se muestra el balance de materia en la etapa de pre tratamiento de rodajas de yacón, donde fue 298,42 g de rodajas de yacón y 1002 g de solución de ácido cítrico.

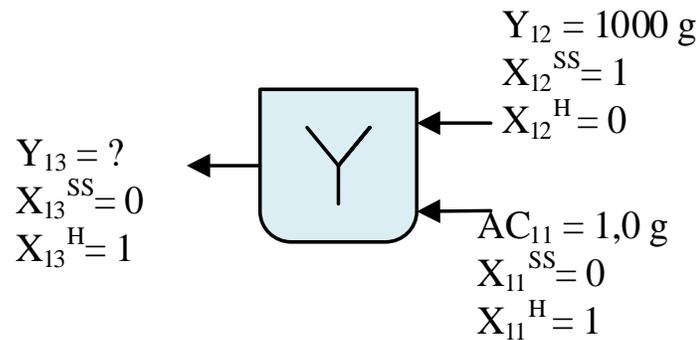


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.15:** Balance de materia en la etapa de pretratamiento

### Balance de materia en la preparación del ácido cítrico

En la figura 4.16 se muestra el balance de materia en la preparación de la solución de ácido cítrico, se utilizó 1000 g de agua potable y 2 g de ácido cítrico.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.16:** Balance de materia en la preparación de la solución de ácido cítrico

Balance general en la preparación de solución de ácido cítrico

$$Y_{12} + Y_{11} = Y_{13}$$

Ecuación 4.11

Reemplazando en la ecuación 4.8:

$$Y_{13} = 1000 + 2,00$$

$$Y_{13} = 1002 \text{ g de solución de ácido cítrico}$$

Para el balance general en la etapa de pretratamiento

$$Y_{10} + Y_{13} = Y_{15} + Y_{14}$$

Ecuación 4.12

Despejando  $S_2$  de la ecuación 4.12:

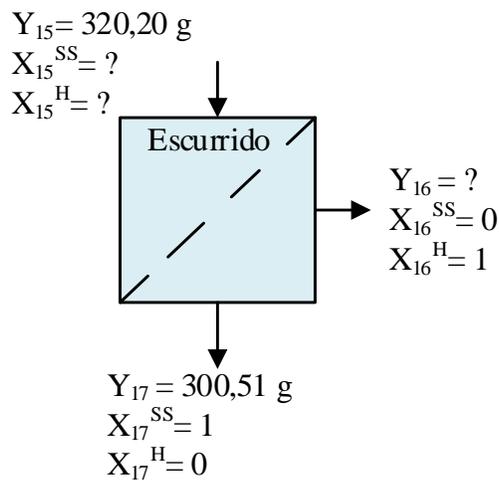
$$Y_{14} = Y_{10} + Y_{13} - Y_{15}$$

$$Y_{14} = 298,42 + 1002 - 320,20$$

$$Y_{14} = 980,22 \text{ g de agua residual de solución con ácido cítrico}$$

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

En la figura 4.17 se muestra el balance de materia en la etapa de escurrido, la cantidad de rodajas con pre tratamiento fue 320,20 g, obteniendo 300,51 g de rodajas escurridas de yacón



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.17:** Balance de materia en la etapa de escurrido

Balance general en la etapa de escurrido

$$Y_{15} = Y_{16} + Y_{17}$$

Ecuación 4.13

Despejando  $A_4$  de la ecuación 4.13:

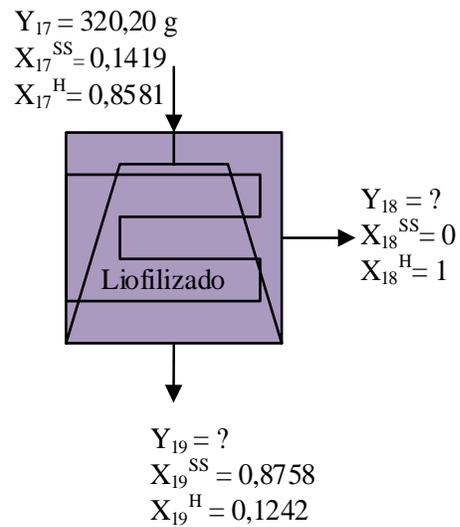
$$Y_{16} = Y_{15} - Y_{17}$$

$$Y_{17} = 320,20 - 300,51$$

$$Y_{17} = 19,69 \text{ g de perdidas}$$

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

En la figura 4.18 se muestra el balance de materia en la etapa de liofilización, la cantidad de rodajas congeladas fue 300,51 g, obteniendo 48,69 g de rodajas de yacón deshidratado con una humedad del 12,23 %



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.18:** Balance de materia en la etapa de liofilización

Balance general en la etapa de liofilización

$$Y_{17} = Y_{18} + Y_{19} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Balance parcial para solidos solubles

$$Y_{17} \cdot X_{17}^{SS} = Y_{19} \cdot X_{19}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Despejando  $Y_{19}$  de la ecuación 4.15:

$$Y_{19} = \frac{Y_{17} \cdot X_{17}^{SS}}{X_{19}^{SS}}$$

$$Y_{19} = \frac{300,51 \cdot 0,1419}{0,8758}$$

$$Y_{19} = 48,69 \text{ g rodajas deshidratadas}$$

Despejando  $Y_{18}$  de la ecuación 4.14:

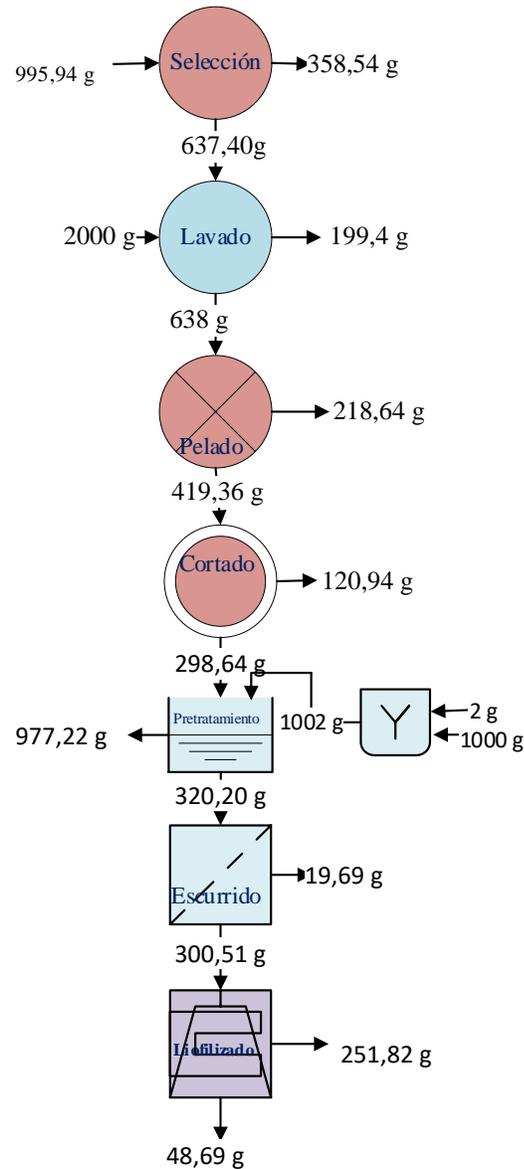
$$Y_{18} = Y_{17} - Y_{19}$$

$$Y_{18} = 300,51 - 48,69$$

$$Y_{18} = 251,82 \text{ g agua eliminada por sublimación}$$

#### 4.6 Resumen general del balance de materia

En la figura 4.19, se muestra el resumen general del balance de materia para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.19:** Resumen general del balance de materia para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización

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

Según Monsalvo et al.; (2014), afirma “que la energía interna de un sistema y el calor no son más que diferentes manifestaciones de energía” (Pág. 83)

Donde plantea las siguientes ecuaciones:

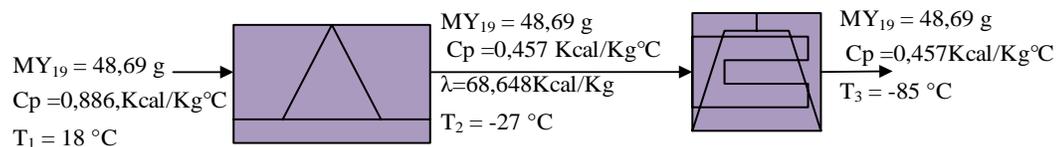
$$C_{\text{cedido}} = Q_{\text{Absorbido}} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Donde:

$$Q_{\text{Absorbido}} = Q_{\text{enfriamiento}} + Q_{\text{Congelación}} + Q_{\text{Subenfriamiento}} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

##### 4.6.1 Balance de energía en la etapa de liofilización

En la figura 4.20, se muestra el balance de energía en la etapa de liofilización para 300,5 g de rodajas de yacón con pretratamiento.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.20:** Balance de energía en la etapa de liofilización

Para el cálculo del calor específico del yacón se utilizó las siguientes formulas

Donde  $p$  es la humedad del yacón

Calor específico antes del punto de congelamiento

$$C_p = (p/100) + 0,2 \cdot (100 - p/100) \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Reemplazando la ecuación 4.16

$$C_{p \text{ yacón}} = (85,81/100) + 0,2 \cdot (100 - 85,81/100)$$

$$C_{p \text{ yacón}} = 0,886 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

Calor específico después del punto de congelamiento

$$C_p = 0,5 \cdot (p/100) + 0,2 \cdot (100 - p/100) \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Reemplazando la ecuación 4.17

$$C_{p \text{ yacón}} = 0,5*(85,81/100) + 0,2*(100 - 85,81/100)$$

$$C_{p \text{ yacón}} = 0,457 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

Calor latente

$$\lambda = 80 (p/100)$$

Ecuación 4.18

Reemplazando la ecuación 4.18

$$\lambda = 80 (85,81/100)$$

$$\lambda = 68,648 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_{\text{Cedido}} = Q_{\text{Absorbido}}$$

Ecuación 4.19

Donde:

$$Q_{\text{Absorbido}} = Q_{\text{enfriamiento}} + Q_{\text{Congelación}} + Q_{\text{Subenfriamiento}}$$

Ecuación 4.20

### **El calor de enfriamiento**

$$Q_{\text{Enfriamiento}} = MY_{19} * C_{p \text{ yacón}} * (T_{\text{inicial enfriamiento}} - T_{\text{Final enfriamiento}})$$

Ecuación 4.21

Reemplazando en la ecuación 4.18

$$Q_{\text{Enfriamiento}} = 0,3005 \text{ kg} * 0,886 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (18 - (-27))^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Enfriamiento}} = 2,396 \text{ Kcal}$$

### **Calculo de calor de congelación**

$$Q_{\text{Congelación}} = MY_{19} * \lambda_{\text{con}}$$

Ecuación 4.22

Reemplazando en la ecuación 4.19

$$Q_{\text{Congelación}} = 0,3005 \text{ Kg} * 68,648 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_{\text{Congelación}} = 20,629 \text{ Kcal}$$

### **Calculo de calor de sub enfriamiento**

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = MY_{19} * C_{p \text{ yacón}} * (T_{\text{inicial subenfriamiento}} - T_{\text{Final subenfriamiento}})$$

Ecuación 4.23

Reemplazando en la ecuación 4.23

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = 0,3005 \text{ Kg} * 0,457 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} * (-27 - (-86))^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = 8,102 \text{ Kcal}$$

### **Calculo de calor total**

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{enfriamiento}} + Q_{\text{Congelación}} + Q_{\text{Subenfriamiento}}$$

$$Q_{\text{total}} = 2,396 + 20,629 + 8,102$$

$$Q_{\text{total}} = 31,127 \text{ Kcal}$$

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

- En base a los resultados del análisis físico e índice de madurez del yacón se tiene: peso total 135,42 g; diámetro 38,59 mm; altura 96,61 mm; porción comestible 65,73%; porción no comestible 34,27%; rodajas útiles 71,46% y rodajas no útiles 28,54%. El índice de madurez 84,66 °Brix/acidez; sólidos solubles 9,01 °Brix; pH 6,24 y acidez 0,11 %.
- Los análisis fisicoquímicos y minerales fueron: cenizas 0,3%; fibra 0,7 %; grasa n.d%, hidratos de carbono 12,32%; humedad 85,81%; proteína total 0,87% y valor energético 52,76 Kcal/100g; fósforo 15 mg/100g y potasio 211 mg/100g. Para el análisis microbiológico contiene: coliformes totales  $1,2 \times 10^2$  UFC/g; mohos y levaduras  $7,0 \times 10^1$  UFC/g y coliformes fecales  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g.
- El pretratamiento se determinó mediante una evaluación sensorial para elegir el tipo de pretratamiento más adecuado y donde la muestra elegida por los jueces fue YL02 con solución de ácido cítrico al 0,2% y tiempo de inmersión de 5 minutos.
- El tiempo de congelamiento adecuado fue de 60 minutos a temperatura de  $-28^{\circ}\text{C}$  para rodajas de 2mm y de 1mm.
- Se aplicó el diseño factorial  $2^2$  en la etapa de liofilización para las muestras de rodajas de yacón con pretratamiento, las variables que se tomaron en cuenta fueron grosor de temperatura (A) y tiempo de liofilización (B), donde las variables influyen significativamente para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .
- Realizado la evaluación sensorial de las muestras del diseño factorial, se procedió a elegir la muestra final y donde la muestra más aceptada los jueces fue RL04 de 2

mm de grosor de la rodaja y 6:30 horas de liofilización para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

- En base a los resultados del análisis fisicoquímico se obtuvo: cenizas 2,9 %; fibra 0,90 %; grasa 0,23 %, hidratos de carbono 80,01 %; humedad 12,42 %; proteína total 3,54 % y valor energético 336,27 Kcal/100g, en cuanto a minerales: fósforo 244,00 mg/100g y potasio 1539,27 mg/100g. Para el análisis microbiológico se obtuvo : Coliformes totales  $1,2 \times 10^1$  UFC/g; mohos y levaduras  $8,0 \times 10^1$  UFC/g y *Escherichia coli*  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g.
- En base al balance de materia donde se partió con 298,42 g de rodajas de yacón con pretratamiento de ácido cítrico y humedad de 85,82% de humedad inicial y condiciones de liofilización de grosor de rodajas de 2 mm y tiempo de liofilización de 6:30 horas, se obtienen 48,69 de rodajas deshidratadas de yacón con un contenido de humedad de 12,42% y la cantidad de calor requerido para poder liofilizar fue de 40,71 Kcal/kg.

## 5.2 Recomendaciones

- Incentivar a la transformación de nuevos subproductos de yacón, con la finalidad de aprovechar la materia prima que se tiene en la región y poder contribuir al desarrollo económico y agroindustrial en la ciudad de Tarija.
- Se recomienda realizar un estudio de mercado en el departamento de Tarija para los productos liofilizados, con la finalidad de conocer la posible demanda que puedan tener los productos liofilizados.

- Se recomienda poder envasar el producto liofilizado en envases al vacío para poder proteger de la humedad y garantizar su conservación por más tiempo sin alterar su calidad.