

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

El banano es producido por completo en las zonas tropicales, siendo uno de los más consumidos a nivel mundial, generando un valor elemental para la economía de países en vías de desarrollo. En cuanto al valor total de producción, este cultivo ocupa el cuarto lugar internacionalmente, sucesivamente del “arroz” (*Oryza sativa* L.), el “trigo” (*Triticum* L.) y el “maíz” (*Zea mays* L.). (Galantini et al., 2014)

El banano es un cultivo líder en la producción y el comercio agrícola mundial. En respuesta al rápido crecimiento de la población en los países productores, así como a la creciente demanda mundial de importaciones, el cultivo ha experimentado un rápido aumento en los volúmenes de producción y comercio en las últimas décadas. Dado que la mayor parte del cultivo de banano se lleva a cabo de manera informal por pequeños agricultores. (FAO, 2019)

La producción de banano se presenta en las distintas regiones tropicales de Bolivia las cuales alcanzan a 300,871 toneladas métricas en total, concentrándose en Cochabamba, La Paz, Beni, Santa Cruz, Pando y otros. La participación de la producción de banano en el departamento de Cochabamba es determinante sobre el nivel nacional, debido a su volumen superficie cultivada y número de productores. (INE, 2021)

Según los datos del observatorio del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, se muestra en la tabla 1.1 la producción de banano en Bolivia por departamentos

**Tabla 1.1**

*Producción de banano en Bolivia por departamentos*

<b>Departamento</b>	<b>Producción en (Tm)</b>	<b>Superficie en (ha)</b>	<b>Rendimiento en (Tm/ha)</b>
Cochabamba	213,070	12,207	17,45
La paz	75,184	6,091	12,34
Beni	6,430	865,000	7,43
Santa cruz	4,666	667,000	7,00
Pando	1,084	130,000	8,34
Tarija	339,000	28,000	12,11
Chuquisaca	97,000	6,000	16,17
Total	300,870	19,994	15,05

**Fuente:** (MDRyT, 2021)

**Donde:**

Tm = toneladas métricas

ha = hectáreas

En el departamento de Tarija el cultivo de banano se encuentra en Bermejo (segunda sección de la provincia Arce) en pequeña escala, debido a que las familias no se dedican a este rubro. Sin embargo, el banano que se comercializa en el mercado local de Tarija es proveniente del Chapare del departamento de Cochabamba, ya que es el mayor productor de banano a nivel nacional.

**1.2 Justificación**

Para llevar a cabo el trabajo se plantea los siguientes aspectos:

- El presente trabajo de investigación tiene como fin elaborar aguardiente de pulpa de banano, debido que el banano es un fruto altamente perecedero de mayor productividad y poco industrializado, por lo tanto, se busca transformar en un nuevo producto derivado de “aguardiente” para el mercado local de la provincia de Cercado.
- El proceso de fermentación alcohólica, permite aprovechar las propiedades nutricionales del banano la cual posee un alto contenido de hidratos de carbono. Así mismo incrementar su valor agregado de la misma, es por ello que en el presente trabajo se pretende elaborar aguardiente de pulpa de banano.
- La presente investigación, se constituye en una alternativa para una industrialización a futuro en la elaboración de aguardiente de pulpa de banano, la cual podrá beneficiar al sector productor bananero que producen en pequeña escala esta materia prima, con el fin de mejorar sus ingresos económicos en el departamento de Tarija.

- Teniendo en cuenta los desechos y/o residuos que se generan por la falta de aprovechamiento del banano en el mercado local de la provincia de Cercado, se pretende mitigar la degradación orgánica de la misma que produce gases tóxicos (metanol y otras sustancias) interfiriendo con la salud pública (malestares, mal olor y presencia de insectos) y el medio ambiente.

### **1.3 Objetivos**

Entre los objetivos planteados para el siguiente trabajo de investigación se describen a continuación:

#### **1.3.1 Objetivo general**

Aplicar la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica que permita elaborar aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*, con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas de banano variedad *Williams* con el propósito de conocer su porción comestible y no comestible.
- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas banano variedad *Williams* con el fin de establecer su composición.
- Realizar el control de los parámetros: °Brix, pH, y acidez, en las pruebas preliminares con el fin de obtener una muestra ideal durante el proceso de fermentación alcohólica.
- Aplicar el diseño factorial  $2^3$  con la finalidad de establecer las variables que influyen en el proceso de fermentación alcohólica, para la obtención de aguardiente de pulpa de banano.
- Aplicar la evaluación sensorial para determinar las propiedades organolépticas en las muestras experimentales con el fin de evaluar su aceptabilidad.

- Determinar las propiedades físicas y fisicoquímicas del aguardiente de pulpa de banano, con la finalidad de conocer su composición.
- Realizar el balance de materia y energía a nivel experimental con el propósito de conocer las corrientes de entradas y salidas del producto del proceso.

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

Aplicación de la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica, con la finalidad de obtener aguardiente de pulpa de banano.

#### **1.5 Campo de acción**

Para la realización del presente trabajo de investigación, se tomaron los siguientes campos de acción:

- **Espacial**

El trabajo de investigación se realizó en la provincia Cercado de la ciudad Tarija.

- **Temporal**

El tiempo de realización del presente trabajo de investigación fue durante la gestión 2022.

- **Institución**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.), perteneciente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

#### **1.6 Planteamiento del problema**

Debido que el banano es una fruta altamente perecedera, se ve en la necesidad de transformar esta materia prima en subproducto “aguardiente” con el fin de poder mejorar su valor agregado que en determinadas épocas del año incrementa la oferta en el mercado local afectando la economía de los fruticultores y a su vez ocasionando problemas de salud ambiental por la degradación orgánica del banano debido a la falta de aprovechamiento. Por lo tanto, la obtención aguardiente de pulpa de banano mediante la aplicación de la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica, permitirá transformar y aprovechar su alto contenido de hidratos de carbono que posee el banano en un producto de calidad.

### **1.7 Formulación del problema**

¿Se podrá elaborar aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams* mediante la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica, con el fin de obtener un producto de calidad en la provincia de Cercado del departamento de Tarija?

### **1.8 Formulación de la hipótesis**

La metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica a ser aplicada permitirá obtener aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams* de calidad en la provincia de Cercado del departamento de Tarija.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Origen del aguardiente**

El aguardiente se originó y difundió por Persia, Siria, Egipto y Sicilia durante la época de Alejandro el Magno que, en aquel entonces, era rey de Macedonia, durante la conquista y organización del Imperio Persa en 327 a.C. La expansión de sus dominios abrió canales comerciales que facilitaron la difusión e influencia de artículos, especies y costumbres entre Asia Meridional, sur y sudeste de Europa y el Norte de África (Ramírez, 2017).

La historia del aguardiente comienza en el siglo XIII, en Italia. En la búsqueda de un elixir que asegurara la vida eterna, los científicos de aquel entonces dedujeron que aquel podría extraerse del espíritu mágico presente en el vino. Así empezó la destilación que dio origen al agua vitae o agua de la vida. (Viteri, 2012).

## **2.2 Definición del aguardiente de frutas**

Según el Instituto Boliviano Normalización y Calidad (IBNORCA, 2020) define un aguardiente como: “Bebida alcohólica obtenida por la destilación especial de mostos de frutas, de zumos de materias amiláceas de origen vegetal, ordinariamente frescos y sanos, sometidos exclusivamente a fermentación alcohólica”.

Según el Código Alimentos Argentino (C.A.A, 2008) con la denominación genérica de aguardiente de frutas, se entiende por aguardiente de frutas a la bebida con graduación alcohólica de 36% a 54% Vol. a 20°C, obtenida de destilados alcohólicos simples de frutas o por destilación de mostos fermentados de frutas. La destilación deberá ser efectuada en forma que el destilado tenga el aroma y el sabor de los elementos naturales volátiles contenidos en el mosto fermentado, derivados de los procesos fermentativos o formados durante la destilación.



### 2.3 Clasificación de bebidas alcohólicas

En la figura 2.1, se muestra la clasificación de bebidas alcohólicas según el proceso de elaboración.

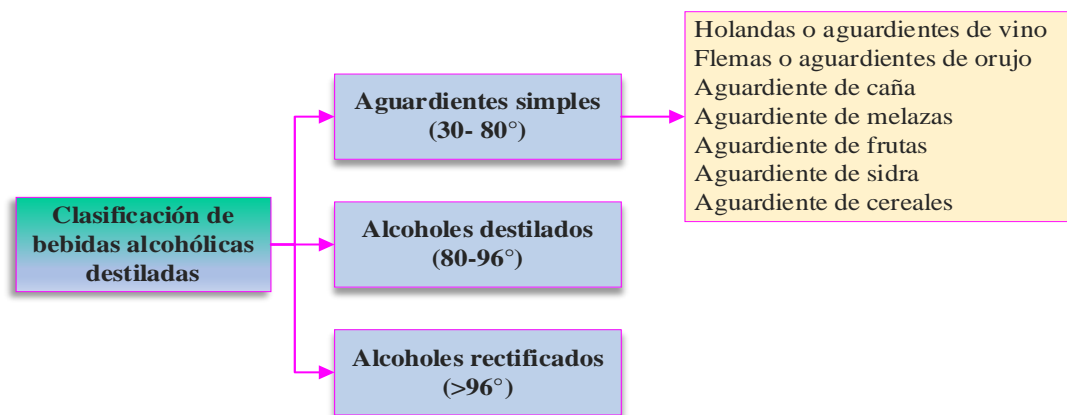


**Fuente:** Pérez, 2020

**Figura 2.1:** Clasificación de bebidas alcohólicas

### 2.4 Clasificación de bebidas alcohólicas destiladas según su graduación alcohólica

En la figura 2.2, se muestra la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas según su grado alcohólico y al tratamiento al que se someten.



**Fuente:** Hernández y Sastre, 2010

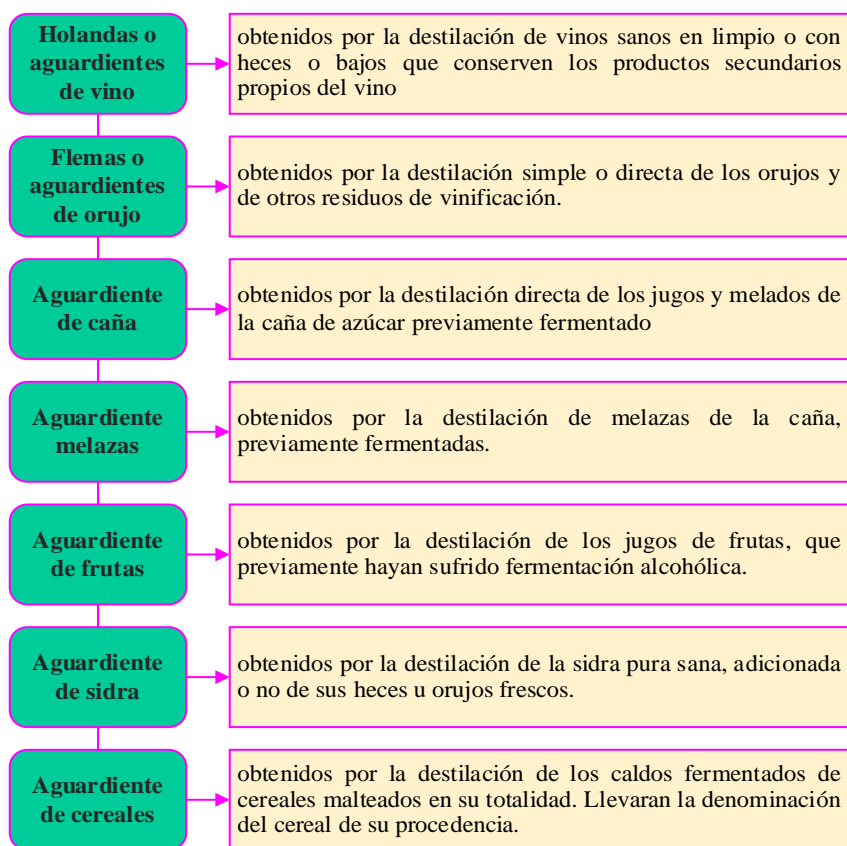
**Figura 2.2:** Clasificación de bebidas alcohólicas destiladas según su graduación alcohólica

## 2.4.1 Descripción de las bebidas alcohólicas destiladas

A continuación, se describen las bebidas alcohólicas destiladas.

### 2.4.1.1 Aguardientes simples

Los aguardientes simples son los líquidos alcohólicos que proceden de la destilación de materias vegetales previamente fermentadas, las cuales ceden sus características peculiares de aroma y sabor, y tienen una graduación alcohólica comprendida entre 30° y 80°. (Hernández y Sastre, 2010). En la figura 2.3, se muestra los tipos de aguardientes simples según la materia prima empleada y los sistemas de obtención y se distinguen los siguientes aguardientes:



**Fuente:** Valencia, 2010

**Figura 2.3:** Tipos de aguardientes simples

### 2.4.1.2 Alcoholes destilados

Los alcoholes destilados son aquellos cuya graduación está comprendida entre 80° y 96°. Según la materia prima empleada y los sistemas de obtención, se distinguen: destilados de vino, de cereales y orujos. (Hernández y Sastre, 2010)

### 2.4.1.3 Alcoholes rectificadas

Los alcoholes rectificadas son aquellos que se han obtenido por destilación y rectificación de aguas ardientes y alcoholes destilados, y su graduación es superior a 96°. Según las materias primas empleadas se distinguen: Rectificadas de vinos, de Orujos, de frutas, de cereales y de melazas (Hernández y Sastre, 2010)

## 2.5 Propiedades fisicoquímico de las bebidas alcohólicas destiladas

En la tabla 2.1, se muestra los parámetros fisicoquímicos de las bebidas alcohólicas destiladas

**Tabla 2.2**

### *Análisis fisicoquímico de las bebidas alcohólicas destiladas*

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
Densidad	g/ml	De acuerdo al destilado	
Alcohol	%(V/V)	38	46,0
Extracto seco total	g/l	De acuerdo al destilado	
Cobre	mg/l	0	0,6
pH	Unidad de pH	4	6,0
Anhídrido sulfuroso	mg/l	0	4,0
Acidez total expresado en ácido acético	mg/l	0	750,0
Metanol	mg/l	0	500,0
Furfural	mg/l	Trazas	30,0
Esteres	mg/l	30	1200,0
Aldehídos	mg/l	20	600,0
Alcoholes superiores	mg/l	150	1200,0
Plomo	mg/l	0	0,0

**Fuente:** IBNORCA, 2015

### 2.5.1 Propiedades fisicoquímico del aguardiente de frutas

En la tabla 2.2, se muestra los parámetros fisicoquímicos del aguardiente de frutas (aguardiente de pulpa de banano).

**Tabla 2.3**

#### *Análisis fisicoquímico del aguardiente de frutas*

<b>Parámetros</b>	<b>Minino</b>	<b>Máximo</b>
Grado alcohólico a 20 °C (% Alcohólico volumétrico)	35	55
Extracto seco (g/l)	0	5
Valores expresados en mg/100 ml de Alcohol Anhidro		
Aldehídos	0	40
Esteres	2	250
Alcoholes superiores	0	500
Metanol	0	300
Furfural	0	5

**Fuente:** Marina, 2017

#### 2.5.1.1 Grado alcohólico

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE, 2016) define al grado alcohólico de las bebidas alcohólicas destiladas como “el volumen de alcohol etílico, expresado en centímetros cúbicos, contenido en 100 cm<sup>3</sup> de bebida alcohólica, a una determinada temperatura de 20°C” (Pág. 1).

Según Vázquez & Dacosta (2007) define como grado alcohólico “el valor en gramos de alcohol puro que se obtienen de la fermentación total de azúcares contenidos en 100 gramos del producto, se expresa en grados Gay Lussac” (Pág. 20).

#### 2.5.1.2 Extracto seco

El extracto seco total o materias secas totales es el conjunto de todas las sustancias que no se volatilizan en determinadas condiciones físicas. Estas condiciones físicas deben establecerse de tal forma que las sustancias que componen el extracto sufran el mínimo de alteraciones (García y Trebes, 2012).

### **2.5.1.3 Aldehídos**

Son el resultado de la oxidación intermedia de los alcoholes y los ésteres; siempre se encuentran en pequeñas cantidades en las bebidas alcohólicas, son productos volátiles y aromáticos que influyen mucho en la calidad de bebidas alcohólicas. Este proceso se da por reacciones muy lentas que suelen producirse con el tiempo así a medida que envejece el licor aumenta la cantidad de acetaldehído por oxidación química del etanol, como lo es el etanal o furfural. (Acevedo, 2013)

### **2.5.1.4 Ésteres**

Los ésteres se forman a partir de la fermentación y se dividen en dos grupos, los que se producen a partir de acetato y etanol y los producidos de etanol y precursores de ácidos grasos de cadena recta. Los ésteres se forman por acción de levaduras; catalizada por la enzima acetiltransferasa que usa el alcohol como sustrato. (Acevedo, 2013)

Según (Hatta et al., 2004) indica que “en general los esteres se consideran como productos de cabeza ya que se destilan principalmente en la primera fracción y su concentración decrece rápidamente durante el proceso de destilación” (Pág. 54).

### **2.5.1.5 Alcoholes superiores**

Los alcoholes superiores se producen durante la fermentación alcohólica y la composición de la mezcla de estos alcoholes es variable, en cuanto a su contenido es del orden de: 80 % de alcoholes amílicos, 15 % de alcohol butílico y 5 % de otros (por ejemplo, alcohol propílico). Debido a su olor característico, estos alcoholes pueden tener una influencia fuerte sobre el sabor de las bebidas destiladas, así como en la reacción fisiológica por parte de los consumidores (dolor de cabeza). (Rivera y Valadez, 2017)

### **2.5.1.6 Metanol**

El metanol es un alcohol que siempre se encuentra presente en todas las bebidas alcohólicas en mayor o menor proporción. Proviene de la hidrólisis de las pectinas

(pectinas solubles y propectinas), de las frutas durante la fermentación. La pectina que es una cadena de núcleos galacturónicos (ácido péctico), se esterifica con el alcohol metílico, por esta razón, la fermentación se acompaña de la hidrólisis de este éster, donde se libera el metanol y el ácido péctico se insolubiliza. (Rivera y Valadez, 2017)

#### **2.5.1.7 Furfural**

Es un compuesto que, de manera natural se forma solo por deshidratación de las pentosas existentes en las bebidas, su importancia radica en los cambios de color, sabor y olor que puede provocar a la bebida; se le considera un compuesto moderadamente tóxico que, bajo ciertas condiciones de temperatura y acidez, puede ser precursor de compuestos de toxicidad alta. (Microlab industrial, 2019)

El Furfural ( $C_5H_4O_2$ ), aldehído aromático, en estado puro es un líquido aceitoso incoloro, que expuesto al aire rápidamente cambia a color amarillo, presenta un riesgo de toxicidad en alta concentración. Este compuesto se forma de la deshidratación de las pentosas en medio ácido y con calor. Su concentración varía de acuerdo al tipo de bebida, al tipo de destilación y de acuerdo a las reacciones que presenta su proceso de añejamiento. (Hatta et al., 2004)

### **2.6 Caracterización de la materia prima utilizada en la obtención del aguardiente de banano**

La materia prima utilizada en el proceso de elaboración de aguardiente de banano se describe a continuación:

#### **2.6.1 Banano**

El banano es una planta herbácea, que pertenece a la familia musácea, y que ostenta normalmente entre 3 o 4 metros de alto. Su tallo está rodeado por las vainas de las hojas y el fruto que resulta de él, que es una baya que tiene la particularidad de crecer en racimos, es ampliamente apreciado y consumido en el mundo como alimento. Popularmente se lo conoce como banano o banana. Cabe destacarse que el banano se desarrolla y crece en aquellas zonas tropicales y subtropicales. Por otra parte, la palabra

plátano se emplea para denominar al fruto de la indicada planta, banana o banano, que se caracteriza por ser alargado y de coloración amarilla (Ucha, 2013).

Según PRO ECUADOR (2013) indica que “El banano es una fruta, con grandes propiedades nutritivas que aportan una buena cantidad de carbohidratos y fibras además contiene potasio magnesio, y ácido fólico” (Pág. 4).

### **2.6.2 Variedad Williams**

Por las características del cultivo, la variedad Williams manifiesta una alta producción y calidad en el fruto. Además, la fisonomía del cultivo se presenta como una planta semi-enana de pseudotallo vigoroso y con un amplio sistema radicular que le da mayor resistencia al volcamiento por la fuerza del viento. Sobresale, también, la resistencia que tiene frente a situaciones extremas (clima, suelo y agua) (Cuellar y Morales, 2005).

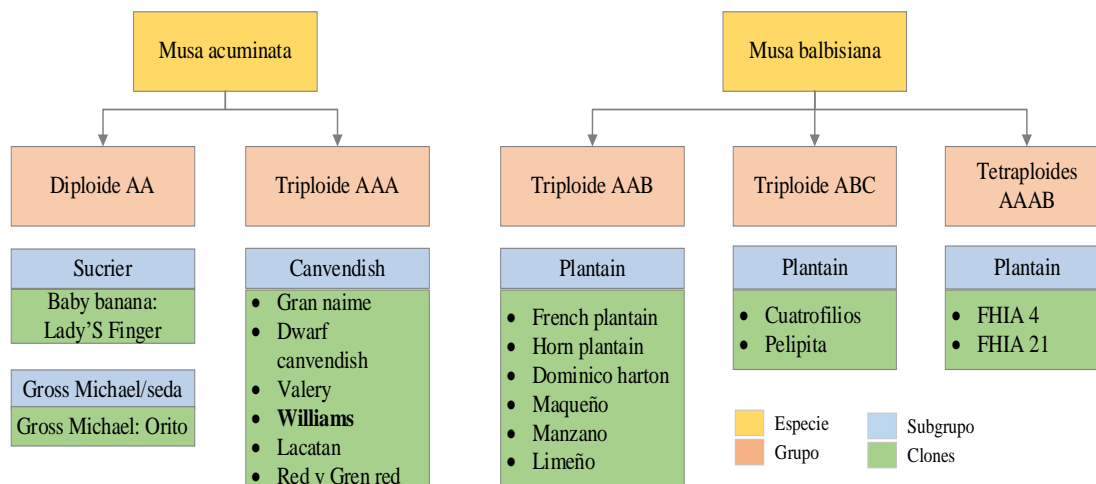
La importación de esta variedad inicio en 1968, en el Oeste de Australia, la cual se puso en cuarentena. En 1974, se realizó un experimento en Bugershall (África), donde la plantación fue liberada en 1997, en la fase de crecimiento. Desde ese momento, la aceptación de la variedad Williams fue creciendo (Cuellar y Morales, 2005).

Esta variedad del banano es la segunda en importancia de exportación, después del Gran enano. El Williams, tiene un pseudotallo aproximadamente de 3.5 a 4.0 metros, su tejido foliar está ligeramente en posición vertical. A comparación con el Gran Enano: tiene un menor potencial fotosintético, posee cierta resistencia para enfermedades foliares, su racimo es más cónico (por lo que su poda es más precisa) y tiene una gran adaptabilidad (Cuellar y Morales, 2005).

### **2.6.3 Clasificación del banano**

Según Guzmán (2014) indica que “existe más de 1000 variedades de banano en el mundo aproximadamente, subdivididos en 50 grupos. El banano más popular es la variedad conocida como Cavendish, que se produce para los mercados de exportación”.

En la figura 2.4, se presentan algunas de las variedades más representativas, según su especie, grupo, subgrupo, clones y otros nombres comunes:



**Fuente:** PRO ECUADOR, (2013)

**Figura 2.4:** Clasificación de las especies de banano y plátano

Como se puede observar en la figura 2.4, el subgrupo Cavendish incluye varios tipos de banano como el Gran enano, Valery, Williams, entre otros. En el Mercado Campesino de la provincia de Cercado, se comercializa la variedad *Williams* en su gran mayoría.

## 2.7 Clasificación taxonómica de banano

En la tabla 2.3, se muestra la clasificación taxonómica de banano

**Tabla 2.4**

**Composición taxonómica del banano**

Taxonomía	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Orden:</b>	Zingiberales
<b>Familia:</b>	Musaceae
<b>Genero:</b>	Musa
<b>Especie:</b>	Musa acuminata

**Fuente:** Mozombite, 2019.



## 2.8 Composición química del banano

En la tabla 2.4, se muestra la composición química del banano

**Tabla 2.5**

*Composición química del banano*

Componentes	Valor	Unidad
Agua	75,70	g
Proteínas	1,10	g
Lípidos	0,20	g
Carbohidratos	22,20	g
Fibra	0,60	g
Vitaminas		
Vitamina B1	0,05	mg
Vitamina B2	0,06	mg
Vitamina B6	0,32	mg
Vitamina C	10,00	mg
Acido málico	500,00	mg
Ácido cítrico	150,00	mg
Minerales		
Sodio	1,00	mg
Potasio	420,00	mg
Calcio	8,00	mg
Magnesio	31,00	mg
Hierro	0,70	mg
Fosforo	28,00	mg
Calorías	85,00	kcal

**Fuente:** (CEPROBOL, 2014)

## 2.9 Propiedades nutricionales del banano

Las propiedades nutritivas del banano lo distinguen como una de las frutas frescas de mayor aporte calórico por 100 gramos de alimento neto. Por otro lado, su composición destaca por su elevado aporte de hidratos de carbono y bajo en grasa y proteína, aunque el tipo de hidrato de carbono en el banano varía en función del grado de madurez, de modo que las piezas más verdes presentan mayor proporción de almidón, y las más maduras de sacarosa, fructosa y glucosa. Junto a ello, el banano presenta cantidades variables de taninos, inulina y fructooligosacáridos no digeribles. (Moneo, 2019)

En cuanto a su aporte en minerales destaca su contenido en potasio y magnesio, así como un bajo aporte de sodio. Del mismo modo, el banano es una fuente natural de fibra, y su contenido en vitaminas es muy interesante, ya que aporta vitamina B6 y vitamina C, además de mucho potasio y manganeso (Moneo, 2019).

### **2.10 Aplicaciones del banano**

Según Vargas, (2019) indica que “el mercado de banano en el mundo es de consumo fresco. Una cantidad mínima se destina a procesos industriales para la obtención de productos alimenticios” (Pág. 41). En general el banano puede ser utilizado industrialmente como materia prima en la obtención de productos como:

- Banano deshidratado o secado en hojuelas
- Banano congelado
- Banano en almíbar, cremas, purés, compotas, pulpas
- Banano liofilizado
- Bebidas alcohólicas y etanol a partir de banano
- Harina y polvo de banano
- Jaleas, mermeladas, confitados
- Jugos, néctares, y bebidas de banano
- Vinagre de banano
- Saborizantes y aromatizantes de banano
- Jarabe de glucosa y fructosa

Según Vargas, (2019) indica que “los deshechos fibrosos del cultivo también sirven como materia prima para la elaboración de pulpas celulósicas, almidón y productos químicos” (Pág. 41).

### **2.11 Caracterización de los insumos en la elaboración del aguardiente de banano**

Los insumos que forman parte del proceso para la obtención de aguardiente de banano, detallado a continuación.

### **2.11.1 Azúcar**

(Werner, 2005) afirma: “La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa, que se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha. El 27% de la producción total mundial se realiza a partir de la remolacha y el 73% a partir de la caña de azúcar”

### **2.11.2 Agua potable**

Según la Norma Boliviana 512 define como agua potable a aquella que, por sus características organolépticas, fisicoquímica, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumplen con lo establecido. (IBNORCA, 2016. Pág. 1)

### **2.11.3 Levadura vinífica (*Saccharomyces cerevisiae*)**

Las levaduras son hongos unicelulares que se han utilizado durante siglos para la obtención de productos como el vino, la cerveza o el pan. Todas metabolizan azúcares como la glucosa, fructosa y manosa, pero algunas son capaces de hacerlo en condiciones anaerobias, con la producción de alcohol y anhídrido carbónico en el proceso conocido como fermentación. La reproducción de las levaduras, en especial las utilizadas en la industria, es normalmente asexual. Se produce a través de gemación en la superficie; no obstante, también puede darse la reproducción sexual en determinadas condiciones (De Martin, 2005).

Las características de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en cultivos jóvenes son de forma redonda, ovalada y lisa, y tiene un tamaño de 4 a 14 micras de longitud por 3 a 7 micras de ancho. Forman colonias de color crema, blancas y húmedas en mosto agar. Toleran un rango de pH de 3.5 a 4 (Apaza, 2016).

### **2.11.4 Ácido cítrico**

Según (Muñoz, 2019) indica que el ácido cítrico es un polvo cristalino blanco, que se presenta de manera anhidra o como mono hidrato, el cual se concentra de forma natural en las frutas y verduras, tiene un pH entre 3-6 y es un ácido orgánico débil, el cual se

utiliza con la finalidad de disminuir el pH para inactivar las enzimas oxidativas que provocan rápidamente el oscurecimiento en superficie cortadas de frutas y hortalizas.

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). Se utiliza principalmente en productos alimenticios a base zumos de frutas, productos congelados, mermeladas, bebidas refrescantes y otros. 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).

#### **2.11.5 Nutriente Enovit P**

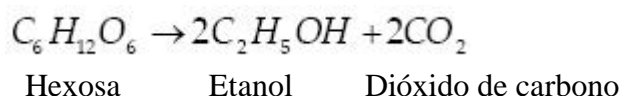
Regula la activa las fermentaciones de mostos y vinos, mediante la estimulación de la actividad multiplicadora de las levaduras. Esto se traduce en un inicio rápido de la fermentación con una corta duración de la fase de latencia. Enovit P establece el contenido óptimo amoniacal, así como un justo aporte vitamínico y en microelementos, en caso de carencias nutritivas debidas a las características del cultivar o de las uvas excesivamente maduras o botritizadas y en mostos clarificados. Provocando un aumento de la concentración celular, Enovit P prolonga la vitalidad de las levaduras favoreciendo el final de la fermentación, sobre todo en la fase crítica de crecimiento de la población de la levadura. (AEB, 2022)

#### **2.12 Fermentación alcohólica**

La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno - O<sub>2</sub>), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en forma de gas y unas moléculas de ATP que

consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ellos (Espinoza, 2013).

Este tipo de fermentación es una bioreacción, esta transforma los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, se representa mediante la ecuación general:



Esta fermentación se produce gracias a las levaduras, siendo la *Saccharomyces cerevisiae* la más utilizada. Otros autores señalan a algunos hongos y bacterias, como la *Zymomonas mobilis* también producen alcohol (Vázquez y Dacosta, 2007).

### **2.12.1 Factores que influyen en la etapa de fermentación alcohólica**

Existen factores físicos y químicos que inciden positiva o negativamente en el transcurso de la fermentación alcohólica, ya sea actuando sobre el desarrollo de las levaduras o incidiendo directamente en el proceso fermentativo (Zuleta, 2018. Pág. 3); y los cuales son los siguientes:

#### **2.12.1.1 Concentración de azúcares**

La concentración excesiva de hidratos de carbono en forma de monosacáridos y disacáridos puede frenar la actividad bacteriana. De la misma forma la baja concentración puede frenar el proceso. Las concentraciones límite dependen del tipo de azúcar, así como de la levadura responsable de la fermentación (Espinoza, 2013).

#### **2.12.1.2 pH**

La actividad de las levaduras disminuye cuando se encuentra a niveles de pH bajos. Por lo que en un pH óptimo es donde el metabolismo de las levaduras es satisfactorio para promover un buen consumo del sustrato. Según varias investigaciones el pH óptimo para el crecimiento de las levaduras en la fermentación alcohólica oscila en el rango de 3 y 5 (Leal et al., 2014).

El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación ya que las levaduras se encuentran afectadas claramente por el ambiente, bien sea alcalino o ácido. Por regla general el funcionamiento de las levaduras está en un rango que va aproximadamente desde 3,5 a 6 pH. Los procesos industriales procuran mantener los niveles óptimos de acidez durante la fermentación usualmente mediante el empleo de disoluciones tampón. Los ácidos de algunas frutas (ácido tartárico, málico) limitan a veces este proceso (Espinoza, 2013).

Es un factor importante en la fermentación, debido a su importancia en el control de la contaminación bacteriana como también el efecto en el crecimiento de las levaduras, en la velocidad de la fermentación y en el rendimiento de etanol con *Sacharomyces cerevisiae*. La reacción óptima para un proceso fermentativo con levaduras se debe realizar a un pH de 4,5 y 5,0. (Carpenter, 1988).

### **2.12.1.3 Temperatura**

La temperatura en el proceso de fermentación es exotérmica, y las levaduras tienen un régimen de funcionamiento en unos rangos de temperatura óptimos, se debe entender además que las levaduras son seres mesófilos. La mayoría cumple su misión a temperaturas de 30 °C (Espinoza, 2013).

Según Gonzales, (1978) indica que “La temperatura puede tener lugar en un rango de temperatura desde los 13°C- 35°C. Cuanto mayor sea la temperatura dentro del rango establecido mayor será la velocidad del proceso fermentativo siendo también mayor la proporción de productos secundarios. Sin embargo, a menor temperatura es más fácil conseguir un mayor grado alcohólico, ya que a altas temperaturas hacen fermentar más rápido a las levaduras llegando a agotarlas antes”.

### **2.13 Descripción del proceso tecnológico para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano**

Las operaciones más importantes para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano, son las siguientes:

### **2.13.1 Fermentación**

El proceso de fermentación es catabólico de oxidación incompleta, dando como resultado final un compuesto orgánico como el alcohol o etanol. Dichos productos son los que caracterizan una cantidad numerosa de fermentaciones. En este proceso, las bacterias, levaduras y mohos producen energía que separan las sustancias vegetales, sin nitrógeno o algunos de sus derivados. Esta energía es acumulada, para dar pase a la fermentación. Hay dos tipos de fermentación: anaeróbica y aeróbicas (Moreno, 2016).

### **2.13.2 Tipos de fermentación**

#### ◆ **Fermentación láctica**

La fermentación láctica se lleva a cabo en el citoplasma celular. A través del glucolisis se obtiene dos moléculas de piruvato a partir de una molécula de glucosa, numerosos microorganismos fermentan la glucosa y otras hexosas a lactato en condiciones anaeróbicas. Este proceso inicia mediante una reacción catalizada por una deshidrogenasa láctica ligada a dinucleótido de nicotina mida adenina (NAD) (Zuleta, 2018).

#### ◆ **Fermentación alcohólica**

Fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación en ausencia de  $O_2$ , originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (glucosa, fructosa, sacarosa, almidón, etc.) para obtener como productos finales un alcohol en forma de etanol,  $CO_2$  y ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico (Zuleta, 2018).

#### ◆ **Fermentación acética**

Fermentación acética es la fermentación bacteriana por acetobacter, un género de bacterias aeróbicas, que transforman el alcohol en ácido acético. La fermentación acética del vino proporciona el vinagre debido a un exceso de  $O_2$ . La formación de ácido acético resulta de la oxidación de un alcohol por la bacteria de vinagre en presencia del  $O_2$ . Estas bacterias, a diferencia de las

levaduras productoras de alcohol, requieren un suministro de  $O_2$  para su crecimiento y actividad (Zuleta, 2018).

### **2.13.3 Destilación**

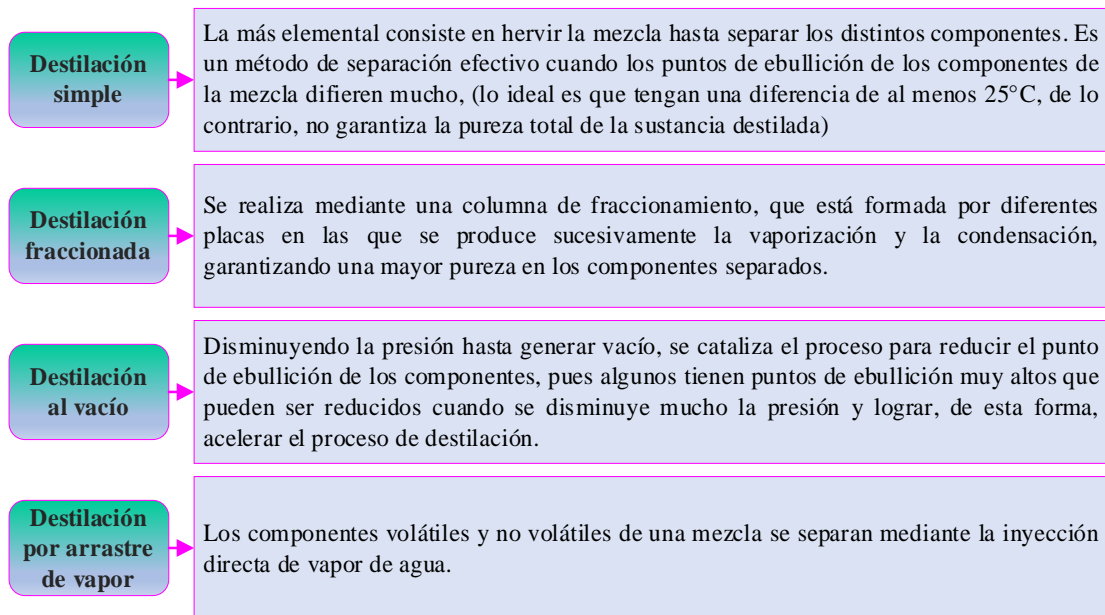
El proceso de destilación se encarga de eliminar las impurezas que se encuentran en las sustancias líquidas, así sea una pequeña cantidad estas son eliminadas en su totalidad por algún tipo de destilación, efectuándose una purificación. La propiedad fundamental es dividir las mezclas de los líquidos, sustentándose en la diferencia de presión de vapor de los diferentes componentes de la mezcla. Cuando se calienta, los componentes se evaporan y se condensan; posteriormente, el vapor se enriquece con los componentes más volátiles (Sarmiento, 2013).

La destilación es una operación unitaria que consiste en la separación de los componentes de una mezcla líquida (en la que todos los compuestos son más o menos volátiles) por evaporación y condensación sucesivas. La separación se basa en la diferencia de volatilidades absolutas de los componentes, lo que tiene como consecuencia la formación de un vapor de composición diferente a la del líquido del que procede. Lógicamente, cuanto mayor sea la diferencia de volatilidades mayor será la separación que se puede conseguir. (Marcilla, 2015)

### **2.13.4 Tipos de destilación**

En la figura 2.5, se muestra los tipos de destilación según el método de separación de fases:





**Fuente:** Zapata et al., 2020

**Figura 2.5** Tipos de destilación

### 2.13.5 Destilación al vacío

La destilación al vacío consiste en la disminución de la presión y la temperatura a la cual destila el etanol azeótricamente, es decir, si se utilizan presiones por debajo de 101,3 kPa y temperaturas por debajo de 78,60°C se puede romper el azeótropo de etanol y la destilación puede continuar (Orozco, 2010). Así mismo, (Guzmán, 2007) indica que la destilación al vacío es realizada a presión reducida, lo que permite la purificación de compuestos que no se destilan fácilmente a presiones ambientales, esta técnica separa los compuestos en función de las diferencias en los puntos de ebullición. Esta técnica se usa cuando el punto de ebullición del compuesto deseado es difícil de alcanzar.

En el caso de la destilación a vacío, se trata de una destilación sencilla o fraccionada realizada a presión reducida donde este hace de las temperaturas de ebullición sean más bajas, lo que permite separar sustancias con puntos de ebullición elevado y/o que puedan descomponerse a temperaturas elevadas (Pantoja, 2005).

### **2.14 Equipo Rotavapor Buchi R-100**

El Rotavapor® R-100 es un evaporador rotatorio que permite destilaciones en una etapa de forma rápida y sin dañar el producto. Este proceso se basa en la evaporación y condensación de disolventes utilizando un matraz evaporador rotatorio al vacío. El producto se calienta en el matraz evaporador con el baño calefactor. El accionamiento de rotación gira el matraz evaporador de forma continua. Así mismo, la rotación impide un sobrecalentamiento local y un retardo de ebullición. El vapor procedente del matraz evaporador entra en la superficie de refrigeración (condensador) a través del conducto de vapor. Aquí se transfiere la energía térmica del vapor al líquido refrigerante para que el vapor se condense de nuevo. El disolvente que se obtiene se acumula en el matraz receptor y puede reutilizarse o desecharse adecuadamente (BUCHI, 2019).

**CAPÍTULO III**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**

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

El desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación “Elaboración de aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams*”, se realizó en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A), perteneciente a la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **3.2 Tipo de intervención para la parte experimental**

El presente trabajo de investigación considera la metodología para elaborar aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams*”, utilizando la metodología experimental a nivel de laboratorio con el fin de desarrollar un producto en base a los siguientes métodos:

- ✦ Análisis físico del banano variedad *Williams*
- ✦ Análisis fisicoquímico y microbiológico del banano variedad *Williams*
- ✦ Análisis del diseño factorial  $2^3$  de las variables en el proceso de fermentación
- ✦ Análisis organoléptico del aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams*
- ✦ Método y técnicas de los análisis fisicoquímicos del aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams*
- ✦ Operacionalización de las variables para la elaboración de aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams*

### **3.3 Estructura epistemológica- metodológica**

En la presente investigación, se tomó en cuenta la siguiente estructura metodológica:

#### **3.3.1 Paradigma investigativo**

Según (Hernández et al., 2018) el paradigma investigativo es un conjunto de normas investigativas que condicionan una actitud científica, a su vez da concepción del objeto de estudio de sus métodos y técnicas para finalmente se dé la interpretación de los resultados, desde el punto de vista metodológico se destacan, significativamente por la

utilización de métodos y técnicas válidos para un análisis objetivo y riguroso de los datos. Así mismo, (Hurtado & Toro, 2007) afirman que el paradigma investigativo es un sistema de valores, metas y principios que determinan la visión que una determinada comunidad científica tiene de la realidad, así como los métodos y técnicas para la búsqueda de respuesta y soluciones del problema (Pág. 15).

### **3.3.2 Enfoque de la investigación**

El enfoque cuantitativo de investigación se caracteriza por privilegiar la lógica empírico-deductiva, a partir de procedimientos rigurosos, métodos experimentales y el uso de técnicas de recolección de datos estadísticos. Los enfoques de investigación tienen que ver con posicionamientos concretos respecto a la actividad científica, que, a su vez, son herederos de concepciones y modelos amplios acerca de la ciencia, a los cuales se denomina paradigmas científicos (Mata, 2019). Así mismo, (Gómez, 2006) afirma que el enfoque es aquel que utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y a su vez probar hipótesis establecidas previamente relacionadas con la variable que hacen parte del problema, confía en la numeración numérica y el conteo.

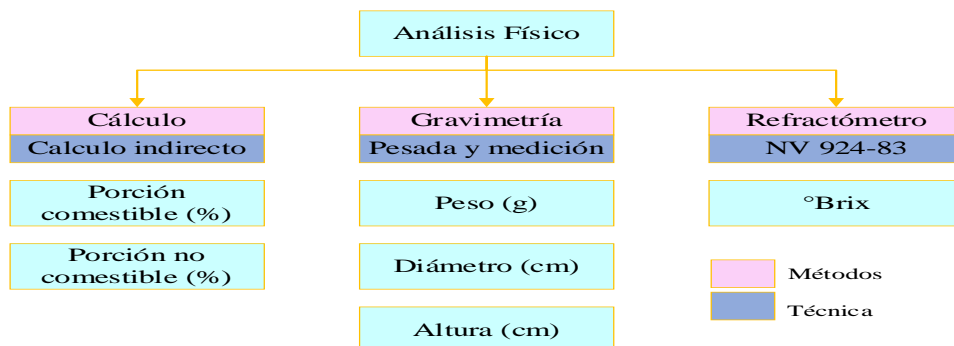
### **3.4 Métodos, técnicas e instrumentos**

El método científico tiende a reunir una serie de características que permiten la obtención de nuevo conocimiento científico y rige toda la actividad científica, desde la gestación del problema hasta la difusión del resultado. Es el único procedimiento que no pretende obtener resultados definitivos y que se extiende a todos los campos del saber (Asensi & Parra, 2002). Por otro lado, las técnicas son las estrategias empleadas para recabar la información y así construir el conocimiento de lo que se investiga, además proponer normas para ordenar las etapas del proceso de investigación de igual modo, proporciona instrumentos de recolección, medición, análisis de datos y aporta a la ciencia los medios para aplicar el método (Martínez, 2013).

Los métodos y técnicas que se utilizaron para la obtención de resultados del presente trabajo de investigación son:

### 3.4.1 Análisis físico del banano variedad *Williams*

En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas de análisis físicos de banano variedad *Williams*, que se realizaron en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

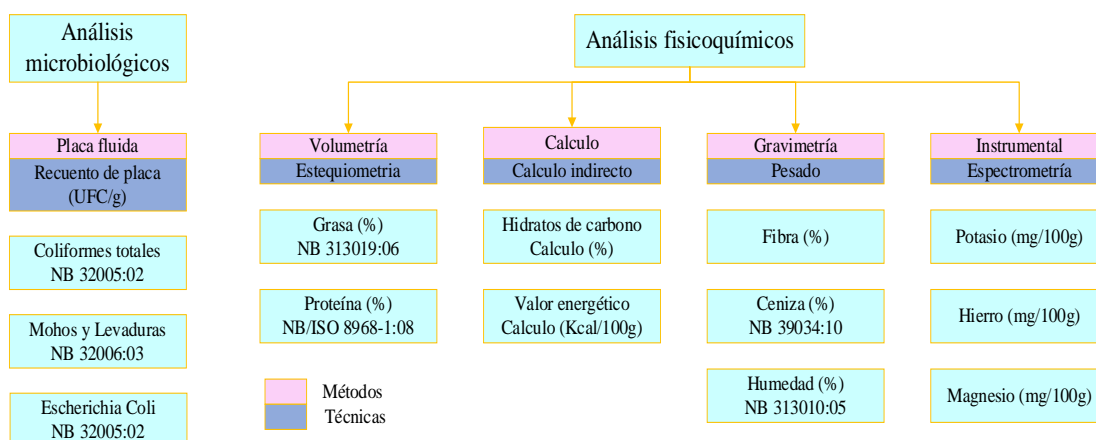


**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura 3.5:** Métodos y técnicas del análisis físico de banano variedad *Williams*

### 3.4.2 Análisis fisicoquímico y microbiológico del banano variedad *Williams*

En la figura 3.2, se muestran los métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de banano variedad *Williams*, realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

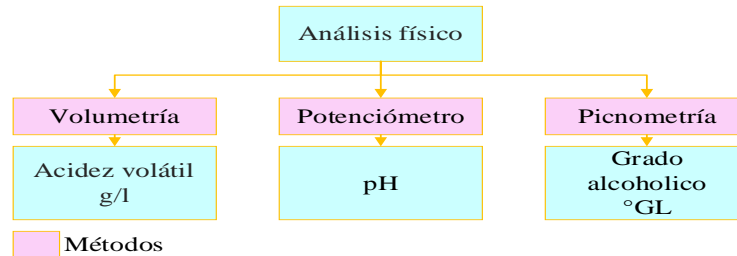


**Fuente:** CEANID, 2022

**Figura 3.6:** Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de banano variedad *Williams*

### 3.4.3 Análisis físico del aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*

En la figura 3.3, se muestran los métodos y técnicas del análisis físico del aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams* que se realizaron en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

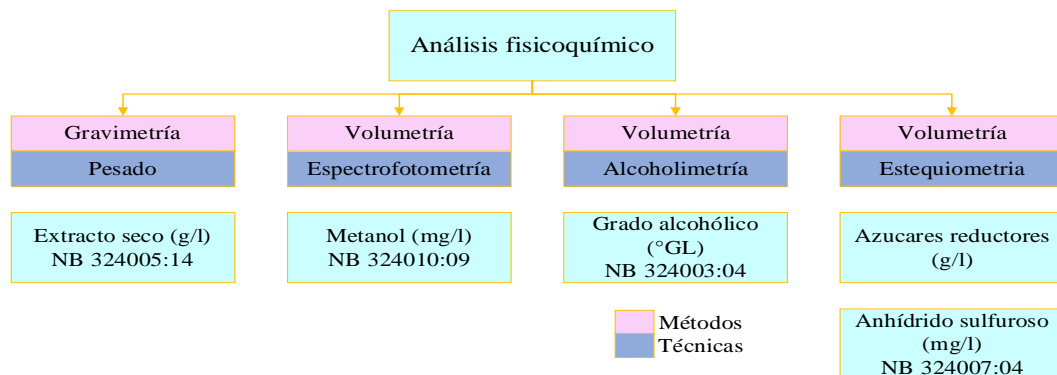


**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura 3.7:** Métodos y técnicas del análisis físico del aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*

### 3.4.4 Análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*

En la figura 3.4, se muestran los métodos y técnicas del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*, realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



**Fuente:** CEANID, 2022

**Figura 3.8:** Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*

### 3.5 Descripción de equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Los equipos instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina que se utilizaron en el trabajo a nivel experimental, se detallan a continuación:

#### 3.5.1 Equipos

En la figura 3.5, se detallan las especificaciones técnicas de los equipos que se utilizaron en el trabajo de investigación y se muestran en el Anexo G.1 (Anexo G).

<p><b>Rotavapor</b> Marca: Buchí</p> <p>Modelo: R-100 Medidas: 617 x 898 x 502 mm Consumo eléctrico: 30-1700 W Operación: Semiautomático Industria: Alemania</p>	<p><b>Cocina industrial</b> Marca: Todo Inox S.R.L</p> <p>Modelo: Cocina de 2 hornallas Material: Acero inoxidable Dimensión: 127x324 mm Operación: Manual Industria: Bolivia</p>
--	---

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.9:** Equipos utilizados en la obtención del producto

#### 3.5.2 Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.6, se detallan las especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo de investigación y se muestran en la Anexo G.2 (Anexo G)

<p><b>Balanza digital</b> Marca: RADWAG</p> <p>Modelo: PS 4500.R2 Medidas: 3,3x3,3x20,4 cm Precisión: 0,1 g Rango: 4500g - 0,5 g Operación: Manual Industria: Poland</p>	<p><b>pH-metro digital</b> Marca: LAQUA</p> <p>Modelo: B08K0006 Medidas: 170x174x73mm Precisión: <math>\pm 0.003</math>pH Rango: 0.0 a 14.00pH Operación: Manual Industria: Japón</p>	<p><b>Balanza analítica digital</b> Marca: RADWAG</p> <p>Modelo: AS 310.R2 Medidas: 3,3x3,3x20,4 cm Precisión: 0,1 g Rango: 310g - 10 mg Operación: Manual Industria: Poland</p>
<p><b>Bureta digital</b> Marca: JENCONS</p> <p>Modelo: Digitrate-PRO 50 Medidas: 99x34mm Precisión: 0,2 Rango: 0,01-50 ml Operación: Manual Industria: España</p>	<p><b>Refractómetro de mano</b> Marca: KRÜSS</p> <p>Modelo: U-3501-101896 Medidas: 3,3x3,3x20,4cm Precisión: 0,2°Brix Rango: 0 a 32 Brix Operación: Manual Industria: Alemania</p>	

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.10:** Instrumentos de laboratorio



### 3.5.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio que fueron utilizados para realizar el presente trabajo de investigación a nivel experimental, se muestran en el Anexo G.3 (Anexo G) y los cuales son los siguientes:

- ◆ **Termómetro** de alcohol de vidrio de 0 a 100°C
- ◆ **Pipeta** de vidrio de 10ml
- ◆ **Vasos precipitados** de vidrio de 100ml
- ◆ **Piseta** mediana de plástico de 500ml
- ◆ **Probeta** de vidrio de 250ml
- ◆ **Matraz Erlenmeyer** de vidrio de 100ml
- ◆ **Picnómetro** de vidrio de 50ml

### 3.5.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que fueron utilizados para realizar el presente trabajo de investigación a nivel experimental, se muestran en el Anexo G.4 (Anexo G) y los cuales son los siguientes:

- ✕ **Cuchara** mediana de acero inoxidable
- ✕ **Cuchara** mediana de madera
- ✕ **Colador** mediano de plástico
- ✕ **Fuente** mediano de acero inoxidable
- ✕ **Jarra graduada** de plástico de 2 litros
- ✕ **Jarra graduada** de plástico de 500ml
- ✕ **Olla** de acero inoxidable
- ✕ **Frascos** de plástico de 5 litros
- ✕ **Frascos** de vidrio de 3 litros

## 3.6 Descripción de la materia prima e insumos alimentarios

La materia prima e insumos alimentarios que se utilizaron en el trabajo a nivel experimental, se detallan a continuación:

### 3.6.1 Banano variedad *Williams*

La materia prima, empleada en el presente trabajo de investigación, se adquirió del Mercado Campesino de la provincia Cercado, ya que en la misma se encuentra banano de la variedad *Williams* que proviene del Chapare del departamento de Cochabamba debido a que esta es la zona de mayor producción de todo el país, la cual es la siguiente:

- ◆ **Banano (*Musa Cavendish*)** - procedencia; Chapare - variedad *Williams*

### 3.6.2 Insumos alimentarios

En la figura 3.7, se detallan los insumos alimentarios que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, se muestran en el Anexo G.5 (Anexo G)

Insumos	Procedencia	Marca
Azúcar refinada	Bermejo	I.A.B.S.A.
Agua potable	Tarija	-
Levadura vinífica	Francia	Laffort
Nutriente	Francia	ENOVIT P
Acido cítrico	China	TTCA
Metabisulfito	China	CERSA

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.11:** Insumos alimentarios

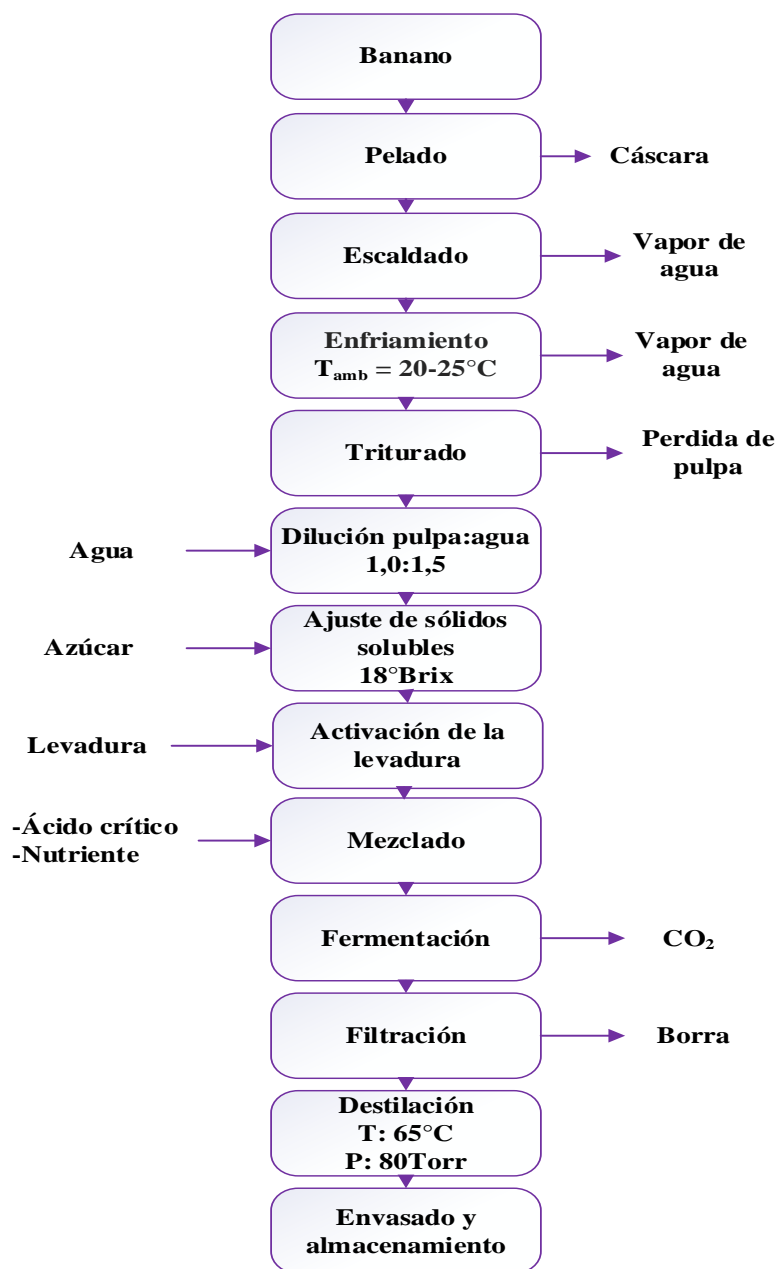
### 3.7 Descripción de reactivos químicos de laboratorio

Los reactivos químicos de laboratorio utilizados para realizar el control de acidez desde el inicio de la fermentación alcohólica, hasta la obtención del aguardiente del presente trabajo de investigación son los siguientes:

- ☠ **Hidróxido de sodio 0,1N**
- ☠ **Azul bromotimol 4%, pH neutro**
- ☠ **Agua destilada**
- ☠ **Alcohol etílico 70%**

### 3.8 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de aguardiente banano variedad *Williams*

En la figura 3.8, se muestra el diagrama de flujo para el proceso de elaboración de aguardiente de banano variedad *Williams*.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.12:** Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de aguardiente de banano variedad *Williams*.

### 3.8.1 Descripción del diagrama de proceso para la elaboración de aguardiente de banano variedad *Williams*

### 3.8.1.1 Banano



En la figura 3.9 se muestra el banano variedad *Williams* que se utilizó en la parte experimental adquirida del mercado Campesino de la ciudad de Tarija proveniente del Chapare

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.13:** Banano

### 3.8.1.2 Pelado



En la figura 3.10, se muestra la etapa de pelado que se realizó al banano variedad *Williams* de forma manual con el objetivo de eliminar la cáscara, para así separar la parte comestible y no comestible de banano.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.14:** Pelado

### 3.8.1.3 Escaldado



En la figura 3.11, se muestra la etapa de escaldado que se realizó a la pulpa de banano variedad *Williams* a una temperatura de 75-80°C por un tiempo de 5 min, con el propósito de inactivar las enzimas, fijar el color natural de los bananos para evitar el pardeamiento enzimático.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.15:** Escaldado

### 3.8.1.4 Enfriamiento

En la figura 3.12, se muestra un recipiente donde se realizó la etapa de enfriamiento de la pulpa, en condiciones normales de temperatura y presión durante un tiempo de 10-15min con el fin de evitar que la pulpa transpire durante el triturado.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.16:** Enfriamiento.

### 3.8.1.5 Triturado



En la figura 3.13, se muestra la etapa de triturado que se realizó a la pulpa previamente escaldada y enfriada, en un recipiente de plástico y con la ayuda de un triturador manual de acero inoxidable

**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.17:** Triturado.

### 3.8.1.6 Dilución de la pulpa: agua



En la figura 3.14, se muestra la etapa de dilución de la pulpa con agua que fue previamente hervida y enfriada a 8°C que se realizó en un recipiente de plástico con una relación de 1 (pulpa):1,5 (agua); con el fin de disolver la pulpa en un medio acuoso a 20°C para las levaduras.

**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 3.18:** Dilución de pulpa: agua

### 3.8.1.7 Ajuste de los sólidos solubles

En la figura 3.15, se muestra el ajuste de los sólidos solubles de la pulpa diluida de banano, y mediante un balance parcial de componentes sólidos solubles, se calculó la cantidad de azúcar que se requiere para ajustar



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.19:** Ajuste de los sólidos solubles en la pulpa diluida

### 3.8.1.8 Activación de la levadura



En la figura 3.16, se muestra la activación de la levadura vinífera *Sccharomyces cerevisiae*, en un recipiente de plástico se agregó levadura (31,66%) con agua tibia (63,33%) a 38°C y azúcar (5,02%) por un tiempo de 20min. Posteriormente, se añade la levadura activada a la pulpa diluida corregida para dar inicio a la fermentación alcohólica.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.20:** Activación de la levadura

### 3.8.1.9 Mezclado



En la figura 3. 17, se muestra la etapa de mezclado de los insumos que se añadió a la pulpa corregida; la levadura activada (0,06%), ácido cítrico (0,14%) y nutriente (0,02%) con la ayuda de una cuchara de palo con el propósito de brindar las condiciones adecuadas que se requiere para iniciar el proceso de fermentación alcohólica.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.21:** Mezclado

### 3.8.1.10 Fermentación



En la figura 3.18, se muestra la fermentación alcohólica que se llevó a cabo en un recipiente de plástico que contiene una trampa de aire por donde se libera el  $\text{CO}_2$  producido por la fermentación, a temperatura ambiente entre ( $18\text{-}21^\circ\text{C}$ ) por un tiempo de 9 días. En esta etapa los azúcares se transforman en alcohol por acción de la levadura. También, se realizó el control de los  $^\circ\text{Brix}$ , pH y acidez durante el proceso de fermentación alcohólica.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.22:** Fermentación alcohólica

### 3.8.1.11 Filtración



En la figura 3.19, se muestra la etapa de filtrado de la pulpa fermentada una vez finalizado el tiempo de fermentación, se realizó el corte de fermentación alcohólica separado las partículas sólidas (mosto) del vino base, con la ayuda de un tamiz N° 20 mediano tipo plástico con abertura de malla (0,84) mm.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.23:** Filtración de la pulpa fermentada

### 3.8.1.12 Destilación



En la figura 3.20, se muestra el proceso de destilación que se realizó en el Rota vapor Bucchi R-100, por un tiempo de 2h a una presión de 85Torr con un baño maría de  $65^\circ\text{C}$ , la temperatura del refrigerante a  $12^\circ\text{C}$ , este equipo realiza una destilación al vacío en menor tiempo, se procedió a separar la cabeza y cola del corazón del aguardiente de banano.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.24:** Destilación.

### 3.8.1.13 Envasado y almacenamiento



En la figura 3.21, se muestra la etapa de envasado y almacenamiento que se realizó del aguardiente de pulpa de banano en botellas de 750cm<sup>3</sup>, las mismas fueron lavadas y desinfectadas con metabisulfito (1g/l) y se almacenó a temperatura ambiente, en un lugar fresco, sin exponer a la luz solar.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.25:** Envasado y almacenamiento.

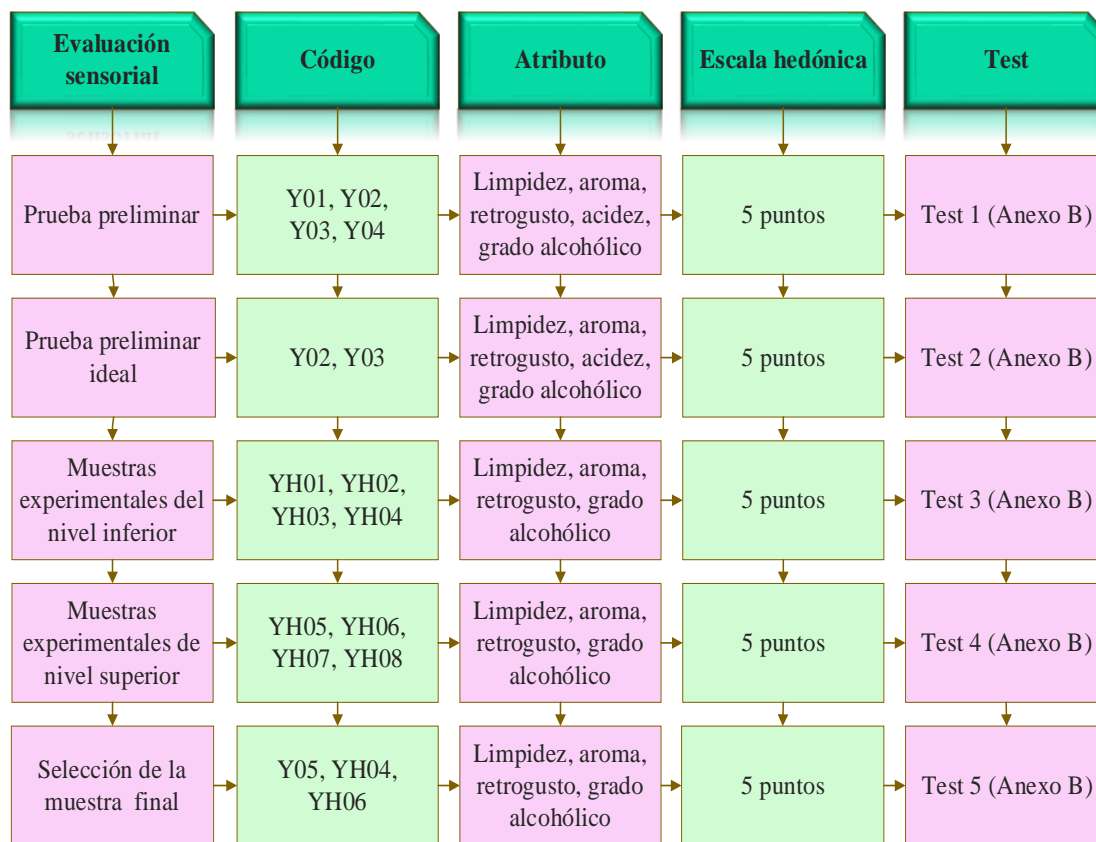
### 3.9 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del ser humano. Este, desde su infancia, y de forma más o menos consciente, acepta o rechaza los alimentos de acuerdo con la sensación que experimenta al observarlos y/o ingerirlos. El propósito de la evaluación sensorial es medir las propiedades sensoriales y determinar la importancia de estas, con el fin de predecir la aceptabilidad del consumidor, con lo cual brinda a la industria, la oportunidad de aprovechar y aplicar estas mediciones. Puede definirse como el conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos por uno o más de los sentidos humanos (INCAP, 2020)

La evaluación sensorial es la ciencia que se encarga de percibir las características organolépticas de los alimentos (color, olor, sabor y textura) por medio de los sentidos del organismo, siendo hoy en día un pilar fundamental para el diseño y desarrollo de nuevos productos alimenticios (Osorio, 2020).

En la figura 3.22, se detallan las evaluaciones sensoriales realizadas en el presente trabajo de investigación para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano, con el objetivo de caracterizar las propiedades organolépticas.





**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.26:** Evaluaciones sensoriales de aguardiente de pulpa de banano.

### 3.10 Diseño experimental

El diseño experimental es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema proceso, que permitan responder las interrogantes planteadas que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del producto o resultado (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

El diseño experimental son técnicas de estadística que permiten indicar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés, a su vez hace constancia las veces que se permite el experimento y el que orden para poder establecer con un grado de significación (Gabriel et al., 2017).

### 3.11 Diseño factorial $2^3$

Con el diseño factorial  $2^3$  se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de  $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$  tratamientos diferentes, los cuales pueden identificarse con las mismas notaciones introducidas con el diseño  $2^2$ . La región experimental ahora es un cubo regular centrado en el origen (0, 0, 0), cuyos vértices son de los 8 tratamientos. Con este diseño se pueden estudiar los  $2^3 - 1 = 7$  efectos: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC. Por lo general, el interés se enfoca en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

#### 3.11.1 Diseño factorial $2^3$ en la etapa de fermentación alcohólica de la pulpa de banano para la obtención de aguardiente

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño factorial  $2^3$  en la etapa de fermentación alcohólica, donde su ecuación básica es la siguiente expresión matemática:

$$2^3 \qquad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

2 = Número de niveles

3 = Número de variables o factores

Para realizar el diseño experimental, se aplica la ecuación 3.1, cuyo diseño experimental corresponde a la ecuación 3.2

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos o corridas} \qquad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

Relación pulpa: agua (A) = 2 niveles

Cantidad de levadura (B) = 2 niveles

Tiempo de fermentación (C) = 2 niveles

En la tabla 3.1, se muestra los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), aplicado en el proceso de fermentación alcohólica del aguardiente de pulpa de banano.

**Tabla 3.6**

*Niveles de variación de los factores en el proceso de fermentación alcohólica*

Factores	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Pulpa:agua (A)	relación	1,0:0,5	1,0:1,5
Levadura (B)	%	0,04	0,06
Tiempo de fermentación (C)	días	9	13

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra la matriz del diseño factorial a ser aplicado en el proceso de fermentación alcohólica para el presente trabajo de investigación.

**Tabla 3.7**

*Matriz de variables para el proceso de fermentación alcohólica del aguardiente de la pulpa de banano*

Corridas	Combinaciones tratamientos	Factores			Interacción de los efectos				Variable respuesta	
		A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y <sub>i1</sub>	Y <sub>i2</sub>
1	(1)	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>
2	a	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>
3	b	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>
4	ab	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>
5	c	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	Y <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>
6	ac	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>
7	bc	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub>
8	abc	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub>

**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

Y<sub>i</sub> = Grado alcohólico (°GL), pH, acidez total (g/l).

### 3.12 Operacionalización de las variables en el proceso de elaboración del aguardiente a partir de pulpa de banano variedad *Williams*

En el cuadro 3.1 se muestra las operacionalizaciones de las variables independientes y dependientes del presente trabajo experimental para la obtención de aguardiente de pulpa de banano.

**Cuadro 3.1**

#### *Operacionalización de las variables para la obtención de aguardiente de pulpa de banano*

Hipótesis	Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	
La metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica a ser aplicada permitirá obtener aguardiente de pulpa de banano variedad <i>Williams</i> de buena calidad en la provincia de Cercado del departamento de Tarija	Variable dependiente	Aguardiente a partir de pulpa de banano	Se entiende por aguardiente de fruta: la bebida espirituosa obtenida exclusivamente por la fermentación alcohólica y destilación de un fruto carnoso o de un mosto de dicho fruto (CEE, 1989)	Evaluación sensorial	5 puntos
				Grado alcohólico	°GL
				Acidez volátil	%
				pH	-
				Metanol	mg/l
				Azúcares reductores	g/l
				Anhídrido sulfuroso total	mg/l
				Extracto seco total	g/l
	Variable independiente	Proceso de fermentación alcohólica	La fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (Espinoza, 2013)	Control de sólidos solubles	18,00 – 5,00 (°Brix)
				Control acidez (ácido cítrico)	g/l
				Control de pH	-
				Pulpa: agua	g
				Cantidad de levadura	g
				Tiempo de fermentación	9 a 13 días
				Control de la temperatura	(15- 25) °C
Destilación al vacío	85(Torr)				
	65°C				

**Fuente:** Elaboración propia

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

#### 4.1 Caracterización de banano variedad *Williams*

Para la caracterización de banano variedad *Williams*, se tomaron en cuenta los resultados del análisis: físicos realizado en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, fisicoquímicos y microbiológicos, realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Juan Misael Saracho los cuales se detallan a continuación:

##### 4.1.1 Análisis físico de la banana variedad *Williams*

En la figura 4.1, se observan las muestras de banana variedad *Williams* en las cuales se realizaron los análisis físicos: altura y diámetro, porción comestible y porción no comestible y sólidos solubles (°Brix).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.27:** Muestra de banano variedad *Williams*

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos del análisis físico de las 20 muestras de banano variedad *Williams*, tomadas aleatoriamente para determinar las propiedades físicas: altura y diámetro, porción comestible y porción no comestible y sólidos solubles (°Brix) realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.

Tabla 4.8

Parámetros físicos de banano variedad *Williams*

Muestras	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Porción comestible (%)	Porción no comestible (%)	Grados °Brix
1	15,00	3,58	149,88	68,52	31,48	19,00
2	14,93	3,88	145,77	70,57	29,43	18,00
3	13,80	3,52	135,57	70,61	29,39	22,00
4	14,87	3,85	132,13	71,26	28,74	19,00
5	14,25	3,80	130,25	70,86	29,14	21,00
6	14,30	3,83	125,57	68,83	31,17	18,00
7	15,21	3,90	150,80	69,91	30,09	21,00
8	15,23	3,73	152,28	69,70	30,30	20,00
9	15,14	3,57	148,40	70,60	29,40	19,00
10	13,90	3,25	135,62	68,57	31,43	21,00
11	15,40	3,93	152,09	70,65	29,35	20,00
12	13,80	3,55	135,63	70,91	29,09	18,00
13	14,44	3,77	139,11	70,69	29,31	21,00
14	14,23	3,81	143,76	68,62	31,38	18,00
15	14,46	3,84	139,98	71,35	28,65	19,00
16	13,56	3,45	132,43	70,89	29,11	21,00
17	13,89	3,53	136,44	71,17	28,83	22,00
18	15,12	3,71	149,23	70,15	29,85	20,00
19	14,77	3,86	145,39	69,53	30,47	20,00
20	13,92	3,21	135,04	71,30	28,70	21,00
$\Sigma$	290,22	73,57	2815,37	1404,67	595,33	398,00
Promedio	14,51	3,68	140,77	70,23	29,77	19,90

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos del análisis físico de las muestras de banano variedad *Williams*, tomadas de forma aleatoria para determinar las propiedades físicas: altura 14,51 cm, diámetro 3,68cm, peso 140,62g, porción comestible (PC) 70,31%, porción no comestible (PCN) 29,69% y °Brix 19,90.

#### 4.1.2 Análisis fisicoquímico de banano variedad *Williams*

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de banano variedad *Williams* de datos extraídos del Anexo A.

**Tabla 4.9**

##### Parámetros fisicoquímicos banano variedad *Williams*

Parámetros	Unidad	Resultado
Potasio	mg/100g	270,20
Magnesio	mg/100g	37,80
Ceniza	%	1,08
Fibra	%	0,40
Grasa	%	0,50
Hidratos de carbono	%	23,27
Humedad	%	73,44
Proteína total (Nx6,25)	%	1,31
Valor energético	Kcal/100g	103,50

**Fuente:** CEANID,2022

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de banano variedad *Williams* que presenta: potasio 270,20 mg/100g; magnesio 37,80 mg/100g; ceniza 1,08%; fibra 0,40%; grasa 0,50%; hidratos de carbono 23,27%; humedad 73,44%; proteína total 1,31% y valor energético 103,50 Kcal/100g.

#### 4.1.3 Análisis microbiológico de banano variedad *Williams*

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de banano variedad *Williams* de datos extraídos del Anexo A.

**Tabla 4.10**

##### Parámetros microbiológicos de banano variedad *Williams*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0 x 10 <sup>1</sup> (*)
Escherichia coli	UFC/g	< 1,0 x 10 <sup>1</sup> (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	< 1,0 x 10 <sup>1</sup> (*)

**Fuente:** CEANID, 2022

(\*)No se observa desarrollo de colonias



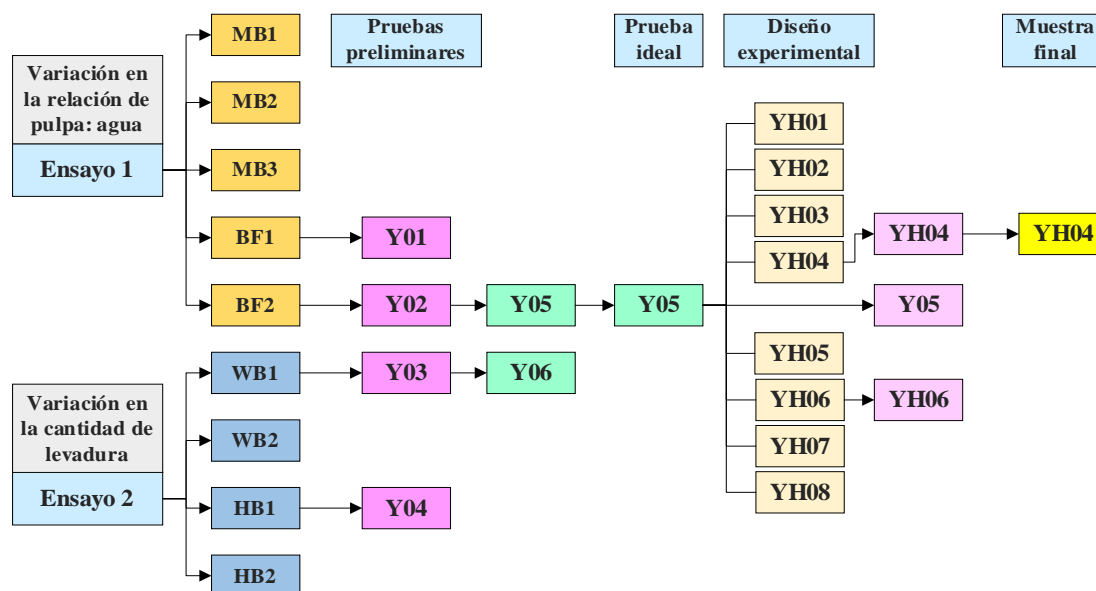
En la tabla 4.3, se observa los resultados del análisis microbiológico de banano variedad *Williams* que presenta: Coliformes totales  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g; *Escherichia coli*  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g; mohos y levaduras  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g.

#### 4.2 Caracterización de las variables del proceso para la obtención de aguardiente de banano variedad *Williams*

Para la caracterización de las variables de proceso en la elaboración de aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*, se tomaron en cuenta las pruebas preliminares con el fin de obtener la mejor metodología experimental que permita la elaboración del aguardiente de pulpa de banano.

##### 4.2.1 Pruebas iniciales para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano variedad *Williams*

Para desarrollar la parte experimental de elaboración de aguardiente de pulpa de banano, se procedió a realizar diferentes ensayos con el fin de obtener una metodología experimental para lo cual; se tomó en cuenta la dosificación base por (Silva, 2020). Para tal efecto se prepararon distintas muestras variando la formulación porcentual del ensayo 1 (pulpa:agua) y para el ensayo 2 (levadura); con la finalidad de obtener una muestra ideal, como se detalla en la figura 4.2.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.28:** Pruebas iniciales para la obtención de aguardiente de banano

#### 4.2.1.1 Pruebas iniciales variando la relación de pulpa y agua en el ensayo 1

Para realizar el ensayo 1, se desarrollaron cinco muestras (MB1, MB2, MB3, BF1 y BF2) de aguardiente de pulpa de banano (figura 4.2) con distintas formulaciones según lo recomendado por (Silva, 2020) a temperatura ambiente (20 - 25°C), como se detalla en la tabla 4.4.

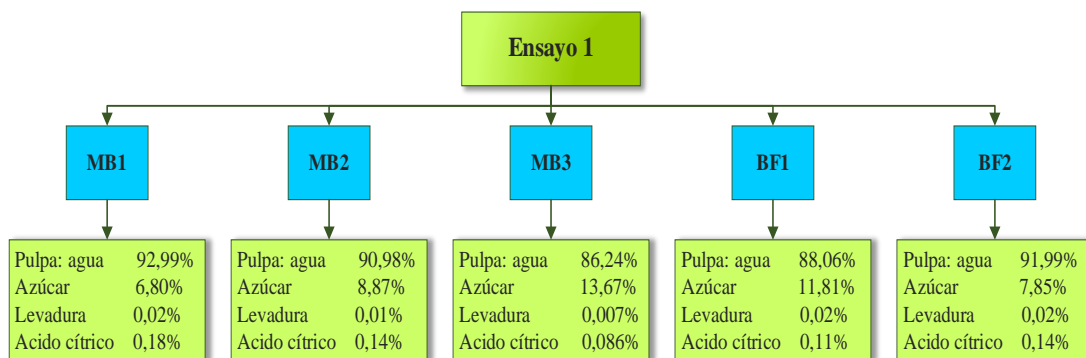
**Tabla 4.11**

#### *Variación de formulación de aguardiente de pulpa de banano*

Materia prima / Insumos	Rango	Unidad
Pulpa: agua	92,99 - 86,220	%
Azúcar	13,67 - 6,800	%
Levadura	0,06 - 0,007	%
Ácido cítrico	0,18 - 0,086	%
Tiempo de fermentación	10 -14	Días

**Fuente:** Silva, 2020

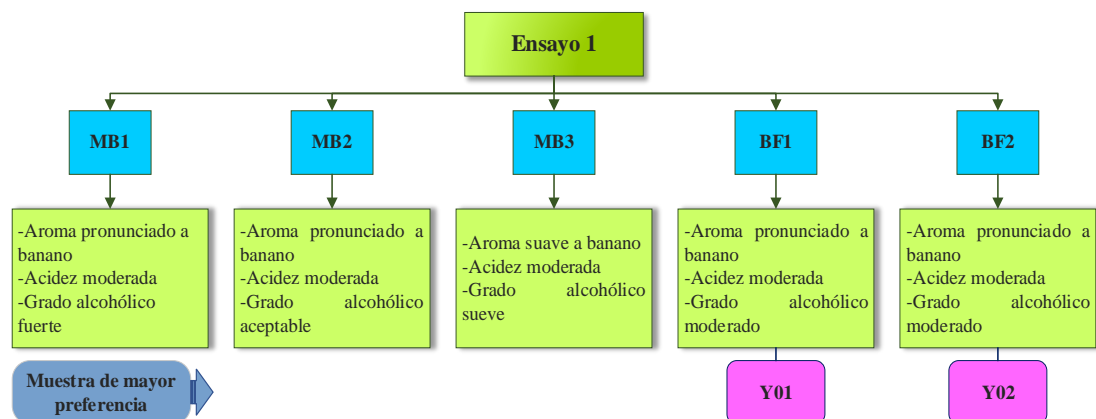
En la figura 4.3, se observa la formulación porcentual de las muestras (MB1, MB2, MB3, BF1, BF2) variando la relación de pulpa:agua para la elaboración del aguardiente de pulpa de banano. Para tal efecto se llevó a cabo la fermentación alcohólica por un tiempo de 10 días, las cuales fueron evaluadas subjetivamente por el personal del Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.29:** Formulación porcentual variando la relación de pulpa y agua

En la figura 4,4, según la valoración subjetiva realizada a las muestras (MB1, MB2, MB3, BF1, BF2) se pudo observar que la muestra BF1 y BF2, fueron de mayor preferencia por presentar un aroma muy pronunciado a banano y un contenido alcohólico (38°GL) en comparación con las muestras MB1, MB2 y MB3.



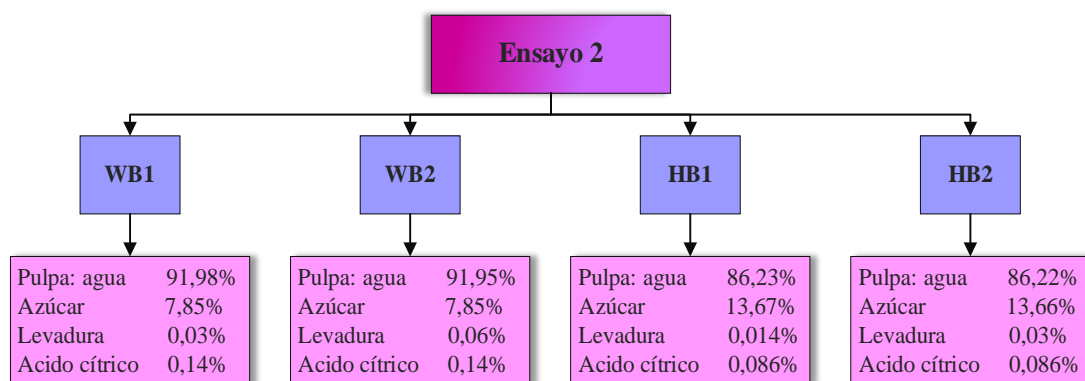
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.30:** Valoración subjetiva de pruebas iniciales variando la relación de pulpa y agua

#### 4.2.1.2 Pruebas iniciales variando la cantidad de levadura en el ensayo 2

Para realizar el ensayo 2, se desarrollaron cuatro muestras (WB1, WB2, HB1, HB2) de aguardiente de pulpa de banano (figura 4.2) con distintas formulaciones según lo recomendado por (Silva, 2020) a temperatura ambiente (20 - 25°C) como se detalla en la (tabla 4.4).

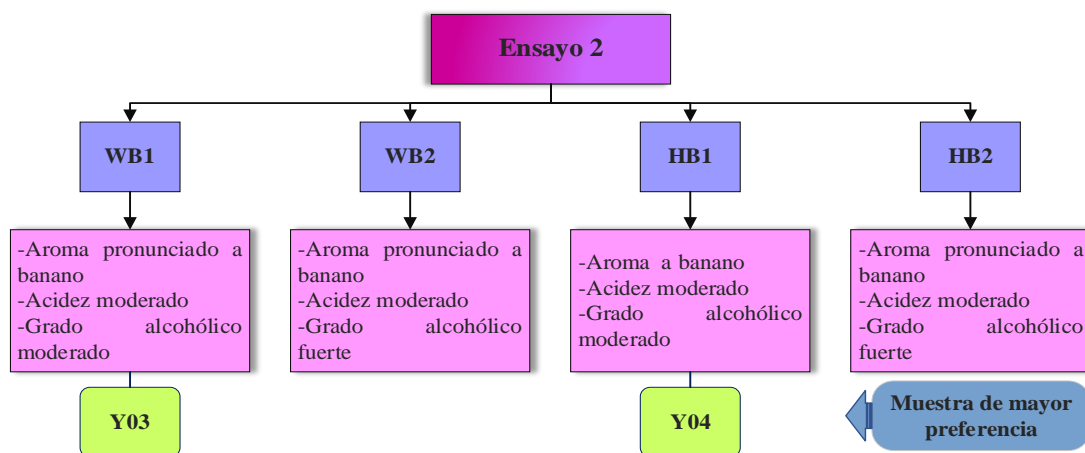
En la figura 4.5, se observa la formulación porcentual de las muestras (WB1, WB2, HB1 y HB2) variando la cantidad de levadura para la elaboración del aguardiente de pulpa de banano. Para tal efecto se llevó a cabo la fermentación alcohólica por un tiempo de 14 días, las cuales fueron evaluadas subjetivamente por el personal del Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.31:** Formulación porcentual variando la cantidad de levadura

En la figura 4.6, según la valoración subjetiva realizada a las muestras (WB1, WB2, HB1 y HB2), se pudo observar que la muestra WB1 y HB1, fueron de mayor preferencia por presentar un aroma muy pronunciado a banano y un contenido alcohólico 37°C en comparación con las muestras WB2 y HB2.



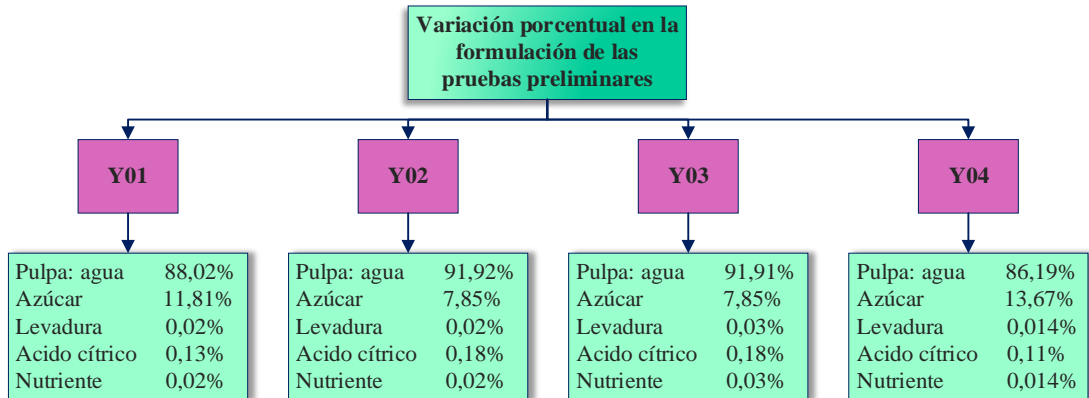
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.32:** Valoración subjetiva de pruebas iniciales variando la cantidad de levadura

#### 4.2.2 Valoración porcentual en la formulación de las pruebas preliminares para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano

En base a las muestras que fueron valoradas subjetivamente para el ensayo 1 (BF1 y BF2) y ensayo 2 (WB1 y HB1), se procedió recodificar y elaborar nuevamente cuatro muestras (Y01, Y02, Y03 y Y04). Para tal efecto, se incorporó nutriente Enovit P que regula y activa la fermentación, con el fin de coadyuvar al desarrollo adecuado de las

levaduras durante el tiempo de fermentación alcohólica, debido al cambio climático. En la figura 4.7, se detalla la variación porcentual de las pruebas preliminares.



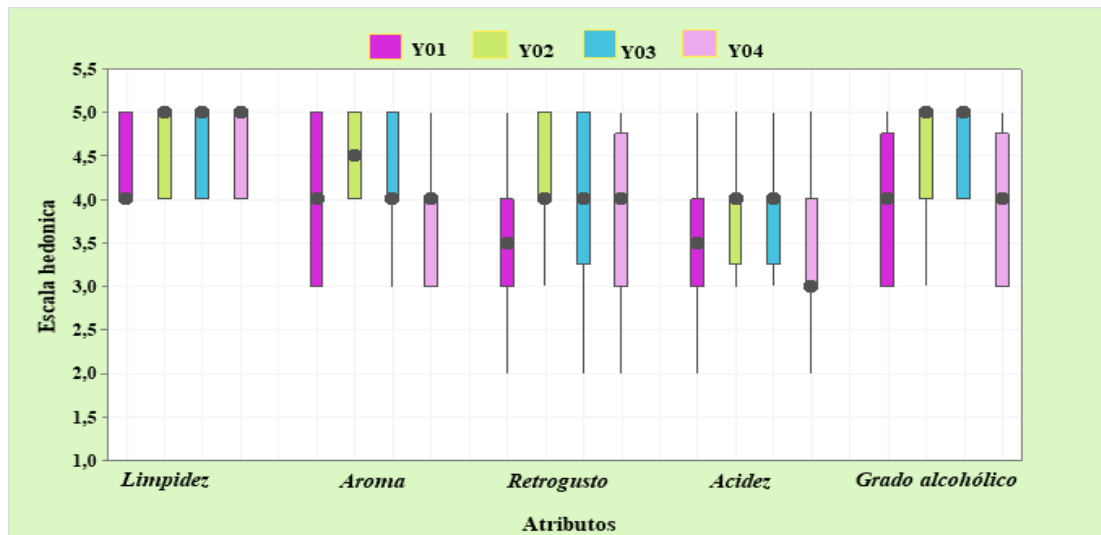
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.33:** Pruebas iniciales para la obtención de aguardiente de banano

En la figura se observa la dosificación de las pruebas preliminares Y01, Y02, Y03 y Y04; las cuales fueron evaluadas sensorialmente con una escala hedónica de cinco puntos en la que se valoraron los atributos limpidez, aroma, retrogusto, acidez y grado alcohólico; con el fin de obtener la muestra ideal para la obtención del aguardiente de pulpa de banano.

#### 4.2.2.1 Estadístico de caja y bigote para las pruebas preliminares de aguardiente de banano

En la figura 4,8, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos limpidez, aroma, retrogusto, acidez y grado alcohólico (°GL).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.34:** Caja y bigote para las pruebas preliminares de aguardiente de banana

Según la figura 4.8, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos para las muestras evaluadas: 5,0 limpidez (Y02, Y03 y Y04); 4,5 aroma (Y02); 4,0 retrogusto (Y02, Y03 y Y04); 4,0 acidez (Y02 y Y03) y 5,0 grado alcohólico (Y02 y Y03). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.2.1.1 Estadístico de Tukey del atributo aroma para las pruebas preliminares de aguardiente de banana

En la tabla 4.5, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos de la tabla C.2 (Anexo C)

**Tabla 4.12**

#### Estadístico Tukey para el atributo aroma de las pruebas preliminares

Muestra	N	Mediana	Agrupación
Y02	20	4,500	A
Y03	20	4,000	A
Y04	20	3,900	B
Y01	20	3,900	B

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4.5, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras Y02 y Y04, Y01. Las medianas que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.2.1.2 Estadístico de Tukey del atributo grado alcohólico para las pruebas preliminares de aguardiente de banano

En la tabla 4.6, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de datos extraídos de la tabla C.5 (Anexo C)

**Tabla 4.13**

#### Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico de las pruebas preliminares

Muestra	N	Mediana	Agrupación	
Y03	20	4,500	A	
Y02	20	4,500	A	
Y04	20	4,000		B
Y01	20	4,000		B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.6, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras Y03, Y02 y Y04, Y01. Las medianas que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

Realizada la evaluación sensorial y el análisis estadístico para las pruebas preliminares, se puede observar que las muestras Y02 y Y03, fueron de mayor preferencia por los jueces por no presentar un alto contenido alcohólico y por presentar un aroma pronunciado a banano.

#### 4.2.2.2 Control de los °Brix, pH y acidez en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de banano

Para realizar el control de los parámetros de sólidos solubles (°Brix), pH y acidez en las pruebas preliminares Y01, Y02, Y03 y Y04, con la finalidad de realizar el seguimiento del proceso de fermentación alcohólica. El control, se realizó durante un tiempo de 11 días de datos que fueron obtenidos un día por medio.

#### 4.2.2.2.1 Control de los °Brix en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares

En la tabla 4.7, se muestran los resultados obtenidos de °Brix en función del tiempo de fermentación alcohólica (durante 11 días) donde se utilizó el método de refractómetro (Anexo E.1) y los datos fueron extraídos de la tabla F.1 (Anexo F)

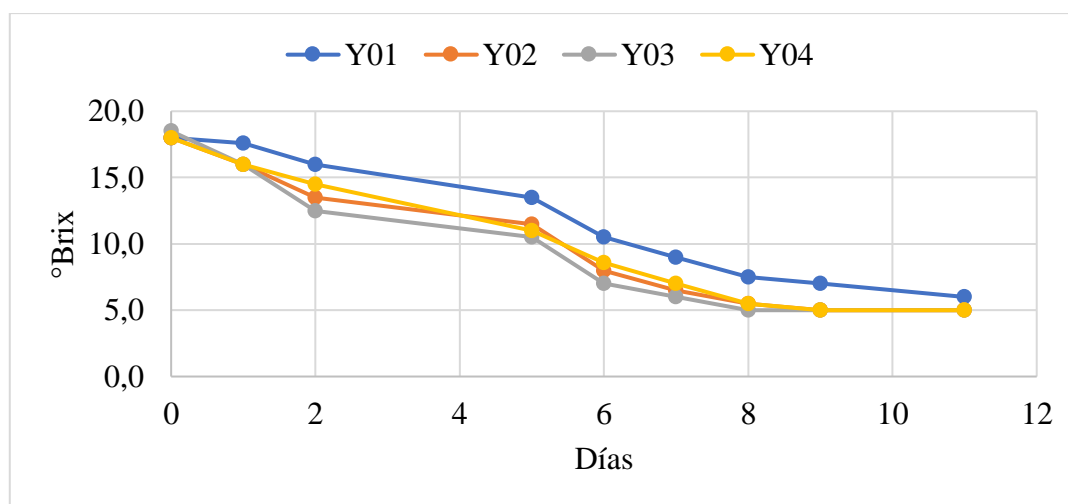
**Tabla 4.14**

*Control de °Brix de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica*

Días	°Brix			
	Muestras			
	Y01	Y02	Y03	Y04
0	18,0	18,0	18,5	18,0
1	17,6	16,0	16,0	16,0
2	16,0	13,5	12,5	14,5
5	13,5	11,5	10,5	11,0
6	10,5	8,0	7,0	8,6
7	9,0	6,5	6,0	7,0
8	7,5	5,5	5,0	5,5
9	7,0	5,0	5,0	5,0
11	6,0	5,0	5,0	5,0

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.9, se muestra el control °Brix en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración del aguardiente de pulpa banano y en base a datos de la tabla 4.7



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.35:** Control de los °Brix en el proceso de fermentación alcohólica



Según la figura 4.9, se puede observar que las muestras (Y01, Y02, Y03 y Y04) presentan un valor inicial de (18,0) °Brix; y al transcurrir cinco días de fermentación alcohólica las muestras presentan menor variación en los (°Brix) Y01 (13,5), Y02 (11,5), Y03 (10,5) y Y04 (11,0). Finalizando el proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de 11 días, se obtienen valores finales de las muestras Y01 (6,0), Y02 (5,0), Y03 (5,0) y Y04 (5,0). La muestra Y01 presentan una menor variación en los °Brix a diferencia de la muestra Y02, Y03 y Y04 durante el proceso de fermentación alcohólica.

#### 4.2.2.2.2 Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares

En la tabla 4.8, se muestran los resultados obtenidos de pH en función del tiempo de fermentación alcohólica (durante 11 días) donde se utilizó el método potenciómetro (Anexo E.2) y los datos fueron extraídos de la tabla F.2 (Anexo F)

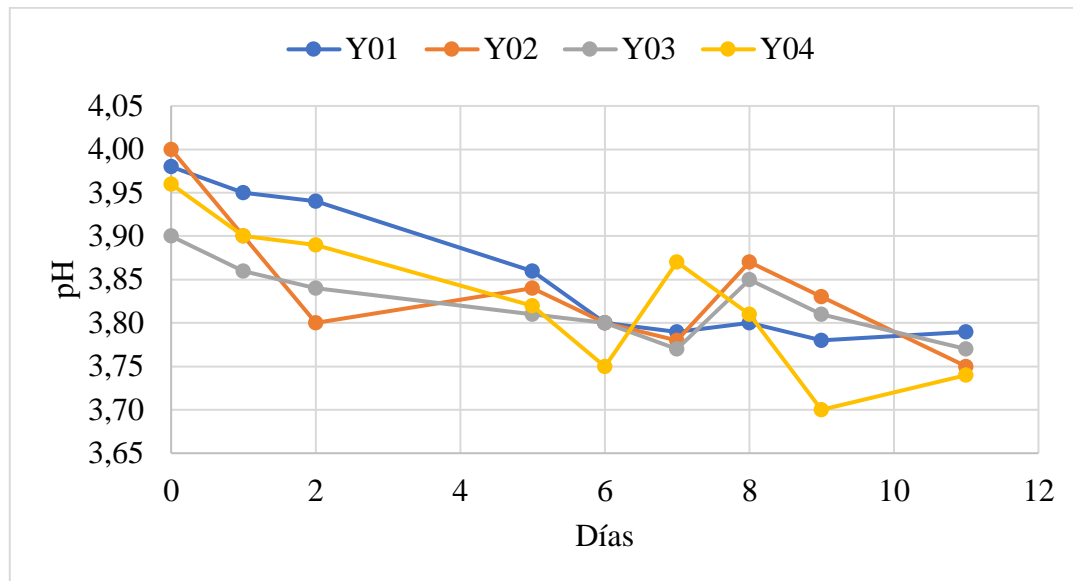
**Tabla 4.15**

*Control de pH de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica*

Días	pH			
	Muestras			
	Y01	Y02	Y03	Y04
0	3,98	4,00	3,90	3,96
1	3,95	3,90	3,86	3,90
2	3,94	3,80	3,84	3,89
5	3,86	3,84	3,81	3,82
6	3,80	3,80	3,80	3,75
7	3,79	3,78	3,77	3,87
8	3,80	3,87	3,85	3,81
9	3,78	3,83	3,81	3,70
11	3,79	3,75	3,77	3,74

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.10 se muestra el control pH en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración del aguardiente de pulpa de banano y en base a datos de la tabla 4.8



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.36:** Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica

Según la figura 4.10, se puede observar que las muestras presentan valores iniciales de: Y01 (3,98), Y02 (4,00), Y03 (3,90) y Y04 (3,96); y al transcurrir cinco días de fermentación alcohólica presentan menor variación en el pH Y01 (3,86), Y02 (3,84), Y03 (3,81) y Y04 (3,82). Finalizando el proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de 11 días, se obtienen valores finales de pH de las muestras Y01 (3,79), Y02 (3,75), Y03 (3,77) y Y04 (3,74). La muestra Y02 y Y04 presentan una menor variación de pH a diferencia de la muestra Y01 Y03 durante el proceso de fermentación alcohólica.

#### 4.2.2.2.3 Control de acidez expresada en ácido cítrico en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares

En la tabla 4.9, se muestran los resultados obtenidos de la acidez (ácido cítrico) en función del tiempo de fermentación alcohólica (durante 11 días) donde se utilizó el método de titulación (Anexo E.3) y los datos fueron extraídos de la tabla F.3 (Anexo F)

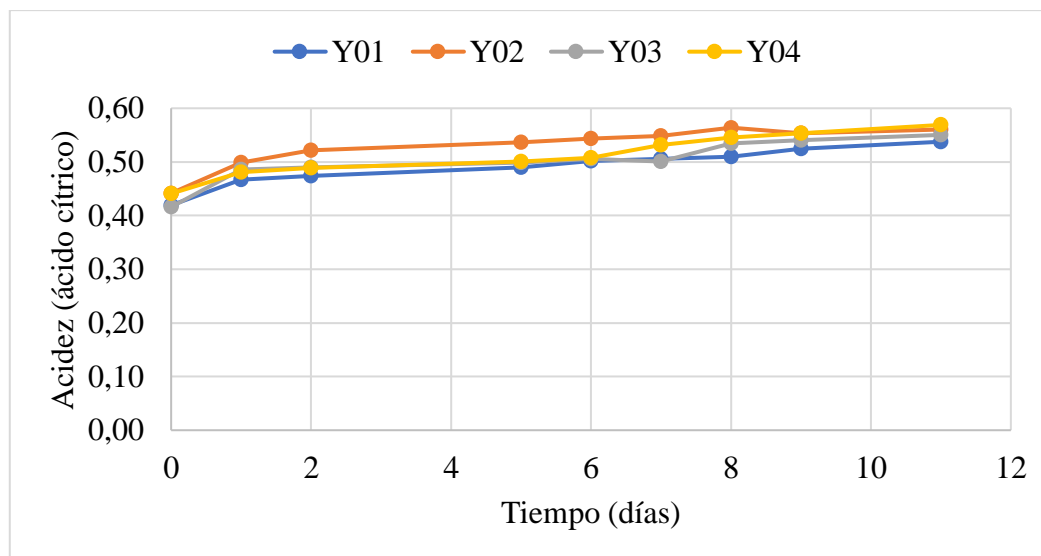
Tabla 4.16

*Control de acidez (ácido cítrico) de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica*

Días	Acidez			
	Muestras			
	Y01	Y02	Y03	Y04
0	0,42	0,44	0,42	0,44
1	0,47	0,50	0,49	0,48
2	0,47	0,52	0,49	0,49
5	0,49	0,54	0,50	0,50
6	0,50	0,54	0,51	0,51
7	0,51	0,55	0,50	0,53
8	0,51	0,56	0,53	0,55
9	0,52	0,55	0,54	0,55
11	0,54	0,56	0,55	0,57

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestra el control de acidez en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración del aguardiente de pulpa de banano y en base a los datos de la tabla 4.9



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.37:** Control de acidez (ácido cítrico) en el proceso de fermentación alcohólica

Según la figura 4.11, se puede observar que las muestras presentan valores iniciales de acidez (ácido cítrico) de: Y01 (0,42), Y02 (0,44), Y03 (0,42) y Y04 (0,44); y al transcurrir cinco días de fermentación alcohólica presentan un aumento de acidez donde los valores son: Y01 (0,49), Y02 (0,51), Y03 (0,50) y Y04 (0,50). Finalizando el proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de 11 días, se obtienen valores finales de la acidez de las muestras Y01 (0,54), Y02 (0,56), Y03 (0,55) y Y04 (0,57). La muestra Y01, Y02, Y03 y Y04 presentan menor variación de acidez durante el proceso de fermentación alcohólica.

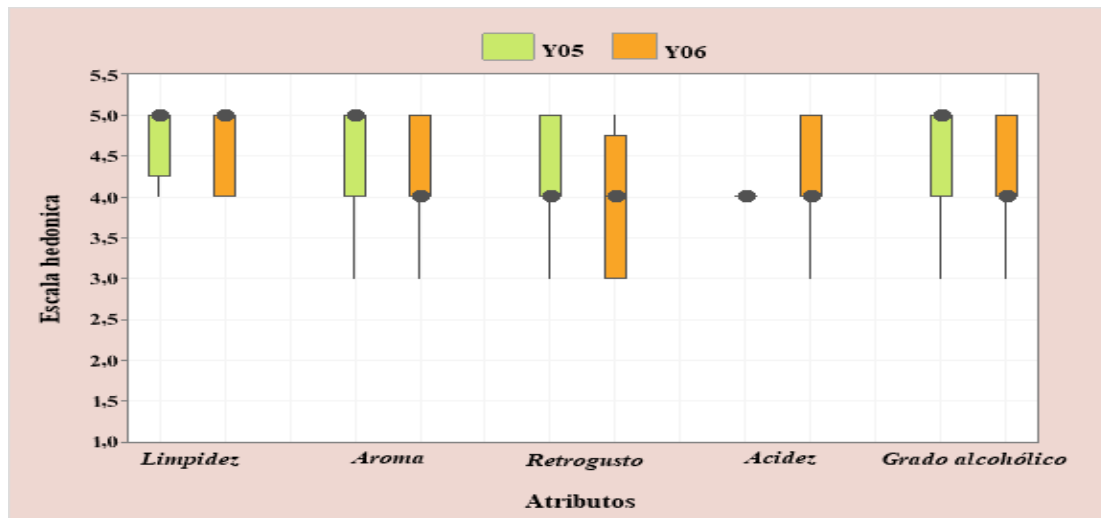
Realizado el control de °Brix, pH y acidez (ácido cítrico) en las muestras y la evaluación sensorial, se tomó en cuenta la muestra Y02 con un contenido de °Brix (5), pH (3,75) y acidez (0,56) y Y03 con °Brix (5), pH (3,77) y acidez (0,55) para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano.

#### **4.2.3 Selección de la muestra preliminar ideal en función al tiempo de fermentación alcohólica**

En base a las muestras que fueron evaluadas anteriormente por los jueces (figura 4.8). Para seleccionar la muestra ideal de las pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de banano, se procedió a tomar en cuenta las muestras (Y05 y Y06), las cuales fueron evaluados sensorialmente con el fin de determinar el tiempo de fermentación alcohólica

##### **4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra ideal de aguardiente de banano**

En la figura 4.12, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos limpidez, aroma, retrogusto, acidez y grado alcohólico (°GL).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.38:** Caja y bigote para la selección de la prueba ideal de aguardiente de pulpa de banano

Según la figura 4.12, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos para las muestras evaluadas: 5,0 limpidez (Y05 y Y06); 5,0 aroma (Y05); 4,0 retrogusto (Y05 y Y06); 4,0 acidez (Y05 y Y06) y 5,0 grado alcohólico (Y05). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo observar que  $F_{cal} < F_{tab}$ , por tanto, se acepta la hipótesis planteada y no existe diferencia significativa entre las muestras evaluadas para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

Realizada la evaluación sensorial y el análisis estadístico para la selección de la muestra ideal, se puede observar que la muestra Y05, fue de mayor preferencia por los jueces por no presentar un alto contenido alcohólico y por presentar un aroma pronunciado a banano. Por tanto, en función a las medianas se puede evidenciar que la muestra Y05 es la elegida como muestra ideal para el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de banano. En base a su dosificación y parámetros de control más representativos en el proceso como se detalla en la tabla 4.10, con la cual se daría inicio al diseño factorial.

**Tabla 4.17*****Dosificación y parámetros de control de la muestra ideal de aguardiente de pulpa de banana***

<b>Materia prima / insumos</b>	<b>Dosificación (%)</b>	<b>Parámetros de control</b>	
Pulpa y agua	91,92	Escaldado	80°C
Azúcar	7,85	Ajuste de °Brix	18°Brix
Levadura	0,02	Fermentación	11 días
Ácido cítrico	0,18	Destilación	80 torr
Nutriente	0,02		65°C

**Fuente:** Elaboración propia

### **4.3 Diseño factorial 2<sup>3</sup> en el proceso de fermentación alcohólica del aguardiente de banana**

Para aplicar el diseño experimental en la etapa de fermentación, se realizó en base de la muestra ideal Y05 (tabla 4,10), donde se tomaron en cuenta los factores; factor A (relación de pulpa:agua), factor B (% levadura) y el factor C (tiempo de fermentación) durante el proceso de fermentación alcohólica y como variables respuesta el grado alcohólico, pH, acidez total del aguardiente de pulpa de banana.

#### **4.3.1 Variable respuesta del porcentaje de alcohol en el aguardiente de pulpa de banana**

En la tabla 4.11, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial del programa estadístico StatGraphics Centurión XTV para Windows en la etapa de fermentación alcohólica en donde la variable respuesta grado alcohólico de datos extraídos de la tabla D.1 (Anexo D).

Tabla 4.18

*Análisis de varianza de la variable respuesta de grado alcohólico*

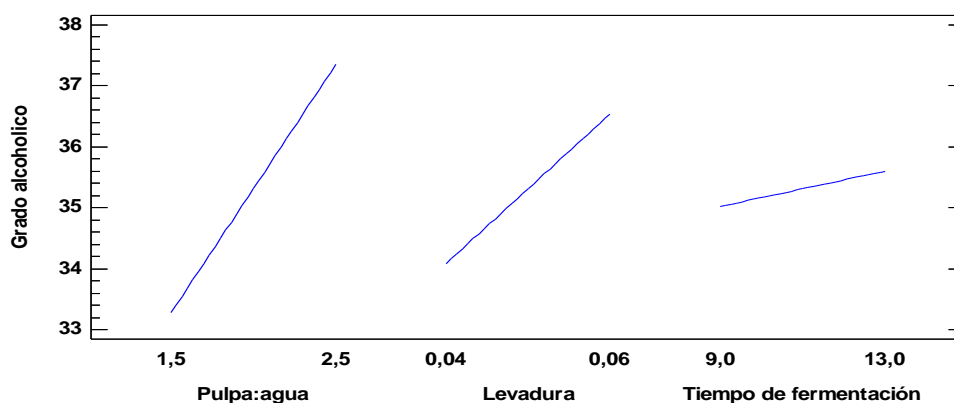
Fuente (FV)	Suma de Cuadrados SC	Grado de libertad GL	Media de cuadrados MC	Fcal	Ftab
Factor A	66,504000	1	66,504000	80,92	<b>0,0000*</b>
Factor B	24,157200	1	24,157200	29,39	<b>0,0006*</b>
Factor C	1,357230	1	1,357230	1,65	<b>0,2347*</b>
Interacción AB	1,651230	1	1,651230	2,01	<b>0,1941*</b>
Interacción AC	2,356230	1	2,356230	2,87	<b>0,1289*</b>
Interacción BC	0,000025	1	0,000025	0,00	0,9957
Interacción ABC	1,199020	1	1,199020	1,46	<b>0,2616*</b>
Error total	6,575000	8	0,821875		
Total	103,800000	15			

Fuente: Elaboración propia

(\*)Significativo

En la tabla 4.11, según el análisis de varianza se puede observar que los factores A (pulpa:agua), B (levadura), C (tiempo de fermentación) e interacciones AB, AC, ABC existe diferencia significativa debido que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación alcohólica. Sin embargo para la interacción (BC), no existe diferencia significativa, ya que  $F_{cal} < F_{tab}$  para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

En la figura 4.13, se muestran los efectos principales para los factores: A (pulpa:agua), B (levadura), C (tiempo de fermentación) con relación a la variable respuesta grado alcohólico.

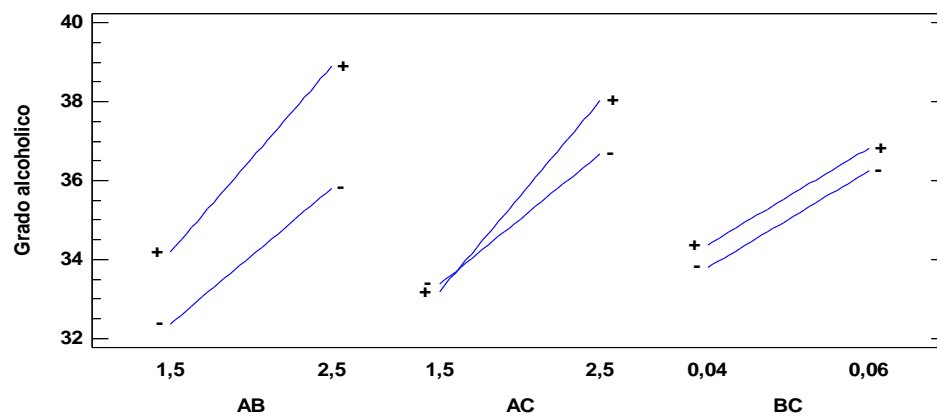


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39: Efectos principales para el grado alcohólico

Según la figura 4.13, se observa que el factor A (pulpa:agua) entre un rango (1,5-2,5) influye significativamente en la variable respuesta grado alcohólico en un nivel alto y bajo, mientras que el factor B (levadura) entre un rango (0,04-0,06) % y el factor C (tiempo de fermentación) entre un rango (9-13 días) no influyen significativamente el grado alcohólico ya que se mantienen constantes en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.14, se muestra las interacciones con relación al grado alcohólico de aguardiente de pulpa de banano.



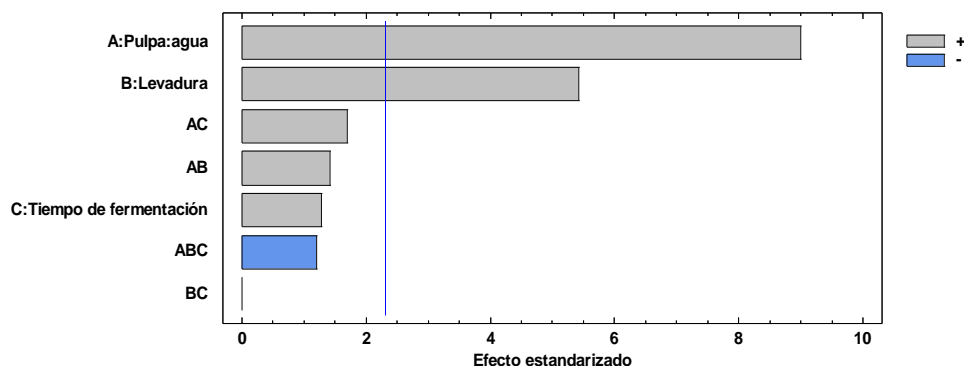
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.40:** Interacción para el grado alcohólico

En la figura 4.14, se puede observar que la interacción AC (pulpa:agua-tiempo de fermentación) es significativa, ya que los factores de las variables interaccionan entre sí, mientras que la interacción AB (pulpa:agua-levadura) y BC (levadura-tiempo de fermentación) no es significativa.

En la figura 4.15, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para grado alcohólico de los factores tomados en cuenta para el diseño factorial, la significancia estadística se determina con la línea vertical de referencia con un valor de 2,3, de tal modo si las barras sobre pasan la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$  de datos extraídos del Anexo D





**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.41:** Diagrama de Pareto para el grado alcohólico

En la figura 4.15, se observa los valores absolutos de los factores estandarizados en forma decreciente; donde los factores A (pulpa:agua) y B (levadura), son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.2 Variable respuesta del pH en el aguardiente de pulpa de banano

En la tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial del programa estadístico StatGraphics Centurión XTV para Windows en la etapa de fermentación alcohólica en donde la variable respuesta pH de datos extraídos de la tabla D.2 (Anexo D).

**Tabla 4.19**

#### *Análisis de varianza de la variable respuesta de pH*

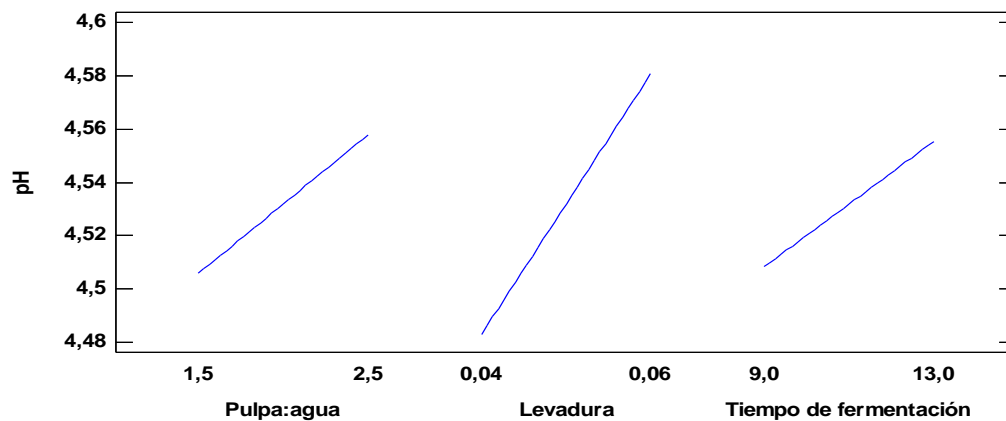
Fuente (FV)	Suma de Cuadrados SC	Grado de libertad GL	Media de cuadrados MC	Fcal	Ftab
Factor A	0,0108681	1	0,0108681	3,35	<b>0,1048*</b>
Factor B	0,0381226	1	0,0381226	11,74	<b>0,0090*</b>
Factor C	0,0088831	1	0,0088831	2,73	<b>0,1368*</b>
Interacción AB	0,0014631	1	0,0014631	0,45	0,5211
Interacción AC	0,0007981	1	0,0007981	0,25	0,6335
Interacción BC	0,0000106	1	0,0000106	0,00	0,9559
Interacción ABC	0,0071826	1	0,0071826	2,21	<b>0,1753*</b>
Error total	0,0259885	8	0,0032486		
Total	0,0933164	15			

**Fuente:** Elaboración propia

(\*)Significativo

En la tabla 4.12, según el análisis de varianza se puede observar que los factores A (pulpa:agua), B (levadura), C (tiempo de fermentación) e interacción ABC existe diferencia significativa debido que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación alcohólica. Sin embargo, para las interacciones AB, AC, BC, no existe diferencia significativa, ya que  $F_{cal} < F_{tab}$  para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

En la figura 4.16, se muestran los efectos principales para los factores: A (pulpa:agua), B (levadura), C (tiempo de fermentación), en relación a la variable respuesta pH.

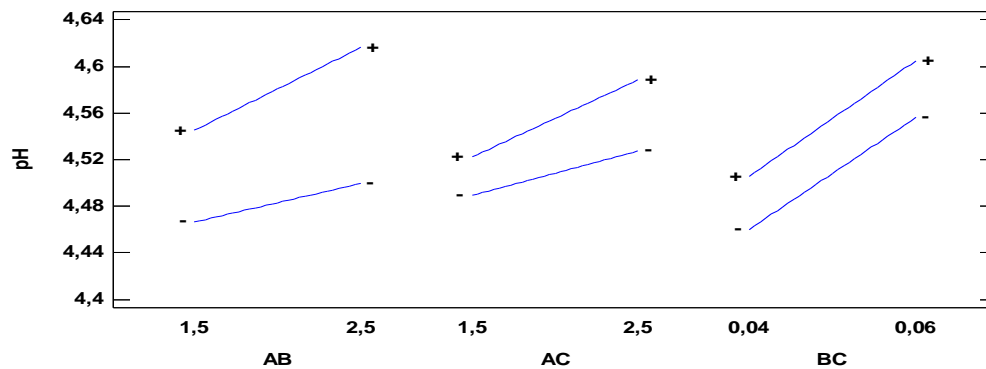


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.42:** Efectos principales para pH

Según la figura 4.16, se observa que el factor B (levadura) entre un rango (0,04-0,06)% influyen significativamente en la variable respuesta pH en un nivel alto y bajo, mientras que el factor A (pulpa:agua) entre un rango (1,5-2,5) y el factor C (tiempo de fermentación) entre un rango (9-13 días) no influyen significativamente en el pH en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.17 se muestra las interacciones con relación al pH del aguardiente de pulpa de banano.

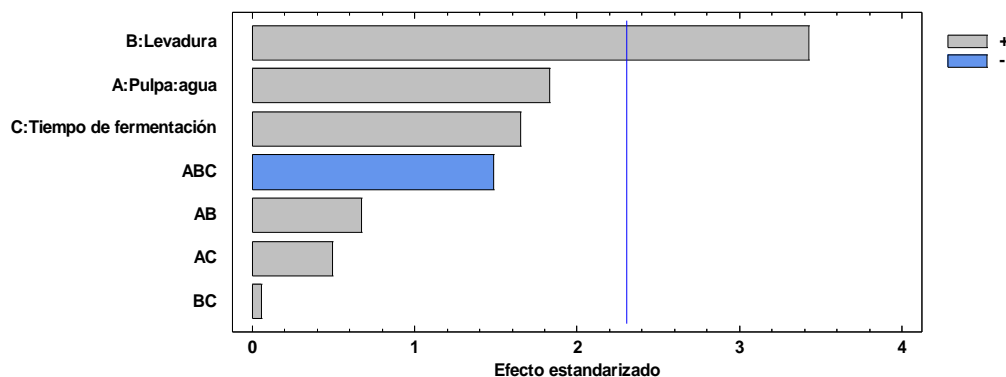


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.43:** Interacción para pH

En la figura 4.17, se puede observar que las interacciones AB (pulpa: agua- levadura), AC (pulpa:agua-tiempo de fermentación) y BC (levadura-tiempo de fermentación) no son significativas en un nivel alto y bajo, ya que los factores de las variables no interaccionen entre sí.

En la figura 4.18, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el pH de los factores tomados en cuenta para el diseño factorial, la significancia estadística se determina con la línea vertical de referencia con un valor de 2,3, de tal modo si las barras sobre pasan la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$  de datos extraídos del Anexo D



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.44:** Diagrama de Pareto para pH

En la figura 4.18, se observa los valores absolutos de los factores estandarizados en forma decreciente; donde el factor B (levadura), es estadísticamente significativo debido a que las barras de los factores sobre pasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

### 4.3.3 Variable respuesta acidez total en el aguardiente de pulpa de banano

En la tabla 4.13, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial del programa estadístico StatGraphics Centurión XTV para Windows en la etapa de fermentación alcohólica en donde la variable respuesta es la acidez total de datos extraídos de la tabla D.3 (Anexo D).

**Tabla 4.20**

#### *Análisis de varianza de la variable respuesta acidez total*

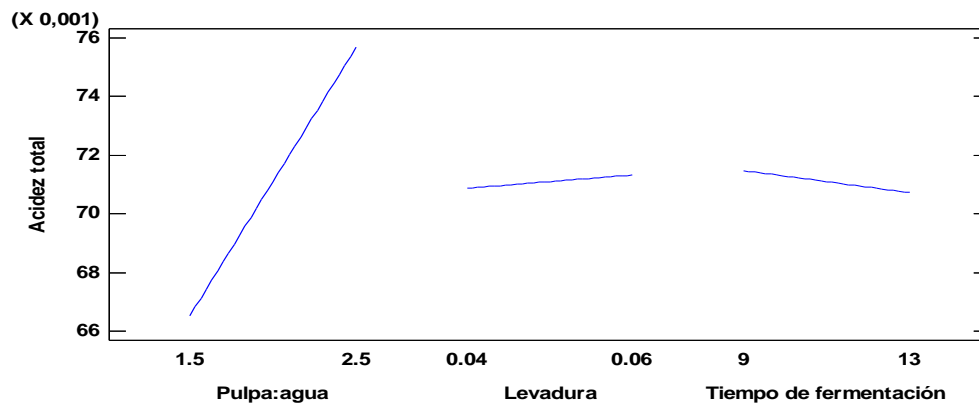
Fuente	Suma de Cuadrados SC	Grado de libertad GL	Media de cuadrados MC	Fcal	Ftab
Factor A	0,00033489	1	0,00033489	45,38	<b>0,0001*</b>
Factor B	8,1E-7	1	8,1E-7	0,11	0,7489
Factor C	0,00000225	1	0,00000225	0,30	0,5959
Interacción AB	0,00000576	1	0,00000576	0,78	<b>0,4028*</b>
Interacción AC	0,00000576	1	0,00000576	0,78	<b>0,4028*</b>
Interacción BC	0,00001764	1	0,00001764	2,39	<b>0,1607*</b>
Interacción ABC	0,00015129	1	0,00015129	20,50	<b>0,0019*</b>
Error total	0,00005904	8	0,00000738		
Total	0,00057744	15			

**Fuente:** Elaboración propia

(\*)Significativo

En la tabla 4.13, según el análisis de varianza se puede observar que el factor A (pulpa:agua) e interacciones AB, AC, BC, ABC existe diferencia significativa debido que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación alcohólica. Sin embargo para los factores B (levadura) y C (tiempo de fermentación), no existe diferencia significativa, ya que  $F_{cal} < F_{tab}$  para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

En la figura 4.19, se muestran los efectos principales para los factores; A (pulpa:agua), B (levadura) y C (tiempo de fermentación), en relación a la variable respuesta acidez total.

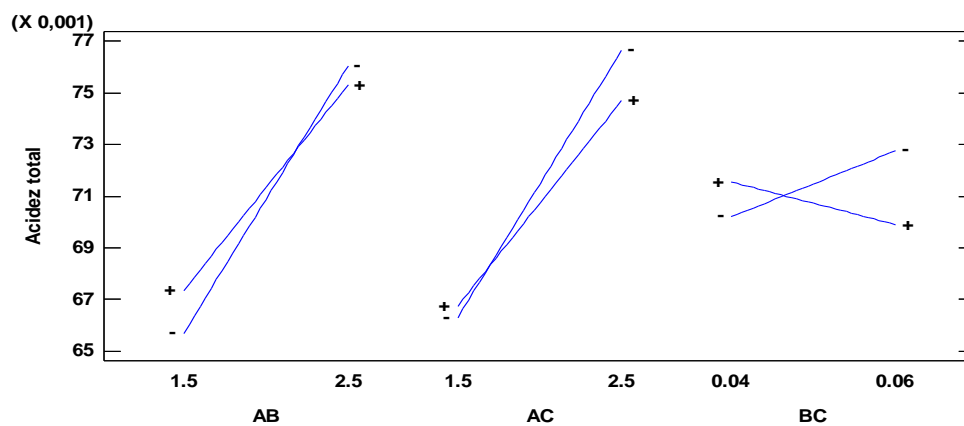


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.45:** Efectos principales de Pareto para acidez total

Según la figura 4.19, se observa que el factor A (pulpa:agua) entre un rango (1,5-2,5) influyen significativamente en la variable respuesta acidez total en un nivel alto y bajo, mientras que el factor B (levadura) entre un rango (0,04-0,06) % y el factor C (tiempo de fermentación) entre un rango (9-13 días) no influyen significativamente la acidez total en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.20 se muestra las interacciones con relación a la acidez total de aguardiente de pulpa de banano.

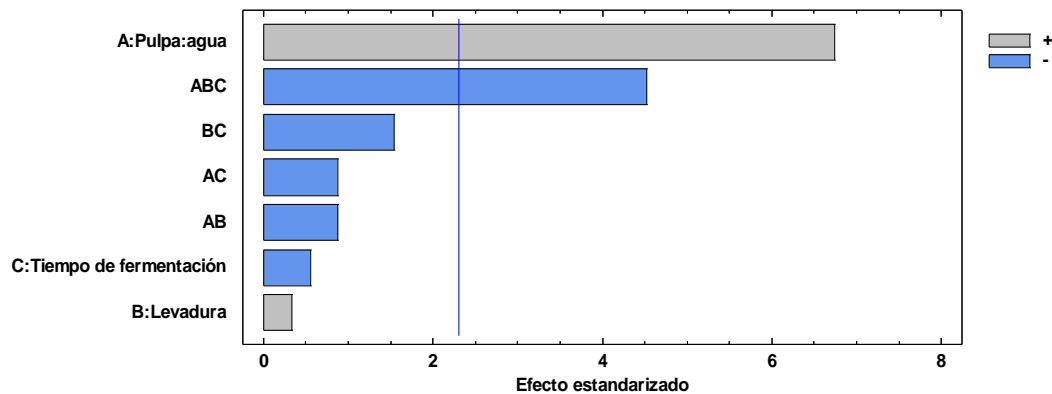


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.46:** Interección para acidez total

En la figura 4.20, se puede observar que las interacciones AB (pulpa: agua-levadura), AC (pulpa: agua-tiempo de fermentación) y BC (levadura-tiempo de fermentación) son significativas, ya que los factores de las variables interaccionen entre sí.

En la figura 4.21, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para la acidez total de los factores tomados en cuenta para el diseño factorial, la significancia estadística se determina con la línea vertical de referencia con un valor de 2,3, de tal modo si las barras sobre pasan la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$  de datos extraídos del Anexo D



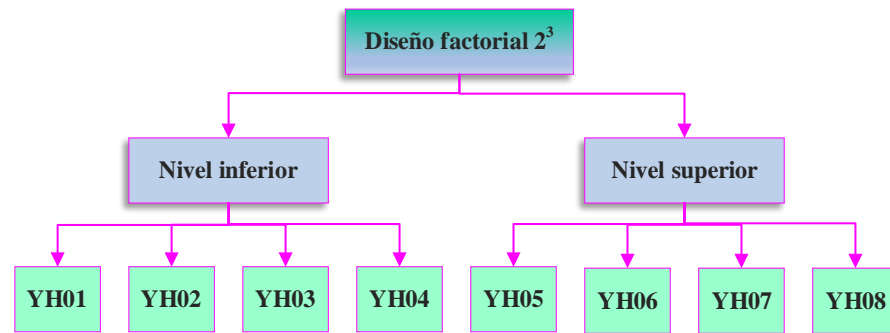
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.47:** Diagrama de Pareto para acidez total

En la figura 4.21, se observa los valores absolutos de los factores estandarizados en forma decreciente; donde el factor A (pulpa:agua) e interacción ABC, son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores sobre pasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.4 Evaluación sensorial del diseño factorial $2^3$ de aguardiente de pulpa de banano

Se realizó la evaluación sensorial del diseño factorial  $2^3$  de aguardiente de pulpa de banano para el nivel inferior de las muestras: YH01, YH02, YH03 y YH04 y para el nivel superior de las muestras: YH05, YH06, YH07 y YH08 en función de la variable tiempo de fermentación (C).

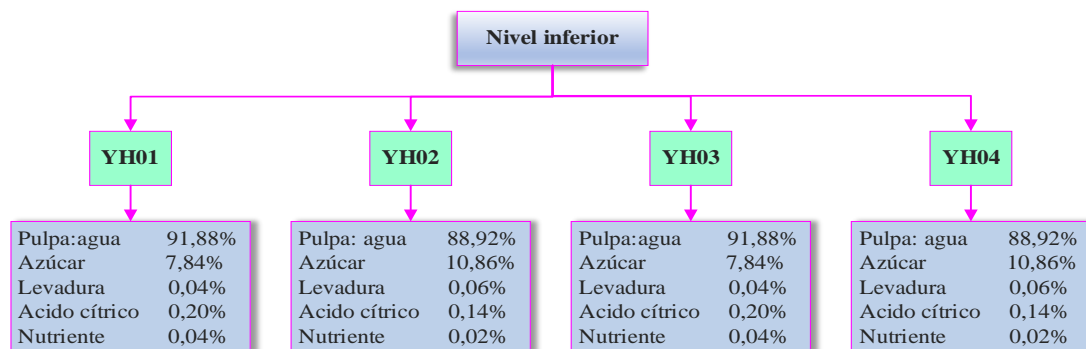


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.48:** Evaluación sensorial del diseño factorial  $2^3$  para las variables independientes

#### 4.4.1 Evaluación sensorial del diseño factorial $2^3$ para el nivel inferior en función al tiempo de fermentación

En la figura 4.23, se muestra la dosificación porcentual de pulpa:agua y levadura de las muestras del diseño factorial para el nivel inferior en función al tiempo de fermentación alcohólica durante 9 días.

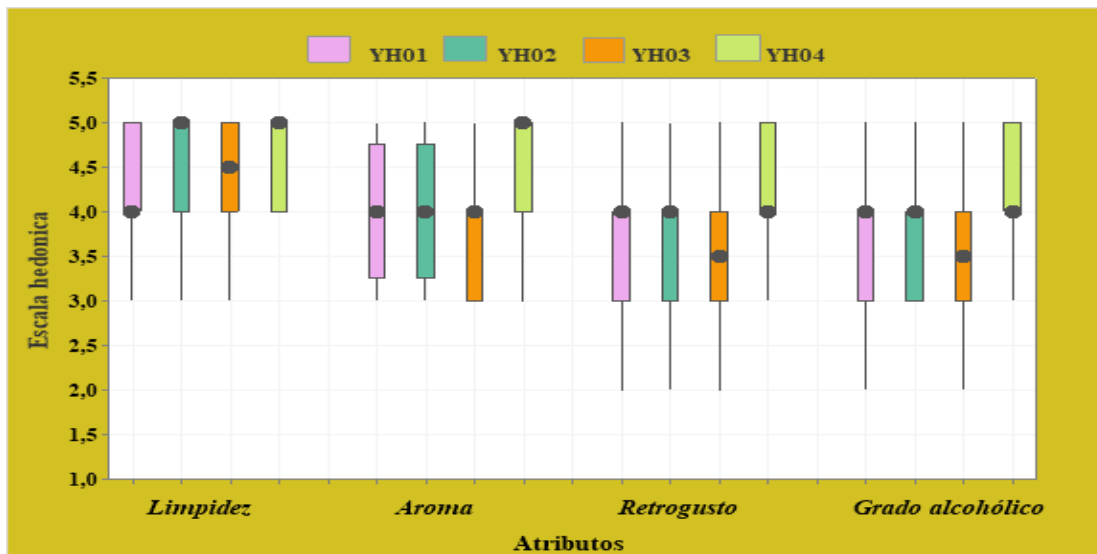


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.49:** Dosificación porcentual del diseño factorial para el nivel inferior

#### 4.4.1.1 Estadístico de caja y bigote del diseño factorial $2^3$ de aguardiente de pulpa de banano nivel inferior

En la figura 4.24, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico ( $^{\circ}$ GL) de las muestras YH01, YH02, YH03 y YH04.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.50:** Estadístico de caja y bigote del diseño factorial para el nivel inferior

Según la figura 4.24, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos para las muestras evaluadas: 5,0 limpieza (YH02 y YH04); 5,0 aroma (YH04); 4,0 retrogusto (YH01, YH02 y YH04); y 5,0 grado alcohólico (YH01, YH02 y YH04). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.4.1.2 Estadístico de Tukey del atributo aroma de aguardiente de pulpa de banano para el diseño factorial

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos de la tabla C.12 (Anexo C)

**Tabla 4.21**

*Estadístico Tukey para el atributo aroma del diseño factorial*

Muestra	N	Mediana	Agrupación	
YH04	20	4,500	A	
YH02	20	4,000	A	B
YH01	20	4,000	A	B
YH03	20	3,750		B

**Fuente:** Elaboración propia



En la tabla 4.14, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras YH04 y YH03. Las medianas que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.4.1.2 Estadístico de Tukey del atributo grado alcohólico de aguardiente de pulpa de banana para el diseño factorial

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos de la tabla C.14 (Anexo C).

**Tabla 4.22**

*Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico del diseño factorial*

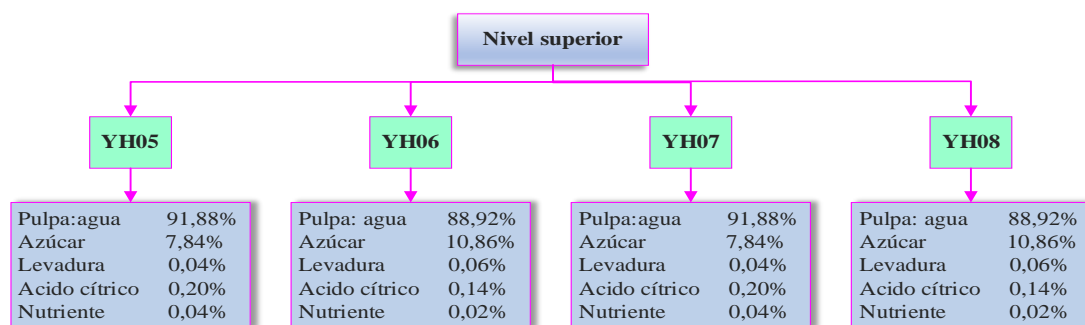
Muestras	N	Mediana	Agrupación	
YH04	20	4,200	A	
YH02	20	3,900	A	B
YH01	20	3,700	A	B
YH03	20	3,500		B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.15, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras YH04 y YH03. Las medianas que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.4.2 Evaluación sensorial del diseño factorial para el nivel superior en función al tiempo de fermentación

En la figura 4.25, se muestra la dosificación porcentual de pulpa:agua y levadura de las muestras del diseño factorial para el nivel superior en función al tiempo de fermentación alcohólica durante 13 días.

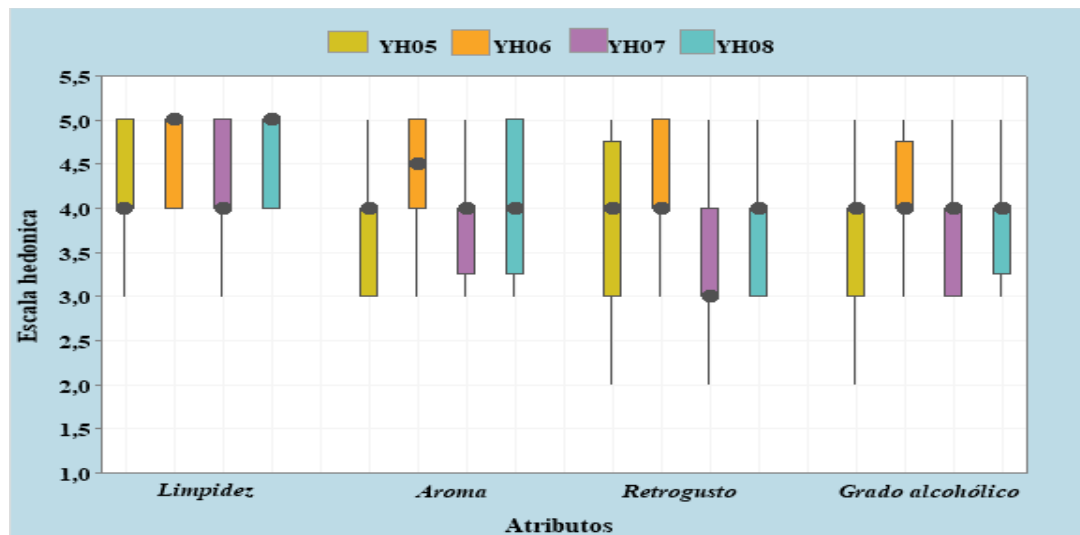


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.51:** Dosificación porcentual del diseño factorial para el nivel inferior

#### 4.4.2.1 Estadístico de caja y bigote del diseño factorial $2^3$ de aguardiente de pulpa de banano nivel superior

En la figura 4.26, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico (°GL) de las muestras YH05, YH06, YH07 y YH08.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.52:** Estadístico de caja y bigote del diseño factorial para el nivel superior

Según la figura 4.26, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos para las muestras evaluadas: 5,0 limpidez (YH06 y YH08); 4,5 aroma (YH06); 4,0 retrogusto (YH05, YH06 y YH08); y 4,0 grado alcohólico (YH05, YH06, YH07 y YH08). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.4.2.2 Estadístico de Tukey del atributo retrogusto de aguardiente de pulpa de banano para el diseño factorial

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo retrogusto de datos extraídos de la tabla C.17 (Anexo C).

Tabla 4.23

## Estadístico Tukey para el atributo retrogusto del diseño factorial

Muestras	N	Mediana	Agrupación	
YH06	20	4,000	A	
YH08	20	3,800	A	B
YH05	20	3,800	A	B
YH07	20	3,000		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.16, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras YH06 y YH07. Las medianas que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

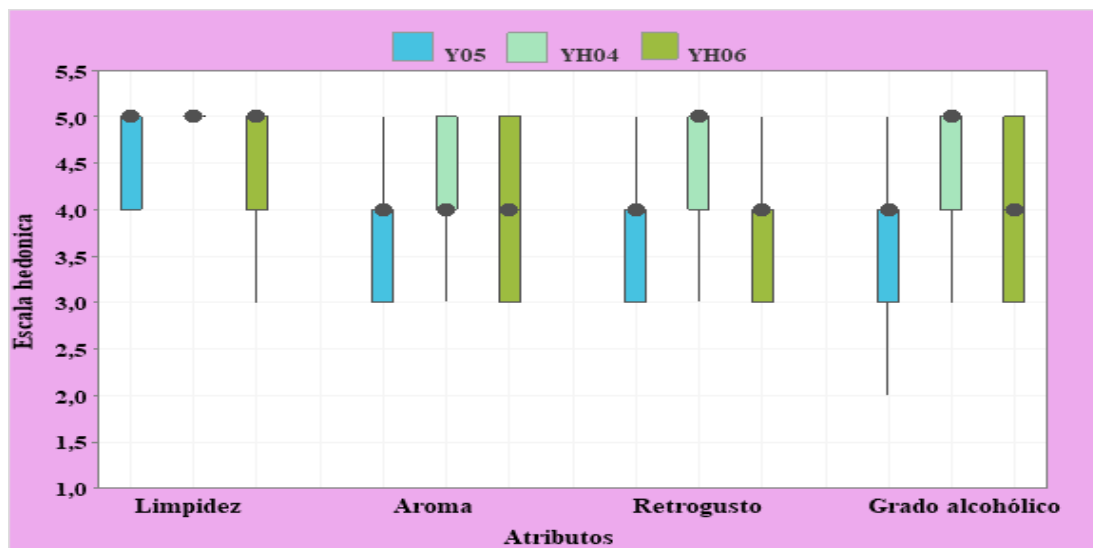
De acuerdo a las evaluaciones sensoriales realizadas y el análisis estadístico para el diseño factorial, según los jueces destacan dos muestras de preferencia YH04 y YH06, las cuales obtuvieron mayores medianas por no presentar un alto contenido alcohólico y por presentar un aroma pronunciado a banano.

#### 4.5 Evaluación sensorial para la selección de la muestra ideal final del aguardiente de pulpa de banano

Se realizó una última evaluación sensorial a las muestras del diseño factorial (YH04 y YH06) y la muestra con la cual se realizó el diseño (Y05), para seleccionar la muestra final para la obtención del aguardiente de pulpa de banano.

##### 4.5.1 Estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra ideal final de aguardiente de banana

En la figura 4.27, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico ( $^{\circ}$ GL) de las muestras Y05, YH04 y YH06.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.53:** Estadístico de caja y bigote para seleccionar la muestra ideal final

Según la figura 4.27, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos para las muestras evaluadas: 5,0 limpieza (Y05, YH04 y YH06); 4,0 aroma (Y05, YH04 y YH06); 5,0 retrogusto (YH04); y 5,0 grado alcohólico (YH04). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.5.1.1 Estadístico de Tukey del atributo retrogusto de aguardiente de pulpa de banana para seleccionar la muestra final

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo retrogusto de datos extraídos de la tabla C.21 (Anexo C).

**Tabla 4.24**

*Estadístico Tukey para el atributo retrogusto para seleccionar la muestra final*

Muestras	N	Mediana	Agrupación
YH04	15	5,000	A
YH06	15	4,000	B
Y05	15	4,000	B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.17, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras YH04 y YH06, Y05. Las medianas que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.5.1.2 Estadístico de Tukey del atributo grado alcohólico de aguardiente de pulpa de banano para seleccionar la muestra final

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de datos extraídos de la tabla C.22 (Anexo C).

**Tabla 4.25**

*Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico para seleccionar la muestra final*

Muestras	N	Mediana	Agrupación	
YH04	15	4,800	A	
YH06	15	4,200	A	B
Y05	15	3,900		B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.18, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras YH04 y Y05. Las medianas que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

Realizada la evaluación sensorial y el análisis estadístico para seleccionar la muestra final, se puede observar que la muestra YH04 del nivel inferior, fue de mayor preferencia por los jueces, con un grado alcohólico 38°GL y presentar un aroma pronunciado a banano. Por tanto, se tomó en cuenta como muestra ideal final YH04 por presentar la mayor mediana y la preferencia de los jueces.

#### 4.6 Caracterización del aguardiente de pulpa de banano

Para la caracterización del producto final, se tomaron en cuenta los resultados de los análisis físicos y análisis fisicoquímicos y los cuales se detallan a continuación:

##### 4.6.1 Análisis físico del aguardiente de pulpa de banano

En la tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos del análisis físico del aguardiente de pulpa de banano donde se utilizaron los métodos de: picnometría (Anexo E.4), pHmetro (Anexo E.2), titulación (Anexo E.3) correspondientes para cada parámetro.

**Tabla 4.26***Análisis físico del aguardiente de pulpa de banano*

Parámetros	Unidad	Resultado
Grado alcohólico	°GL	40,000
pH	-	4,620
Acidez volátil	g/l	0,126

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.19, se puede observar los resultados obtenidos del análisis físico del aguardiente de pulpa de banano presenta: Grado alcohólico 40 °GL, pH 4,62 y acidez volátil 0,113 g/l en condiciones de temperatura ambiente (20 – 25°C).

**4.6.2 Análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano**

En la tabla 4.20, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano.

**Tabla 4.27***Análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano*

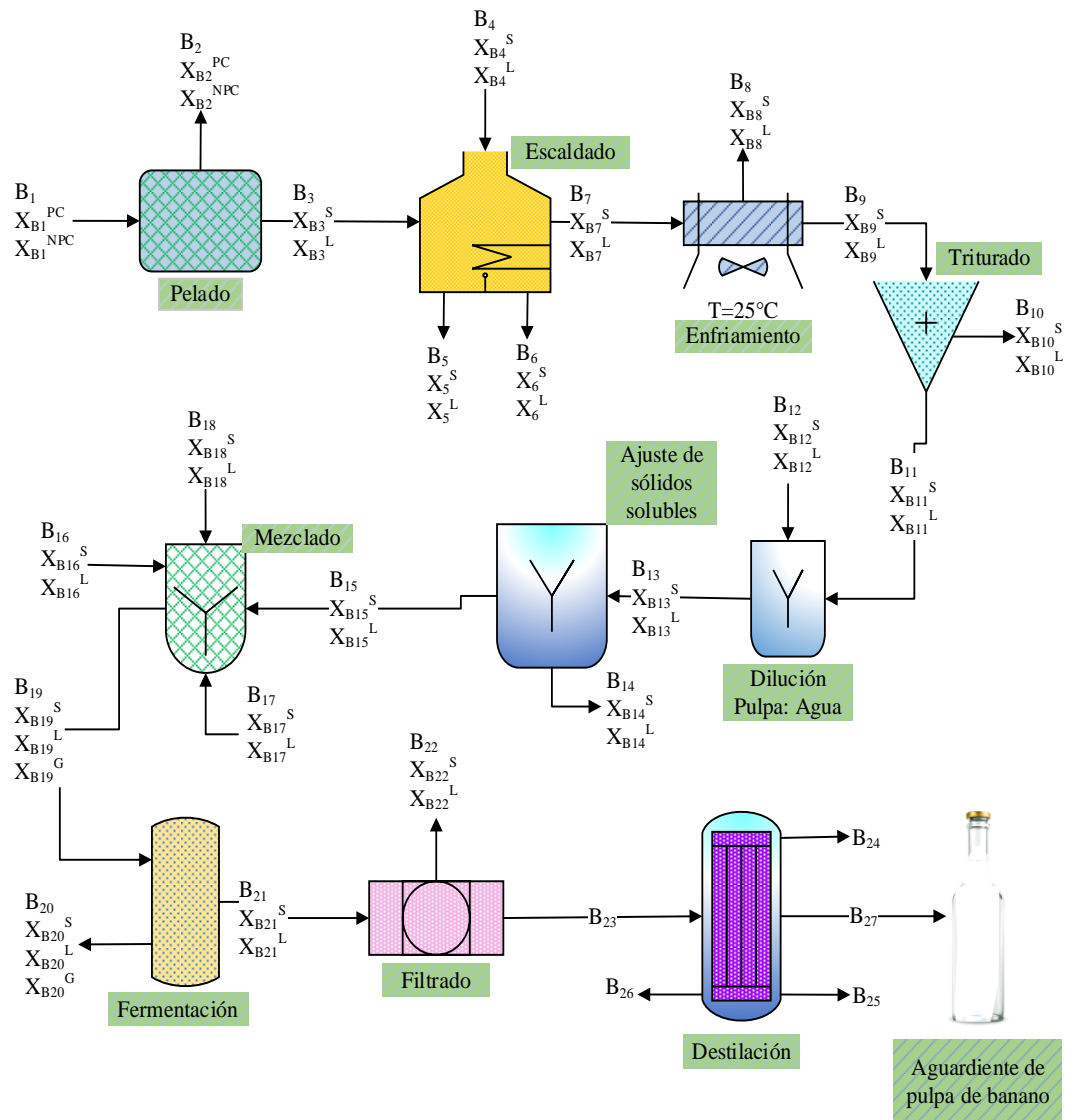
Parámetros	Unidad	Resultado
Anhídrido sulfuroso total	mg/l	1,95
Azúcares reductores	g/l	0,14
Extracto seco	g/l	0,11
Grado alcohólico	°GL	40,00
Metanol	mg/l	64,00

**Fuente:** CEANID, 2022

En la tabla 4.20, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de banano que presenta: anhídrido sulfuroso total 1,95 mg/l, azúcares reductores 0,14 g/l, extracto seco 0,11g/l, grado alcohólico 40°GL y metanol 64 mg/l.

#### 4.7 Balance de materia para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano

En la figura 4.28 se muestra diagrama de flujo que se realizó en el balance general para el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de banano.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.54:** Balance de materia en la elaboración de aguardiente de banano

Donde:

- B<sub>1</sub> = Banano seleccionada (g)
- B<sub>2</sub> = Cascara de banano (g)
- B<sub>3</sub> = Pulpa de banano acondicionada (g)
- B<sub>4</sub> = Agua entrante (g)
- B<sub>5</sub> = Agua evaporada en escaldado (g)
- B<sub>6</sub> = Agua saliente (g)
- B<sub>7</sub> = Pulpa escaldada de banano (g)
- B<sub>8</sub> = Vapor de agua en el enfriamiento (g)
- B<sub>9</sub> = Pulpa de banano enfriada (25°C) (g)
- B<sub>10</sub> = Pérdida de pulpa en triturado (g)
- B<sub>11</sub> = Pulpa de banano triturada (g)
- B<sub>12</sub> = Agua para la dilución (g)
- B<sub>13</sub> = Pulpa de banano diluida (g)
- B<sub>14</sub> = Azúcar (g)
- B<sub>15</sub> = Pulpa corregida (g)
- B<sub>16</sub> = Ácido cítrico (g)
- B<sub>17</sub> = Nutriente (g)
- B<sub>18</sub> = Levadura activada (g)
- B<sub>19</sub> = Mezcla acondicionada (g)
- B<sub>20</sub> = Dióxido de carbono (g)
- B<sub>21</sub> = Pulpa de banano fermentada (g)
- B<sub>22</sub> = Mosto (g)



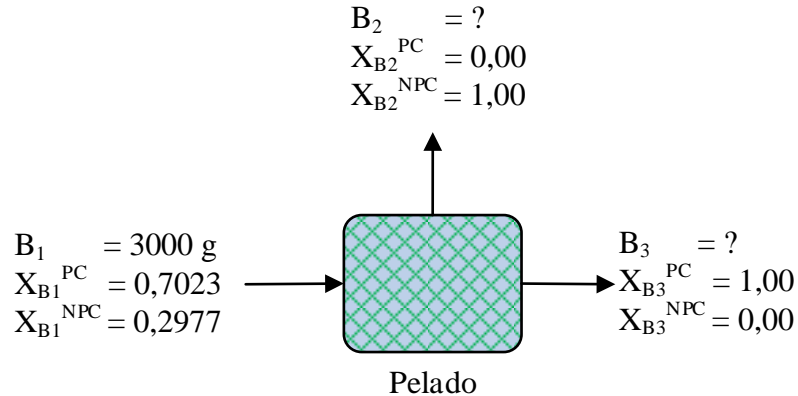
- $B_{23}$  = Vino base (g)  
 $B_{24}$  = Cabeza o metanol en la etapa de destilación (g)  
 $B_{25}$  = Cola en la etapa de destilación (g)  
 $B_{26}$  = Borra en la etapa de destilación (g)  
 $B_{27}$  = Aguardiente de banano en la etapa de destilación (g)  
 $X_{B_1}^{PC}$  = Fracción de la porción comestible de banano seleccionado  
 $X_{B_1}^{NPC}$  = Fracción de la porción no comestible de banano seleccionado  
 $X_{B_2}^{PC}$  = Fracción de la porción comestible de la cáscara de banano  
 $X_{B_2}^{NPC}$  = Fracción de la porción no comestible de la cáscara de banano  
 $X_{B_3}^{PC}$  = Fracción de la porción comestible de pulpa de banano acondicionada  
 $X_{B_3}^{NPC}$  = Fracción de la porción no comestible de pulpa de banano acondicionada  
 $X_{B_4}^S$  = Fracción sólida de agua entrante en el escaldado  
 $X_{B_4}^L$  = Fracción líquida de agua entrante en el escaldado  
 $X_{B_5}^S$  = Fracción sólida de agua evaporada en el escaldado  
 $X_{B_5}^L$  = Fracción líquida de agua evaporada en el escaldado  
 $X_{B_6}^S$  = Fracción sólida de agua saliente en el escaldado  
 $X_{B_6}^L$  = Fracción líquida de agua saliente en el escaldado  
 $X_{B_7}^S$  = Fracción sólida de la pulpa escaldada  
 $X_{B_7}^L$  = Fracción líquida de la pulpa escaldada  
 $X_{B_8}^S$  = Fracción sólida de vapor de agua en el enfriamiento  
 $X_{B_8}^L$  = Fracción líquida de vapor de agua en el enfriamiento

- $X_{B_9}^S$  = Fracción sólida de la pulpa enfriada
- $X_{B_9}^L$  = Fracción líquida de la pulpa enfriada
- $X_{B_{10}}^S$  = Fracción sólida de la pérdida en el triturado
- $X_{B_{10}}^L$  = Fracción líquida de la pérdida en el triturado
- $X_{B_{11}}^S$  = Fracción sólida de la pulpa triturada
- $X_{B_{11}}^L$  = Fracción líquida de la pulpa triturada
- $X_{B_{11}}^B$  = Fracción de relación de pulpa
- $X_{B_{12}}^S$  = Fracción sólida de agua para la dilución
- $X_{B_{12}}^L$  = Fracción líquida de agua para la dilución
- $X_{B_{12}}^A$  = Fracción de relación de agua
- $X_{B_{13}}^S$  = Fracción sólida de la pulpa diluida
- $X_{B_{13}}^L$  = Fracción líquida de la pulpa diluida
- $X_{B_{14}}^S$  = Fracción sólida del azúcar
- $X_{B_{14}}^L$  = Fracción líquida del azúcar
- $X_{B_{15}}^S$  = Fracción sólida de la pulpa corregida
- $X_{B_{15}}^L$  = Fracción líquida de la pulpa corregida
- $X_{B_{16}}^S$  = Fracción sólida de ácido cítrico
- $X_{B_{16}}^L$  = Fracción líquida de ácido cítrico
- $X_{B_{17}}^S$  = Fracción sólida del nutriente
- $X_{B_{17}}^L$  = Fracción líquida del nutriente
- $X_{B_{18}}^S$  = Fracción sólida de la levadura

- $X_{B18}^L$  = Fracción líquida de la levadura  
 $X_{B19}^S$  = Fracción sólida de la mezcla acondicionada  
 $X_{B19}^L$  = Fracción líquido de la mezcla acondicionada  
 $X_{B19}^G$  = Fracción gaseosa de la mezcla acondicionada  
 $X_{B20}^S$  = Fracción sólido del dióxido de carbono  
 $X_{B20}^L$  = Fracción líquido del dióxido de carbono  
 $X_{B20}^G$  = Fracción gaseosa del dióxido de carbono  
 $X_{B21}^S$  = Fracción sólida de la pulpa fermentada  
 $X_{B21}^L$  = Fracción líquida de la pulpa fermentada  
 $X_{B21}^G$  = Fracción gaseosa de la pulpa fermentada  
 $X_{B22}^S$  = Fracción sólida de mosto  
 $X_{B22}^L$  = Fracción líquida de mosto  
 $X_{B23}^S$  = Fracción sólida de vino base  
 $X_{B23}^L$  = Fracción líquida de vino base  
 $\%B_{24}$  = Cabeza en la etapa de destilación  
 $\%B_{25}$  = Cola en la etapa de destilación  
 $\%B_{26}$  = Borra en la etapa de destilación  
 $\%B_{27}$  = Aguardiente de banano en la etapa de destilación

#### **4.7.1 Balance de materia en la etapa de pelado de banano**

En la figura 4.29, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de pelado del banano donde se realizó con 3000 g de banano; para los datos de porción comestible (PC) 70,23% y porción no comestible (PNC) 29,77% de datos extraídos de la tabla 4.1



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.55:** Balance de materia en la etapa de pelado

Balance de materia global en la etapa de pelado de banana

$$B_1 = B_2 + B_3 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Balance parcial para la porción comestible en la etapa de pelado de banana

$$B_1 * X_{B1}^{PC} = B_2 * X_{B2}^{PC} + B_3 * X_{B3}^{PC} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Despejando  $B_3$  de la ecuación 4.2

$$B_1 * X_{B1}^{PC} = B_3 * X_{B3}^{PC}$$

$$B_3 = \frac{B_1 * X_{B1}^{PC}}{X_{B3}^{PC}}$$

Reemplazando valores:

$$B_3 = \frac{3000 * 0,7023}{1,00}$$

$B_3 = 2106,9 \text{ g}$  de pulpa de banana acondicionada

Despejando  $B_2$  de la ecuación 4.1

$$B_2 = B_1 - B_3$$

Reemplazando valores:

$$B_2 = 3000 - 2106,9$$

$B_2 = 893,1$  g de cáscara de banano

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de pelado de banano

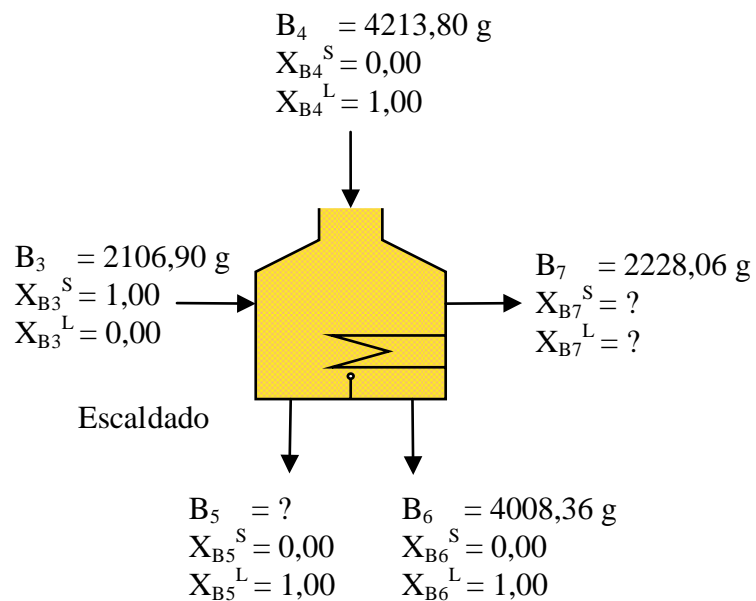
$$\%B_2 = \frac{B_2 * 100\%}{B_1} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$\%B_2 = \frac{893,1 * 100\%}{3000}$$

$\%B_2 = 29,77$  % de cáscara de banano

#### 4.7.2 Balance de materia en la etapa de escaldado de la pulpa de banano

En la figura 4.30, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de escaldado de la pulpa de banano con una cantidad de 4213,80 de agua para 2106,90 g de pulpa de banano.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.56:** Balance de materia en la etapa de escaldado

Balance de materia global en la etapa de escaldado de la pulpa de banano

$$B_3 + B_4 = B_5 + B_6 + B_7 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Despejando  $B_5$  de la ecuación 4.4

$$B_5 = B_3 + B_4 - B_6 - B_7$$

Reemplazo valores

$$B_5 = 2106,90 + 4213,80 - 4008,36 - 2228,06$$

$$B_5 = 84,28 \text{ g de agua evaporada en el escaldado}$$

Cantidad de porcentaje de agua evaporada en la etapa de escaldado

$$\%B_5 = \frac{B_5 * 100\%}{B_4} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$\%B_5 = \frac{84,28 * 100\%}{4213,80}$$

$$\%B_5 = 2 \% \text{ de agua evaporada en el escaldado}$$

Balance parcial de materia para el componente sólido

$$B_3 X_{B_3}^S + B_4 X_{B_4}^S = B_5 X_{B_5}^S + B_6 X_{B_6}^S + B_7 X_{B_7}^S \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Despejando  $X_{B_7}^S$  de la ecuación 4.6

$$X_{B_7}^S = \frac{B_3 * X_{B_3}^S}{B_7}$$

$$X_{B_7}^S = \frac{2106,90 * 1,00}{2228,06}$$

$$X_{B_7}^S = 0,95 \text{ de fracción sólido de la pulpa escaldada}$$

Balance parcial de materia para el componente líquido de pulpa escaldada

$$X_{B_7}^S + X_{B_7}^L = 1 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Despejando  $X_{B_7}^L$  de la ecuación 4.7

$$X_{B_7}^L = 1 - X_{B_7}^S$$

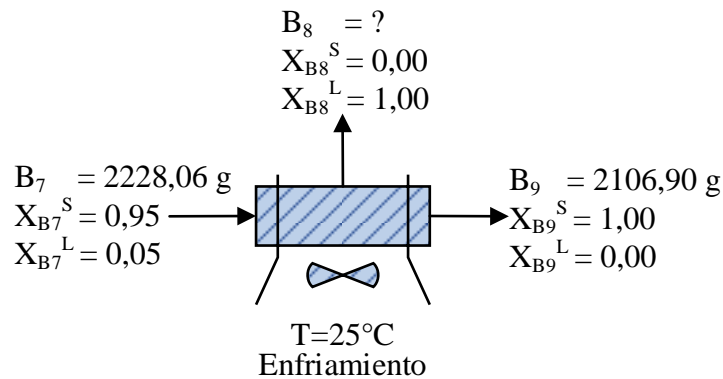
Reemplazar valores

$$X_{B_7}^L = 1 - 0,95$$

$X_{B_7}^L = 0,05$  de fracción líquida de la pulpa escaldada

### 4.7.3 Balance de materia en la etapa de enfriamiento de la pulpa de banano

En la figura 4.31, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de enfriamiento de la pulpa de banano.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.57:** Balance de materia en la etapa de enfriamiento

Balance de materia global en la etapa de enfriado

$$B_7 = B_8 + B_9$$

Ecuación 4.8

Despejando  $B_8$  de la ecuación 4.8

$$B_8 = B_7 - B_9$$

Remplazar valores

$$B_8 = 2228,06 - 2106,90$$

$B_8 = 121,16 \text{ g}$  de vapor de agua en el enfriamiento

Cantidad de porcentaje en la pérdida de vapor de agua

$$\%B_8 = \frac{B_8 * 100\%}{B_7}$$

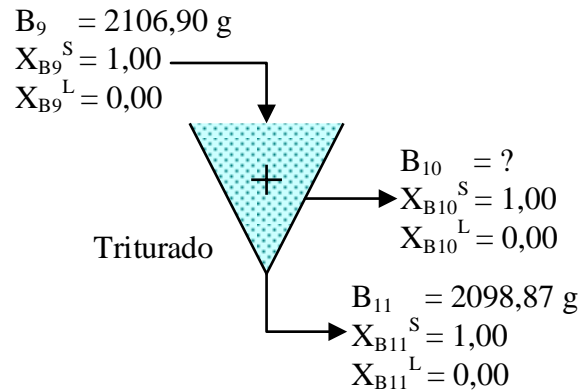
Ecuación 4.9

$$\%B_8 = \frac{121,16 * 100\%}{2228,06}$$

$\%B_8 = 5,44 \%$  de vapor de agua en el enfriamiento

#### 4.7.4 Balance de materia en la etapa de triturado de la pulpa de banano

En la figura 4.32, se muestra la etapa de triturado de la pulpa de banano que se realizó con 2106,90 g.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.58:** Balance de materia en la etapa de triturado

Balance de materia global en la etapa de triturado

$$B_9 = B_{10} + B_{11}$$

Ecuación 4.10

Despejando  $B_{10}$  de la ecuación 4.10

$$B_{10} = B_9 - B_{11}$$

Reemplazando valores

$$B_{10} = 2106,90 - 2098,87$$

$B_{10} = 8,03 \text{ g}$  de pérdida de pulpa en el triturado

Cantidad de porcentaje de pérdida en el triturado

$$\%B_{10} = \frac{B_{10} * 100\%}{B_9}$$

Ecuación 4.11

Reemplazando valores

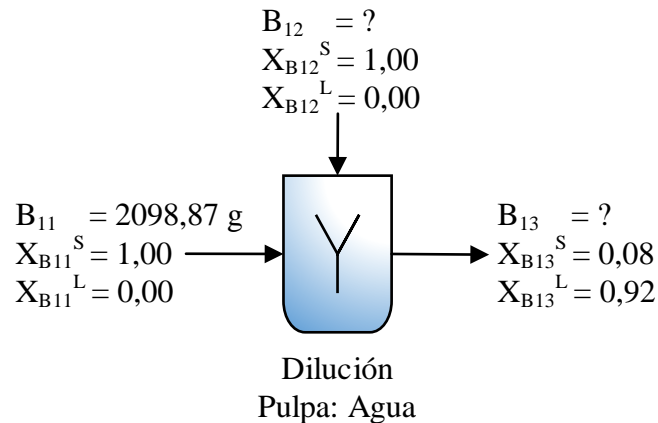
$$\%B_{10} = \frac{8,03 * 100\%}{2106,90}$$



$\%B_{10} = 0,38 \%$  de pérdida de pulpa en el triturado

#### 4.7.5 Balance de materia en la etapa de dilución de la pulpa de banano en agua

En la figura 4.33, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de dilución de la pulpa en agua para lo cual se realizó en una relación de 1,0;1,5 a partir de 2098,87g de pulpa.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.59 :**Balance de materia en la etapa de dilución pulpa: agua

Balance de materia global en la etapa de dilución de la pulpa

$$B_{11} + B_{12} = B_{13} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Cálculo de la fracción de relación de la pulpa de banano y agua:

$$X_{B_{11}}^B = \frac{1}{2,5} = 0,4 \quad X_{B_{12}}^A = \frac{1,5}{2,5} = 0,6$$

Balance parcial para la pulpa diluida de banano mediante la fracción de relación en la etapa de dilución.

$$B_{11} = B_{13} * X_{B_{11}}^B \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Despejando  $B_{13}$  de la ecuación 4.13

$$B_{13} = \frac{B_{11}}{X_{B_{11}}^B}$$

$$B_{13} = \frac{2098,87}{0,4}$$

$B_{13} = 5247,18$  g de pulpa banano diluida

Despejando  $B_{12}$  de la ecuación 4.12

$$B_{12} = B_{13} - B_{11}$$

$$B_{12} = 5247,18 - 2098,87$$

$B_{12} = 3148,31$  g de agua para la dilución

Cantidad de porcentaje de agua para la dilución

$$\%B_{12} = \frac{B_{12} * 100\%}{B_{13}} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$\%B_{12} = \frac{3148,31 * 100\%}{5247,18}$$

$\%B_{12} = 60\%$  de agua para la dilución

Cantidad de porcentaje de pulpa para la dilución

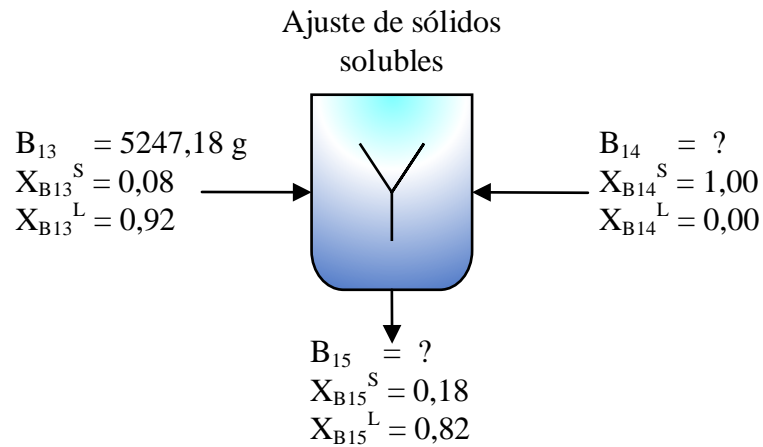
$$\%B_{11} = \frac{B_{11} * 100\%}{B_{13}} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$\%B_{11} = \frac{2098,87 * 100\%}{5247,18}$$

$\%B_{11} = 40\%$  de pulpa de banano triturada

#### **4.7.6 Balance de materia en la etapa de ajuste sólidos solubles de la pulpa diluida**

En la figura 4.34, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de ajuste de los sólidos solubles para 18°Brix que se realizó a partir de 5247,18 g de pulpa diluida a 8°Brix



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.60:** Balance de materia en la etapa de ajuste de sólidos solubles

Balance de materia global en la etapa de ajuste de sólidos solubles

$$B_{13} + B_{14} = B_{15} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Balance parcial de materia para líquido en la etapa de ajuste de sólidos solubles

$$B_{13} * X_{B_{13}}^L + B_{14} * X_{B_{14}}^L = B_{15} * X_{B_{15}}^L \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejando  $B_{15}$  de la ecuación 4.17

$$B_{15} = \frac{B_{13} * X_{B_{13}}^L}{X_{B_{15}}^L}$$

$$B_{15} = \frac{5247,18 * 0,92}{0,82}$$

$$B_{15} = 5887,08 \text{ g de pulpa corregida}$$

Despejando  $B_{14}$  se utilizó la ecuación 4.16

$$B_{14} = B_{15} - B_{13}$$

Reemplazando valores

$$B_{14} = 5887,06 - 5247,18$$

$$B_{14} = 639,90 \text{ g de azúcar}$$

Cantidad de porcentaje de azúcar para la pulpa diluida

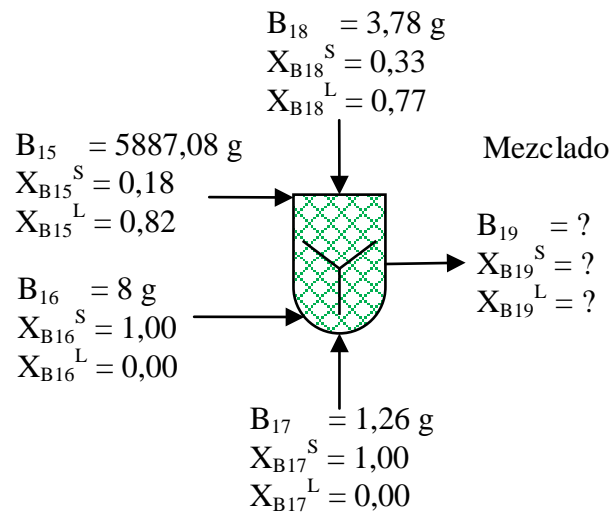
$$\%B_{14} = \frac{B_{14} * 100\%}{B_{15}} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$\%B_{14} = \frac{639,90 * 100\%}{5887,08}$$

$$\%B_{14} = 10,86\% \text{ de azúcar}$$

#### 4.7.7 Balance de materia en la etapa de mezclado

En la figura 4.35, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de mezclado de los insumos.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.61:** Balance de materia en la etapa de mezclado

Balance de materia global en la etapa de mezclado:

$$B_{15} + B_{16} + B_{17} + B_{18} = B_{19} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Reemplazando valores

$$B_{19} = 5887,08 + 8 + 1,26 + 5,26$$

$$B_{19} = 5900,12 \text{ g de mezcla acondicionada}$$

Balance parcial de materia para líquido en la etapa de mezclado

$$B_{15} * X_{B_{15}}^L + B_{16} * X_{B_{16}}^L + B_{17} * X_{B_{17}}^L + B_{18} * X_{B_{18}}^L = B_{19} * X_{B_{19}}^L \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Despejando  $X_{B_{19}}^L$  de la ecuación 4.20

$$X_{B_{19}}^L = \frac{B_{15} * X_{B_{15}}^L + B_{18} * X_{B_{18}}^L}{B_{19}}$$

$$X_{B_{19}}^L = \frac{(5887,08 * 0,82) - (3,78 * 0,77)}{5900,12}$$

$$X_{B_{19}}^L = 0,82 \text{ fracción líquida de mezcla acondicionada}$$

Balance de fracción de componentes

$$X_{B_{19}}^S + X_{B_{19}}^L = 1 \quad \text{Ecuación 4.21}$$

$$X_{B_{19}}^S = 1 - X_{B_{19}}^L$$

$$X_{B_{19}}^S = 1 - 0,82$$

$$X_{B_{19}}^S = 0,18 \text{ fracción sólida de mezcla acondicionada}$$

Cantidad de porcentaje de la levadura activada

$$\%B_{18} = \frac{B_{18} * 100\%}{B_{19}} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

$$\%B_{18} = \frac{3,78 * 100\%}{5900,12}$$

$$\%B_{18} = 0,06 \% \text{ de levadura activada}$$

Cantidad de porcentaje de nutriente

$$\%B_{17} = \frac{B_{17} * 100\%}{B_{19}} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

$$\%B_{17} = \frac{1,26 * 100\%}{5900,12}$$

$$\%B_{17} = 0,02 \% \text{ de nutriente}$$

Cantidad de porcentaje de ácido cítrico

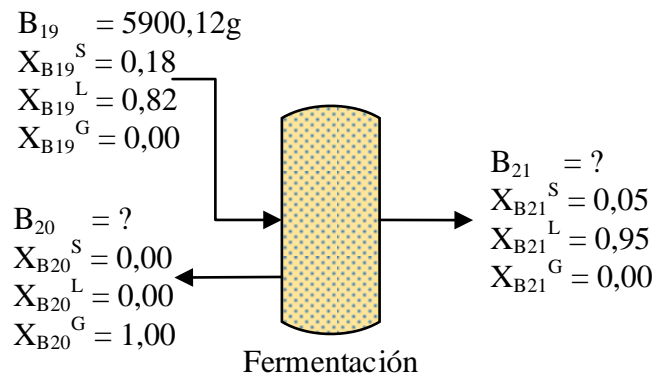
$$\%B_{16} = \frac{B_{18} * 100\%}{B_{19}} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

$$\%B_{16} = \frac{8 * 100\%}{5900,12}$$

$\%B_{16} = 0,14 \%$  de ácido cítrico

#### 4.7.8 Balance de materia en la etapa de fermentado de la pulpa de banano

En la figura 4.36, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de fermentado de la pulpa de banano a partir de 5900,12 g.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.62:** Balance de materia en la etapa de fermentación

Balance de materia global en la etapa de fermentación:

$$B_{19} = B_{20} + B_{21} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Balance parcial para líquido en la etapa de fermentación

$$B_{19} * X_{B_{19}}^L = B_{20} * X_{B_{20}}^L + B_{21} * X_{B_{21}}^L \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Despejando  $B_{21}$  de la ecuación 4.26

$$B_{21} = \frac{B_{19} * X_{B_{19}}^L}{X_{B_{21}}^L}$$

$$B_{21} = \frac{5900,12 * 0,82}{0,95}$$

$$B_{21} = 5092,74 \text{ g de pulpa fermentada}$$

Despejando  $B_{20}$  de la ecuación 4.25

$$B_{20} = B_{19} - B_{21}$$

$$B_{20} = 5900,12 - 5092,74$$

$$B_{20} = 807,38 \text{ g de CO}_2$$

Cantidad de porcentaje de  $\text{CO}_2$  en la etapa de fermentación

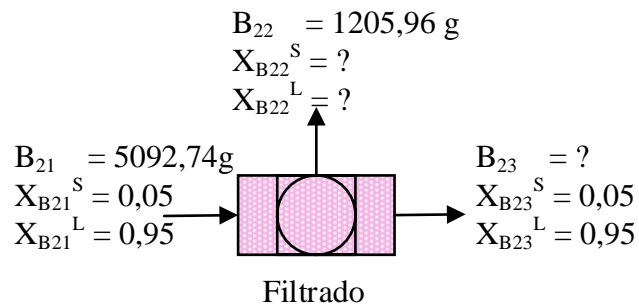
$$\%B_{20} = \frac{B_{20} * 100\%}{B_{19}} \quad \text{Ecuación 4.27}$$

$$\%B_{20} = \frac{807,38 * 100\%}{5900,12}$$

$$\%B_{20} = 13,68\% \text{ de CO}_2$$

#### 4.7.9 Balance de materia en la etapa de filtrado de la pulpa de banano

En la figura 4.37, se muestra la etapa de filtrado de la pulpa de banano que se realizó con 5092,74 g.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.63:** Balance de materia en la etapa de filtrado

Balance de materia global en la etapa de filtrado

$$B_{21} = B_{22} + B_{23} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Despejando  $B_{23}$  de la ecuación 4.28

$$B_{23} = B_{21} - B_{22}$$

Reemplazando valores

$$B_{23} = 5092,74 - 1205,96$$

$$B_{23} = 3886,78 \text{ g de vino base}$$

Cantidad de porcentaje del mosto en la etapa de filtrado

$$\%B_{22} = \frac{B_{22} * 100\%}{B_{21}} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

$$\%B_{22} = \frac{1205,96 * 100\%}{5092,74}$$

$$\%B_{22} = 23,68\% \text{ de mosto}$$

Balance parcial de sólido para la etapa de filtrado

$$B_{21} * X_{B_{21}}^S = B_{22} * X_{B_{22}}^S + B_{23} * X_{B_{23}}^S \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Despejando  $X_{B_{22}}^S$  de la ecuación 4.30

$$X_{B_{22}}^S = \frac{B_{21} * X_{B_{21}}^S - B_{23} * X_{B_{23}}^S}{B_{22}}$$

$$X_{B_{22}}^S = \frac{(5092,74 * 0,05) - (3886,78 * 0,05)}{1205,96}$$

$$X_{B_{22}}^S = 0,05 \text{ fracción sólida del mosto}$$

Balance de fracción de componentes

$$X_{B_{22}}^S + X_{B_{22}}^L = 1 \quad \text{Ecuación 4.31}$$

$$X_{B_{22}}^L = 1 - X_{B_{22}}^S$$

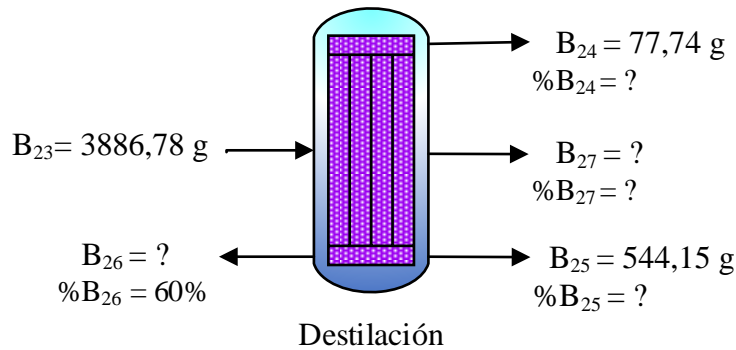
$$X_{B_{22}}^L = 1 - 0,05$$

$$X_{B_{22}}^L = 0,95 \text{ fracción líquida de mosto}$$



#### 4.7.10 Balance de materia en la etapa de destilado de la pulpa de banano

En la figura 4.38, se muestra la etapa de destilado que se realizó con 3886,78 g de vino base de pulpa de banano y finalizando la destilación se obtuvo un rendimiento de 60% de borra líquida



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.64:** Balance de materia en la etapa de destilado

Balance de materia global en la etapa de destilación

$$B_{23} = B_{24} + B_{25} + B_{26} + B_{27} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Cálculo de borra líquida se tomó en cuenta la fracción de rendimiento de peso

$$B_{26} = B_{23} * X_{B_{26}}^R \quad \text{Ecuación 4.33}$$

$$B_{26} = 3886,78 * 0,60$$

$$B_{26} = 2332,07 \text{ g de borra en la etapa de destilación}$$

Despejando  $B_{27}$  de la ecuación 4.32

$$B_{27} = B_{23} - B_{24} - B_{25} - B_{26}$$

Reemplazando valores

$$B_{27} = 3886,78 - 77,74 - 544,15 - 2332,07$$

$$B_{27} = 932,82 \text{ g de aguardiente de banano en la etapa de destilación}$$

Cantidad de porcentaje del aguardiente de pulpa de banano

$$\%B_{27} = \frac{B_{27} * 100\%}{B_{23}} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

$$\%B_{27} = \frac{932,82 * 100\%}{3886,78}$$

$\%B_{27} = 23,99\%$  de aguardiente de banano en la etapa de destilación

Cantidad de porcentaje de cabeza en la etapa de destilación

$$\%B_{24} = \frac{B_{24} * 100\%}{B_{23}} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

$$\%B_{24} = \frac{77,74 * 100\%}{3886,78}$$

$\%B_{24} = 2\%$  de cabeza en la etapa de destilación

Cantidad de porcentaje de cola en la etapa de destilación

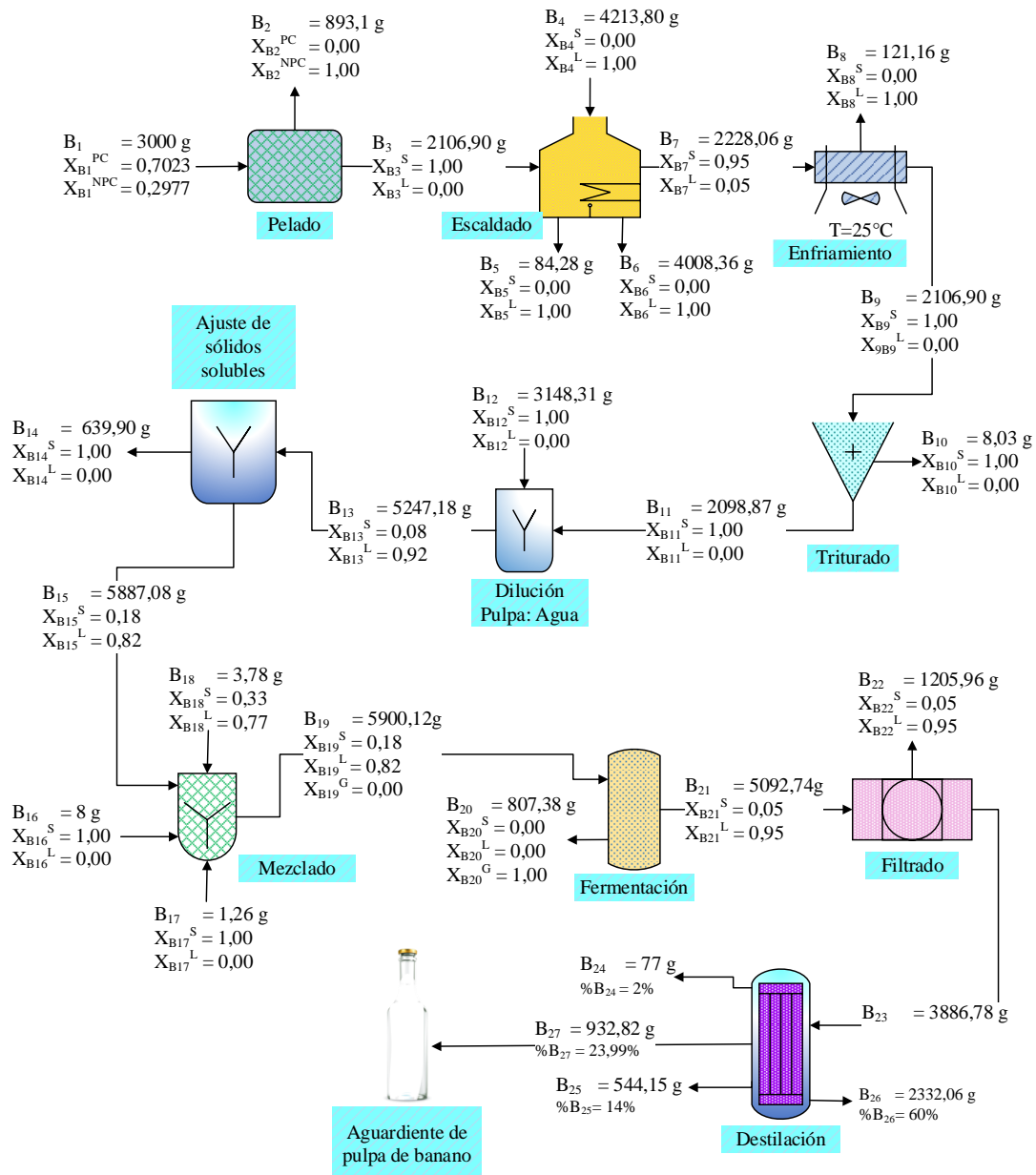
$$\%B_{25} = \frac{B_{25} * 100\%}{B_{23}} \quad \text{Ecuación 4.36}$$

$$\%B_{25} = \frac{544,15 * 100\%}{3886,78}$$

$\%B_{25} = 14\%$  de cola en la etapa de destilación

#### 4.7.11 Resumen general del balance de materia para la elaboración de aguardiente de pulpa de banana

En la figura 4.39, se muestra el resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de banana.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.65: Resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de banana

#### 4.8 Balance de energía para la elaboración de aguardiente de pulpa de banano

Para realizar el balance de energía en el proceso de elaboración de aguardiente de banano, se tomó en cuenta la etapa de escaldado y destilación.

##### 4.8.1 Ecuaciones para el balance de energía en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de banano

Para efectuar el balance de energía se consideró las siguientes ecuaciones:

Según (Lewis 1993) se muestra la ecuación 4.37 del balance general de energía para procesos de transformación de calor:

$$Q = L_1 C_p \Delta H \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Según Lewis (1993), el principio de la conservación de la energía esta dado por:

$$Q_T = Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{ganado}} \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Para el cálculo del calor latente en los cambios de fase según (Lewis 1993) es:

$$Q_1 = \Delta H L = L * \lambda \quad \text{Ecuación 4.39}$$

Según Lewis (1993), afirma que si se conoce la composición fisicoquímica del alimento se puede calcular las capacidades caloríficas, por tanto, se determinó el  $C_p$  de banano, de acuerdo a la ecuación 4.40.

$$C_p = m_w C_w + m_c C_c + m_p C_p + m_g C_g + m_z C_z \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Donde:

$m_w$  = fracción de masa de agua

$C_c$  = calor específico de carbohidratos

$m_c$  = fracción de masa de carbohidratos

$C_p$  = calor específico de proteína

$m_p$  = fracción de masa de proteína

$C_g$  = calor específico de grasa

$m_g$  = fracción de masa de grasa

$C_z$  = calor específico de ceniza

$m_z$  = fracción de masa de ceniza

$C_w$  = calor específico de agua

En la tabla 4.21, se detallan las capacidades caloríficas en función a la composición fisicoquímica de los alimentos.

**Tabla 4.28**

*Capacidades caloríficas en función a la composición de los alimentos*

Calor específico	Valor 1 KJ/Kg °C	Valor 2 KJ/Kg °C
C <sub>w</sub> (agua)	4,18	4,18
C <sub>c</sub> (carbohidratos)	1,40	1,22
C <sub>p</sub> (proteína)	1,60	1,90
C <sub>g</sub> (grasa)	1,70	1,90
C <sub>z</sub> (ceniza)	0,80	-

**Fuente:** Lewis, 1993

En la tabla 4.22, se observan los resultados de la composición fisicoquímica de banana variedad *Williams* de datos extraídos del Anexo A.

**Tabla 4.29**

*Resultados de la composición fisicoquímica de banano*

Composición	Unidad	Valor
Humedad	%	73,44
Hidratos carbono	%	23,27
Proteína total	%	1,31
Grasa	%	0,50
Ceniza	%	1,08

**Fuente:** CEANID, 2022

Para la determinación del calor específico de banano C<sub>p</sub>, se aplica la ecuación 4.40

$$1\text{kJ} = 0,239006 \text{ kcal (Lewis, 1993)}$$

$$C_p = m_w C_w + m_c C_c + m_p C_p + m_g C_g + m_z C_z$$

$$C_{pB} = 0,7344 * 0,99904 + 0,2327 * 0,33460 + 0,0131 * 0,38241 + 0,005 * 0,40631 + 0,0108 * 0,1912$$

$$C_{pB} = 0,8207 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C calor específico de banano}$$

En la tabla 4.23, se muestra las capacidades caloríficas del agua, del acero inoxidable y aluminio.

**Tabla 4.30**

*Capacidad calorífica del agua, acero inoxidable y aluminio.*

Capacidad calorífica	Unidad	Valor
Aluminio	Kcal/Kg°C	0,22
Acero inoxidable	Kcal/Kg°C	0,12
Agua	Kcal/Kg°C	1,00

**Fuente:** Casas y Cordero, 2014

En la tabla 4.24, se puede observar las entalpias de vaporización en función a la temperatura para el agua saturada de acuerdo a la presión y altura de Tarija.

**Tabla 4.31**

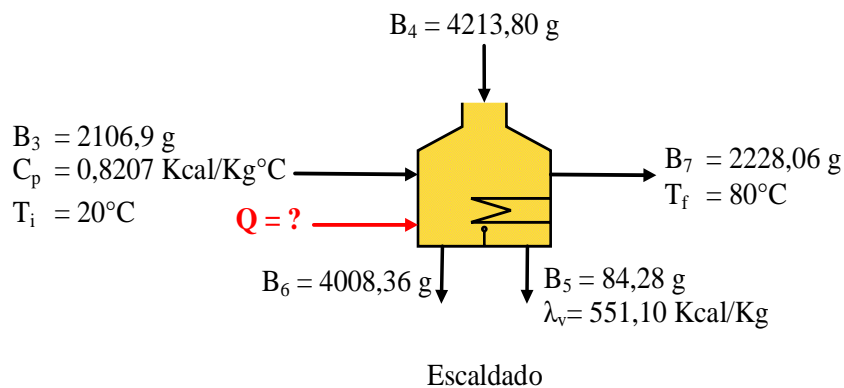
*Entalpias de vaporización del agua saturada*

Temperatura (°C)	Unidad	Entalpia de vaporización
76,67	Kcal/Kg	553,33
79,45	Kcal/Kg	551,65
81,99	Kcal/Kg	550,11

**Fuente:** Ruiz, 2016

#### 4.8.2 Balance de energía en la etapa de escaldado de la pulpa de banano

En la figura 4.40, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de escaldado de la pulpa de banano.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.66:** Balance de energía en la etapa de escaldado

Cálculo del calor requerido para calentar la olla de acero inoxidable que se utilizó en la etapa de escaldado.

Datos:

$$m_{\text{olla}} = 1,5633 \text{Kg}$$

$$Q = m_{\text{olla}} * C_{p\text{olla}} * (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación 4.41}$$

$$Q = 1,5633 \text{Kg} * 0,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} (80-20) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 11,26 \text{ Kcal}$$

Cálculo de la masa de vapor de agua ( $m_v$ )

$$m_v = 84,28 \text{g} \frac{1 \text{kg}}{1000 \text{g}}$$

$$m_v = 0,0843 \text{kg}$$

Cálculo del calor requerido para escaldar el banano, reemplazando la ecuación 4.42

$$Q = m_B * C_{pB} * (T_f - T_i) + m_A * C_{pA} * (T_f - T_i) + m_v * \lambda_v \quad \text{Ecuación 4.42}$$

$$Q_B = 2,1069 \text{Kg} * 0,8207 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} (80-20) \text{ } ^\circ\text{C} + 4,2138 \text{Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} (80-20) \text{ } ^\circ\text{C} + 0,0843 \text{Kg} * 551,10 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$Q_B = 403,03 \text{ Kcal}$$

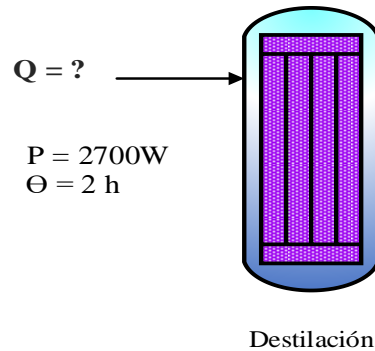
Para determinar el calor total requerido en la etapa de escaldado, se reemplazando la siguiente ecuación 4.43

$$Q_T = Q_{\text{olla}} + Q_B \quad \text{Ecuación 4.43}$$

$$Q_T = 11,26 \text{ Kcal} + 403,03 \text{ Kcal} = 414,29 \text{ Kcal}$$

### 4.8.3 Balance de energía en la etapa de destilación

En la figura 4.41, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de destilación de la pulpa de banano fermentada.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.67:** Balance de energía en la etapa de destilado

Para la etapa de destilación se utilizó el Rota vapor Bucchi R-100 con una potencia de 2700 W por un tiempo de 2 horas, tiempo que se tomó para la destilación.

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\theta)} \quad \text{Ecuación 4.44}$$

Para la determinación de la energía eléctrica requerida, se aplicó la ecuación 4.44 despejando E se obtiene:

$$E = P \cdot \Theta$$

$$E = 2700W \cdot \frac{1Kcal/h}{1,163W} \cdot 2 h$$

$$E = 4643,16 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para realizar la destilación al vacío durante un tiempo de 2 horas es de 4643,16Kcal.



**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

- ✘ Realizado el análisis fisicoquímico de banano se observa que contiene: 270,20 mg/100g potasio, 37,80 mg/100g magnesio, 0,40% fibra, 1,08% ceniza, 73,44% humedad, 1,31% proteína, 0,50% grasa, 23,27% hidratos de carbono y valor energético 103,50 Kcal/100g. Así mismo, en base a los análisis microbiológicos de banano se observa que contiene: Coliformes totales  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g; Escherichia coli  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g; mohos y levaduras  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g.
- ✘ Realizado la evaluación sensorial a las pruebas preliminares durante el desarrollo experimental, indican que las muestras de mayor preferencia por los jueces son las muestra Y02 y Y03 por tanto existe diferencia significativa entre las muestras. De acuerdo a estos resultados se realizó evaluación sensorial de las dos muestras Y05 y Y06, y según la preferencia de los jueces mediante el análisis estadístico de caja y bigote la muestra Y05 fue de mayor preferencia, quedando como la muestra ideal elegida.
- ✘ Realizado el diseño factorial  $2^3$  en el proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de aguardiente de pulpa de banano se pudo establecer que para los factores de variación; relación pulpa: agua (A), levadura (B) y tiempo de fermentación (C), son estadísticamente significativos debido que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se afirma que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación alcohólica.
- ✘ En base al diseño factorial  $2^3$ , se realizó evaluación sensorial para el nivel inferior y el nivel superior, donde las muestras YH04 (nivel inferior) y YH06 (nivel superior) fueron de mayor preferencia por los jueces. Según los resultados obtenidos se llevó a cabo la evaluación sensorial de las muestras YH04, YH06 y Y05, quedando como la muestra final elegida YH04.
- ✘ Realizado el análisis físico y fisicoquímico del producto final indica que presenta: 40 °GL, 4,62 pH, 0,126 g/l acidez volátil, 64 mg/l metanol, 0,14 g/l de azúcares reductores, 1,95 mg/l anhídrido sulfuroso total, 0,11 g/l extracto seco.

- ✘ Realizado el balance de materia a partir de 3000g de banano se obtuvo 932,82g de aguardiente de pulpa de banano. Así mismo, para determinar la cantidad de calor necesario en la etapa de escaldado fue de 414,29 Kcal y en la etapa de destilación la cantidad de calor requerida fue de 4643,16 Kcal.

## **5.2 Recomendaciones**

- ★ Se recomienda incentivar la producción de aguardiente de pulpa de banano mediante la implementación de una plata piloto en la provincia Cercado con la finalidad de contribuir al desarrollo económico y agroindustrial de la ciudad de Tarija
- ★ Se recomienda realizar un trabajo de investigación experimental sobre el efecto de las enzimas nativas en la etapa de fermentación alcohólica, con el fin de observar si son significativos o no, en dicho proceso de diferentes materias primas como ser: mango, higo, zanahoria, remolacha, yuca entre otros.
- ★ Se recomienda realizar un trabajo de investigación experimental a partir de la cáscara de banano con el fin de obtener otros productos derivados como ser aguardiente, bioetanol entre otros.
- ★ Así mismo se recomienda incursionar más en la obtención de productos de bebidas alcohólicas destiladas, haciendo uso de los equipos que cuenta la Carrera de Ingeniera de Alimentos.