

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

El proceso de destilación se remonta a épocas anteriores al año 800 a.C., momento en el cual se documentó a detalle el primer proceso de fermentación y destilación que se conoce. Los primeros destilados se conocieron con el nombre de «aguavite», o sea, aguardiente. Hasta hace aproximadamente un siglo, sólo se extraía el alcohol del vino o del orujo. Sólo en el Reino Unido se extraía de la cebada. La creciente demanda y la diversidad de usos, obligó a buscar esta sustancia en los más variados productos vegetales y hoy ocupa primerísimo lugar el alcohol de cereales y de caña o melaza de azúcar (Muñoz, 2010).

En el 2016, más de la mitad (57% o 3100 millones de personas) de la población mundial de 15 años o más se había abstenido de consumir alcohol en los 12 meses anteriores. Alrededor de 2300 millones de personas son consumidores actuales. Más de la mitad de la población consume alcohol en solo tres regiones de la OMS (Américas, Europa y Pacífico Occidental) (OMS & OPS, 2018).

El consumo total de alcohol por habitante en la población mundial de más de 15 años aumentó de 5,5 litros de alcohol puro en el 2005 a 6,4 litros en el 2010, y se mantuvo en el nivel de 6,4 litros en el 2016 (OMS & OPS, 2018).

En todo el mundo, 44,8% del total de alcohol registrado se consume en forma de licores y aguardientes (también conocidos como bebidas espirituosas o bebidas blancas). El segundo tipo de bebida más consumida es la cerveza (34,3%), seguida del vino (11,7%) (OMS & OPS, 2018).

Bolivia posee una inmensa riqueza cultural, por lo que las fiestas se las vive mediante diversas manifestaciones y una de estas manifestaciones es el consumo de bebidas espirituosas. Por ejemplo, la fiesta de Carnaval y las bebidas alcohólicas no faltan. El estudio efectuado por Captura Consulting identificó a la cerveza como la principal bebida que consumen los bolivianos. En menor importancia el singani y el vino, de acuerdo con el estudio Análisis de Mercado Bolivia, realizado en diciembre de 2012 por Captura Consulting y encargado por Fautapo y el BID-FOMIN (Quiroz, 2016).

## 1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación tiene como finalidad elaborar aguardiente a base de muku maíz variedad “morocho amarillo”, para intensificar tradicionalmente a la producción de chicha de maíz y por consiguiente realizar un aprovechamiento del maíz variedad morocho amarillo que se cultiva en el departamento de Tarija.
- Mediante la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas del muku de maíz variedad “morocho amarillo” debido a que no existen registros de estos parámetros en bibliografías.
- El presente trabajo de investigación pretende elaborar aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” con la finalidad de tener una alternativa en bebidas alcohólicas destiladas para el consumo de la población de la provincia Cercado.

## 1.3 Objetivos

Los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, son los siguientes:

### 1.3.1 Objetivo general

Aplicar una metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica, que permita elaborar aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” para el consumo de la población de la provincia Cercado.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar características fisicoquímicas y microbiológicas del muku de maíz, con el fin de obtener su composición.
- Aplicar la evaluación sensorial de las pruebas preliminares con la finalidad de determinar una fermentación controlada.

- Aplicar diseño experimental  $2^2$  para determinar las variables en el proceso de fermentación alcohólica.
- Determinar los análisis fisicoquímicos del producto final para conocer su composición.
- Realizar el balance de materia y energía para conocer la contabilidad de entradas y salidas de la materia, el gasto que se produce de energía en el proceso y tener el rendimiento del proceso.

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

Aplicar la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica para obtener aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” para el consumo de la población de la provincia Cercado.

#### **1.5 Campo de acción**

- ❖ Espacial: Ciudad de Tarija
- ❖ Temporal: 2022-2023
- ❖ Institución: Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.)

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

En la provincia Cercado la chicha de maíz una bebida fermentada a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” la cual tradicionalmente es una bebida alcohólica antigua que se produce más que todo en fechas festivas como ser carnaval y festividades religiosas y que con pasar del tiempo las nuevas generaciones están dejando de consumirlas. Por ende, con la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” mediante el empleo de un método experimental de proceso de fermentación alcohólica, permitirá que la población tenga una alternativa de una bebida alcohólica destilada y aumentado el valor agregado del maíz

permitiendo la producción tanto de maíz como del aguardiente para la población de la provincia Cercado.

### **1.7 Formulación del problema**

¿Cuál será la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica a ser aplicado para elaborar aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” con el fin de obtener una bebida alcohólica para el consumo de la población de la provincia Cercado?

### **1.8 Hipótesis**

La metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica aplicado en la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” permitirá obtener una bebida alcohólica para el consumo de la población de la provincia Cercado.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Origen del aguardiente**

Las primeras evidencias de destilación en Europa son ya del siglo XII y proceden de la escuela de Salerno, en Italia, aunque el método pronto se extendió por el resto del continente. Curiosamente, las primeras aplicaciones de esta sustancia, denominada “aqua ardens” o “aqua vitae” según su grado de alcohol obtenido, fueron principalmente medicinales (Navarro, 2019).

La tradición occidental atribuye en ocasiones al aragonés Arnau de Vilanova y al catalán Ramón Llull el origen de la destilación del alcohol con fines de consumo a finales del siglo XIII o en los albores del siglo XIV. De Vilanova habría conseguido destilar etanol prácticamente puro, habiendo sido así mismo en primero en publicar en occidente un tratado detallado acerca de la destilación del vino, por su parte, Llull que andaba buscando el “elixir” de los alquimistas, habría sido pionero en fomentar la utilización del aqua ardens para la preparación de bebidas alcohólicas de alta graduación (Navarro, 2019).

## **2.2 Definición del aguardiente**

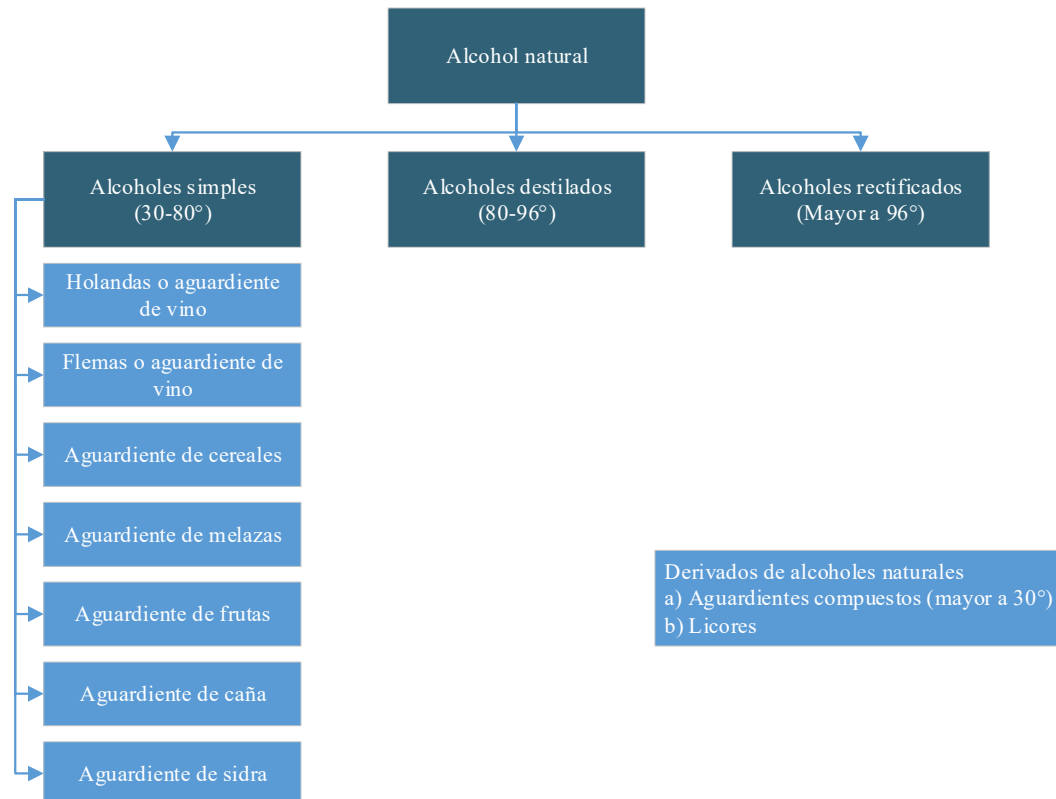
Según la Norma Oficial Mexicana (NOM,2017), las bebidas alcohólicas destiladas son un producto obtenido por destilación de líquidos fermentados que se hayan elaborado a partir de materias primas vegetales en las que la totalidad o una parte de sus azúcares fermentables, hayan sufrido como principal fermentación, la alcohólica, siempre y cuando el destilado no haya sido rectificado totalmente, por lo que el producto deberá contener las sustancias secundarias formadas durante la fermentación y que son características de cada bebida. Con contenido alcohólico de 25,0 hasta 55,0 % Alc. Vol. (por ciento de alcohol en volumen a 20 °C).

Según el Código Alimentario Argentino (C.A.A, 2019), se define un aguardiente 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 o cereales. 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 las bebidas alcohólicas destiladas

En la figura 2.1 se esquematiza la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas, atendiendo a su graduación alcohólica y el tratamiento al que se someten.



**Fuente:** Hernández & Sastre, 1999

**Figura 2.1:** Clasificación de bebidas alcohólicas destiladas.

#### 2.3.1 Descripción de la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas

A continuación, se muestra la descripción de la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas.

##### 2.3.1.1 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°. Según la materia prima empleada se distinguen los siguientes aguardientes: de vino, de orujo, de caña, de frutas, de sidra, y de cereales malteados (Hernández & Sastre, 1999).

#### **2.3.1.2 Alcoholes destilados**

Son aquellos cuya graduación está comprendida entre los 80° y 96°. Según las materias primas empleadas y los sistemas de obtención se distinguen: de vino, de cereales y de orujo (Hernández & Sastre, 1999).

#### **2.3.1.3 Alcoholes rectificados**

Son aquellos que se han obtenido por destilación y rectificación de aguardientes y alcoholes destilados, y su graduación es superior a 96°. Según las materias primas empleadas se distinguen: rectificado de vinos, de orujos, de frutas, de cereales, y de melazas (Hernández & Sastre, 1999).

#### **2.3.1.4 Aguardientes compuestos**

Son los productos elaborados con aguardientes simples o con otros alcoholes naturales o sus mezclas, aromatizados directamente en el momento de su redestilación, rebajados con agua y añejados o no. Pueden incorporárseles mosto, sacarosa o caramelo y su graduación no será inferior a 30° (Hernández & Sastre, 1999).

### **2.4 Composición fisicoquímica de las bebidas alcohólicas destiladas**

La tabla 2.1 muestra las propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas.

Tabla 2.1

*Propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas*

Parámetros fisicoquímicos	Blanco	
	MIN	MAX
Contenido alcohólico a 20°C (% Alc. Vol.) (por ciento de alcohol en volumen a 20 °C).	32	55,0
Extracto seco (g/l)	0,0	0,3
Valores expresados en mg/100 ml de alcohol anhidro		
Aldehídos	0,0	40,0
Esteres	2,0	200,0
Alcoholes superiores	20,0	500,0
Metanol	30,0	300,0
Furfural	0,0	5,0

Fuente: NOM, 2015

**2.4.1 Contenido grado alcohólico**

El grado alcohólico de una bebida es el contenido de alcohol etílico expresado en volumen de alcohol por 100 ml de bebida, o en gramo de alcohol por 100 ml de bebida si se expresa en grado alcohólico en peso (ASSAL, 2010).

**2.4.2 Extracto seco**

Es el conjunto de sustancias no volátiles que resultan de evaporar a sequedad la muestra y su posterior calentamiento a 100°C (MEIC, 1991. Pag 92).

**2.4.3 Aldehídos**

Los aldehídos y cetonas están vinculados al proceso de oxidación y afectan a la fase visual de las bebidas. El acetaldehído es usualmente el principal compuesto carbonílico de las bebidas alcohólicas, y constituye 90 por ciento del total del contenido de aldehídos y se le atribuye un importante papel en la sensación de picor de las bebidas destiladas (Microlab Industrial, 2019).

**2.4.4 Esteres**

Los esterres son de los compuestos responsables del sabor más numerosos en las bebidas alcohólicas. Son producidas intracelularmente como resultado de la

condensación de ésteres de coenzima A (CoA) de ácidos grasos con alcoholes. Una vez formados y siendo liposolubles, difunden de las células de las levaduras al caldo de fermentación. El perfil de ésteres y sus concentraciones depende de la cepa de levadura empleada (ALAM, 1998).

#### **2.4.5 Alcoholes superiores**

El alcohol amílico, el butanodiol y otros alcoholes son metabolitos secundarios del proceso de fermentación e integran el denominado aceite de fúsel. No obstante, si su concentración y/o el consumo de bebidas que los contienen son elevados, estos componentes pueden ser los responsables del dolor de cabeza y malestar general que se manifiesta después de la embriaguez (Hernández y Sastre, 1999).

#### **2.4.6 Metanol**

Este alcohol está presente en pequeñas concentraciones en las bebidas fermentadas por tratarse de un proceso secundario de la fermentación alcohólica y principalmente como consecuencia de la hidrólisis parcial de las pectinas que provienen del fruto. En las bebidas obtenidas a partir de cereales la cantidad de metanol es mucho más pequeña ya que la concentración de pectinas es mucho más baja que la de cualquier fruta (Hernández y Sastre, 1999).

#### **2.4.7 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).

### **2.5 Caracterización de la materia prima utilizada en la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

La materia prima para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” es la siguiente:

### 2.5.1 Muku de maiz variedad “morocho amarillo”

Masa obtenida mediante insalivación de harina de maíz hasta lograr convertirla en una pasta llamada “muk’u” que consiste en masticar el maíz, hasta conseguir darle una consistencia semilíquida. Cuando ya se ha masticado lo suficientemente se forman pequeñas bolas, que se depositan en una fuente, para luego hacerlas secar al calor del sol (Vargas, 2014).

#### 2.5.1.2 Composición nutricional del muku de maíz

En la tabla 2.2 se muestra la composición nutricional del muku de maíz en cada 100 gramos de porción comestible.

**Tabla 2.2**

*Composición nutricional del muku de maíz*

Componentes	Cantidad	Unidad
<b>Humedad</b>	12,54	<b>g</b>
<b>Proteína</b>	11,32	<b>g</b>
<b>Grasas</b>	4,30	<b>g</b>
<b>Fibra</b>	2,79	<b>g</b>
<b>Cenizas</b>	1,74	<b>g</b>
<b>Carbohidratos</b>	69,58	<b>g</b>

**Fuente:** Olivares y Ricaldi, 2013

#### 2.5.1.3 Propiedades nutricionales del maíz variedad “morocho amarillo”

Las variedades de los granos antiguos nativos se diferencian del maíz comercial por su mayor variedad de color, tamaño y niveles más altos de proteínas, lípidos y compuestos bioactivos (antioxidantes) además de brindar variedad de colores, sabores y texturas a la gastronomía tradicional (Santos et al., 2021).

Las propiedades nutricionales del maíz nativo son considerables, debido a su contenido de carbohidratos complejos, proteínas, grasas, fibra, con diferentes propiedades tecno funcionales. También se destaca el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, los cuales proporciona una mayor actividad antioxidante y antiinflamatoria en las personas (Santos et al., 2021)

Se destaca el contenido de compuestos fenólicos y particularmente de antocianinas, moléculas responsables del color en variedades de maíz morado o púrpura del maíz andino, los cuales proporciona un contenido mayor de actividad antioxidante y antiinflamatoria, además que los antioxidantes son compuestos esenciales necesarios para controlar las reacciones de oxidación, que están asociadas con el envejecimiento y la prevención de algunas enfermedades degenerativas. (Peñarrieta et al., 2014).

Así también, se ha determinado la presencia de algunos ácidos fenólicos (ácidos hidroxicinámicos) como el ácido p-coumarico y el ácido ferúlico en algunas variedades de maíz andino boliviano. Los ácidos fenólicos aparte de su capacidad antioxidante, han mostrado actividad antígenotóxica y antiproliferativa (Peñarrieta et al., 2014).

#### **2.5.1.4 Aplicaciones del muku de maíz**

Entre las aplicaciones del muku de maíz, Valdizán (1922) menciona la elaboración de chicha bebida tradicional o refrescos de maíz utilizando para su elaboración muku de maíces nativos. Estas bebidas ricas en propiedades alimenticias medicinales y estéticas. Muy buena para malestares estomacales mejorando la salud intestinal y por lo tanto la metabólica.

### **2.6 Caracterización de los insumos alimenticios para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

Los insumos alimenticios que se utilizan en la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” son los que se expone a continuación.

#### **2.6.1 Agua potable**

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (2005), Norma Boliviana (NB 495), indica que agua potable es aquella que, por sus características organolépticas, físico-químicas, radioactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la norma NB 512 y el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

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

Las levaduras al ser organismos unicelulares que se reproducen en enormes cantidades, mutan naturalmente con facilidad (Hills, 2004. Pag 135).

Cuando se incorpora la levadura al mosto, se inicia la fermentación alcohólica de los carbohidratos, los cambios físicos y químicos que ocurren sobre los sustratos presentes y los congénicos formados son promovidos por la acción de las enzimas metabólicas que aportan las levaduras (Hernández, 2003).

### **2.6.3 Chancaca**

Producto sólido obtenido por la evaporación directa del jugo puro de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L., que contiene microcristales amorfos no visibles al ojo humano, que mantiene sus elementos constitutivos como sacarosa, glucosa, fructosa y minerales (NOM, 2015. Pag 5).

Se entiende por panela y/o nombre corriente o vernáculo según se conoce en cada país (azúcar no centrífugo), al producto sólido de cualquier forma y presentación en molde de cualquier forma y/o granulada, proveniente de la evaporación y concentración del jugo de caña de azúcar del género *Saccharum* spp., sin centrifugar y sin purificar, manteniendo sus elementos constitutivos como sacarosa, glucosa, fructosa, fenoles, flavonoides, minerales y vitaminas. En ningún caso este producto se elabora total o parcialmente a partir de azúcares o jarabes ya procesados (Codex Alimentarius, 2019).

### **2.6.4 Azúcar refinada**

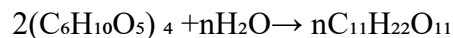
Producto sólido derivado de la caña de azúcar, constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa, en una concentración mínima de 99,90 % de polarización. Este tipo de azúcar se obtiene sometiendo el azúcar crudo (mascabado) o estándar a proceso de refinación. (Bolívar et al., 2005)

### 2.6.6 Nutriente para levadura rico en nitrógeno asimilable

El nitrógeno es un macronutriente esencial para el crecimiento y metabolismo de las levaduras. Los sistemas de transporte de hexosas, aminoácidos y amoníaco se basan en la presencia de enzimas, las cuales dependen de la concentración de nitrógeno en el mosto. El nitrógeno interviene en el crecimiento de la población de las levaduras, en la cinética de transporte de azúcares por las levaduras durante el curso de la fermentación, en la continuación de la fermentación alcohólica cuando el crecimiento activo ha cesado y en la protección de las levaduras del stress osmótico y de la toxicidad causada por el alcohol etílico en las etapas finales de la fermentación (Paladino et al., 2004).

### 2.7 Hidrolisis enzimática del almidón

Reyna et al. (2004) indica que, la hidrolisis produce azúcares que son directamente utilizados por todos los microorganismos vivientes. En la hidrolisis enzimática por acción de las enzimas las más comunes son: alfa y beta amilasa. Para una eficiente hidrolisis enzimática del almidón por las amilasas conviene que este gelatinizado, por esta razón se realiza un cocimiento del almidón antes de la adición de dichas enzimas:



La alfa amilasa (1,4-D-Glucan Glucano-hidrolasa) hidroliza los enlaces glucosídicos alfa-1,4 de los polisacáridos que poseen 3 o más unidades de D-glucosa en unión alfa-1,4. El ataque se hace en forma no selectiva (tipo endoenzima) sobre varios puntos de la cadena simultáneamente, aunque los primeros productos de la hidrolisis son siempre oligosacáridos de 5-7 unidades de glucosa, o un numero múltiplo. La amiloglucosidasa (1,4-D-Glucan glucohidrolasa) es una exohidrolasa también conocida como glucoamilasa, que hidroliza los enlaces glucosídicos alfa-1,4 y alfa-1,6 de la amilosa y la amilopectina separando unidades de glucosa a partir del extremo no reductor de la cadena (Mera y Carrera, 2005).

## 2.8 Fermentación alcohólica de los cereales

Con la fermentación alcohólica, las levaduras del género *Saccharomyces Cerevisiae* transforman parte de los hidratos de carbono de la harina de cereales en alcohol, con ellos obtienen energía al mismo tiempo que producen dióxido de carbono y aromas, el proceso de fermentación alcohólica incrementa el valor nutricional digestible de los cereales, aportando además sabores y olores característicos (Ronda, 2020).

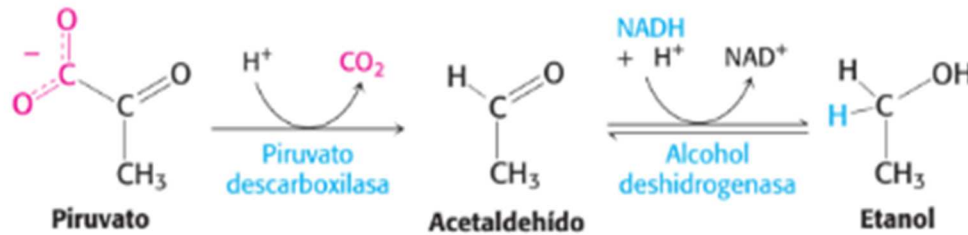
La fermentación alcohólica es una biorreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono.



En la fermentación alcohólica, el piruvato se convierte en etanol (alcohol etílico) en dos pasos. El primer paso libera dióxido de carbono del piruvato, que se convierte en el compuesto de dos carbonos acetaldehído. En el segundo paso, el acetaldehído es reducido por el NADH (nicotinamida adenina dinucleotida en forma reducida) a etanol. Esto regenera la provisión de  $\text{NAD}^+$  (nicotinamida adenina dinucleotida en forma oxidada) necesaria para la continuación del glucolisis (Campbell y Reece, 2005).

De igual manera Berg et al. (2014) indica que, el etanol se forma a partir del piruvato en levaduras y muchos otros microorganismos. El primer paso es la descarboxilación del piruvato. Esta reacción está catalizada por el piruvato descarboxilasa, la cual necesita de la coenzima tiamina pirofosfato. Esta coenzima, derivado de la vitamina tiamina ( $\text{B}_1$ ), también participa en reacciones catalizadas por otros enzimas. El segundo paso es la reducción de acetaldehído a etanol por el NADH, mediante una reacción catalizada por el alcohol deshidrogenasa. Este proceso regenera  $\text{NAD}^+$ . Reacción química observada en la figura 2.2.

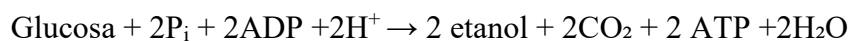




**Fuente:** Berg et al., 2014

**Figura 2.2:** Formación de etanol a partir de piruvato en levadura y otros microorganismos

La conversión de glucosa en etanol es un ejemplo de fermentación alcohólica. La reacción global de este proceso anaerobio es:



## 2.9 Factores que influyen en la fermentación alcohólica

Los factores que influyen en la fermentación alcohólica son:

### 2.9.1 Temperatura

Los microorganismos presentan una temperatura óptima para su crecimiento, a la cual presentan su mayor desarrollo. Igualmente presentan una temperatura máxima, por arriba de la cual no crecen y una temperatura mínima, por debajo de la cual tampoco se reproducen (Barreiro y Sandoval, 2006).

Con relación a la temperatura óptima para el desarrollo de las levaduras, infortunadamente, no existe consenso en el ámbito científico. Esta suele variar en función del género, de la especie e inclusive de la subespecie o sepa. Un valor promedio bastante aceptable es 25 °C. Por encima de los 25 °C, la velocidad de fermentación se incrementa, pero el desarrollo de los complejos aromáticos se ve reducido. De igual forma, aumenta la concentración de alcoholes superiores y sus desfavorables efectos. Se ha determinado que 30 °C es una temperatura límite para la mayoría de las fermentaciones. En ese punto, generalmente sufren un enlentecimiento y paradas bastantes difíciles de revertir. Se estima que la actividad de

la levadura se duplica cada 10 °C. Cuando las fermentaciones se realizan por debajo de los 25 °C, el tiempo se prolonga, se incrementa ligeramente la producción de aromas y mejora el compactado de las borras y sedimentos. A temperaturas cercanas a los 10 °C, la actividad de las levaduras se hace tan escasa que prácticamente se detiene (González, 2018).

### **2.9.2 pH**

El nivel óptimo de pH para el crecimiento de las levaduras varía de 4,0 a 6,0. Las levaduras soportan variaciones enormes de acidez, no sin repercusiones sobre los mecanismos fermentativos (Vásquez, 2001. Pag 215).

González (2018), indica que cuando se habla de los factores que influyen en la fermentación, la mayoría de las veces se resalta el papel que desempeña el pH y no la acidez titulable. En el caso de los jugos de uvas y de la mayoría de las frutas, el contenido de ácidos es suficiente para tener un pH cercano a 3,5. En caso de no ser así, el fabricante puede ajustar el pH sin modificar significativamente la acidez agregando una pequeña cantidad de un ácido fuerte grado alimentario como el clorhídrico o el fosforo.

### **2.9.3 Nutrientes**

Los carbohidratos, y de manera especial los azucares, constituyen el principal alimento para la levadura. No obstante, existe una buena cantidad de nutrientes que resultan esenciales para su metabolismo, entre los cuales se encuentran nitrógeno, fosforo, carbono, azufre, potasio, magnesio, calcio y vitamina. De todos ellos, son quizás el nitrógeno y las vitaminas los fundamentales para el desarrollo de la célula y la producción de alcohol. Como no siempre está garantizada la presencia de estos compuestos en la materia prima, es conveniente agregarlos de manera preventiva al mosto antes de fermentar (González, 2018).

#### **2.9.4 Oxigenación para las levaduras**

La presencia de oxígeno es necesaria para la multiplicación de las levaduras, así como también para ciertas funciones del metabolismo de las levaduras, que pueden afectar a un buen funcionamiento de las células, como la síntesis de esteroides y ácidos grasos insaturados que aumentan la permeabilidad de las membranas celulares, y que en su ausencia es frecuente una causa de paradas de fermentación. Por otro lado, la aireación implica un aumento de consumo de compuestos nitrogenados asimilables por las levaduras. La verdadera utilidad del oxígeno para las levaduras se produce durante la fase de multiplicación, y nunca cuando la fermentación está avanzada, pues permite reforzar la resistencia de las membranas celulares a la acción impermeabilizante del etanol y de los ácidos grasos de cadena corta (Hidalgo, 2018).

#### **2.9.5 Concentración de azúcares (glucosa y sacarosa) en el mosto**

El crecimiento y actividad metabólica de muchos microorganismos se ven afectados por fuertes concentraciones de sustrato. La concentración inicial de glucosa puede ejercer un efecto bien marcado sobre el metabolismo celular y convertirse en un fuerte inhibidor a altas concentraciones, ya que esta puede estar relacionada con la sobreproducción de metabolitos como es el caso del etanol y ácido acético y los cuales inducen a un efecto negativo a ciertas concentraciones (Aguilar et al, 2000).

#### **2.10 Destilación a vacío**

La destilación consiste en la evaporación de un líquido con la consiguiente condensación y recolección de vapores. El propósito de esta técnica es la separación de una mezcla de líquido cuyos puntos de ebullición son diferentes (Osorio, 2009)

Es una forma de destilación, sencilla o fraccionada, que se efectúa a presión reducida. Muchas sustancias no pueden purificarse por destilación a presión atmosférica, porque se descomponen antes de alcanzar sus puntos de ebullición normales. Otras sustancias tienen, puntos de ebullición altos que su destilación es difícil o no resulta conveniente. En estos casos se emplea la destilación a presión reducida (Molina et al, 1991).

La destilación a presión reducida se utiliza para separar compuestos que, al ser destilados a su temperatura de ebullición, se re-arreglan, descomponen u oxidan. Por ello el sistema está conectado a una bomba de vacío para que, al disminuir la presión, disminuya también la presión de la fase vapor y, por tanto, la temperatura de ebullición (Doria et al, 2009).

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA**  
**EXPERIMENTAL**

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

La parte experimental del presente trabajo de investigación, “elaboración de aguardiente de maíz variedad morocho amarillo” se realizó en las instalaciones del Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **3.2 Tipo de intervención experimental**

El presente trabajo de investigación cuenta con una metodología para la Elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”, utilizando una metodología experimental de laboratorio con el fin de desarrollar un producto en base de los siguientes métodos:

- Análisis fisicoquímico y microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”.
- Análisis organoléptico de pruebas preliminares de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.
- Diseño factorial  $2^2$  en el proceso de fermentación alcohólica del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.
- Análisis fisicoquímico del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.
- Visión horizontal de la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.
- Operacionalización de las variables dependiente e independiente de la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.

### **3.3 Tipo de investigación**

El tipo de investigación para el presente trabajo de investigación se detalla a continuación:

### **3.3.1 Investigación experimental**

Este tipo de investigación, se refiere a una investigación prospectiva. Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosas controladas, con el fin de descubrir de qué modo o por que causa se produce una situación o acontecimiento particular. El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él para controlar el aumento o la disminución de esas variables y sus efectos. En el experimento, el investigador maneja de manera deliberada la variable experimental y luego observa lo que ocurre en condiciones controladas (Rodríguez, 2005).

La base de la investigación experimental son los experimentos, que pueden describirse como la suma de dos componentes: un fenómeno o sistema más o menos controlado por el científico, y un medio de observación e interacción, mediante el cual se registran una serie de observaciones y que, a su vez, permite modificar y controlar las variables del sistema (Serrano, 2003).

### **3.4 Paradigma positivista**

Desde el punto de vista positivista la realidad se presenta como simple, tangible, convergente, y fragmentable. Esta concepción da legitimidad de estudiar la realidad en sus manifestaciones externas, con la posibilidad de observar y medir sus elementos (Quesada, 2007. Pag 35).

El paradigma positivista es aquella actitud o modo de pensar que se atiene a lo positivo o cualidad que poseen únicamente aquellos hechos que pueden captarse directamente por los sentidos y someterse a verificación empírica, conocido también como racionalista, normativo, cuantitativo, realista, método científico, hipotético deductivo, etc. (Gómez, 2006).

### **3.5 Enfoque cuantitativo**

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo, y el uso de la estadística para intentar establecer con exactitud patrones en una población. Elige una idea que transforma en una o varias preguntas de investigación relevantes luego de esta deriva hipótesis y define variables; desarrolla un plan para probar hipótesis; mide las variables en un determinado contexto; analiza las mediciones obtenidas una serie de conclusiones de la hipótesis. Sus resultados son informes estadísticos (Gómez, 2006).

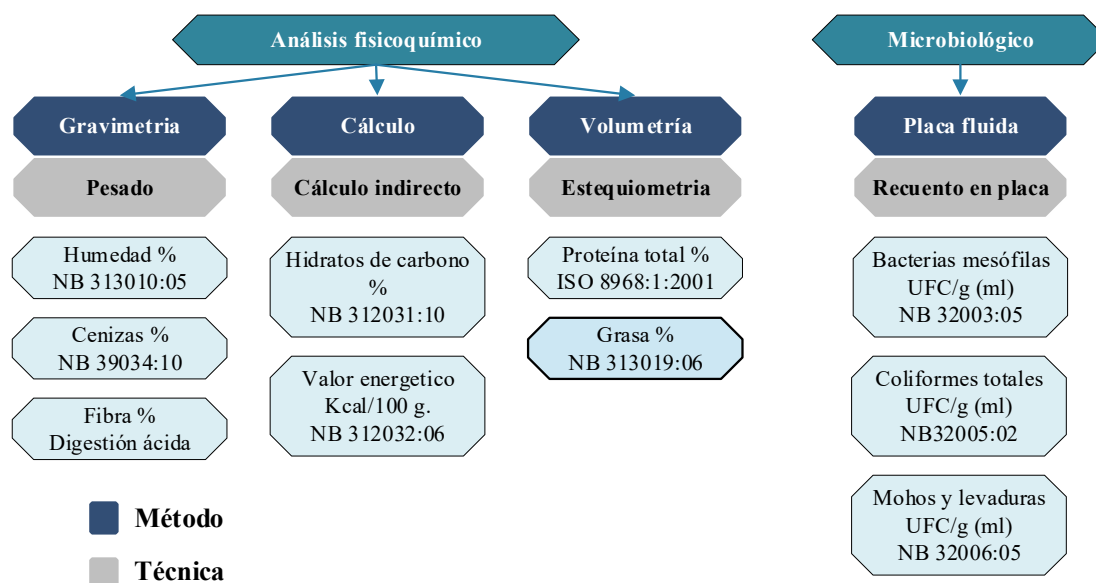
### **3.6 Métodos técnicas e instrumentos de investigación**

La metodología de las ciencias comprende un conjunto de métodos e instrumentos que permiten cumplir, en la medida de lo posible, con los objetivos de la investigación. Este propósito se cumple por medio de un conjunto de reglas y directrices, que relacionan a estos objetivos con los diferentes métodos, técnicas e instrumentos disponibles para la obtención de datos, con el contexto en el que se desarrolla la investigación, y con los tipos de análisis por realizar (Doorman, 1991). Por lo tanto, a continuación, se detallan los métodos y técnicas utilizados en el presente trabajo de investigación:

#### **3.6.1 Análisis fisicoquímico y microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

En la figura 3.1, se muestran los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del muku de maíz variedad “morocho amarillo” que fueron 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”.



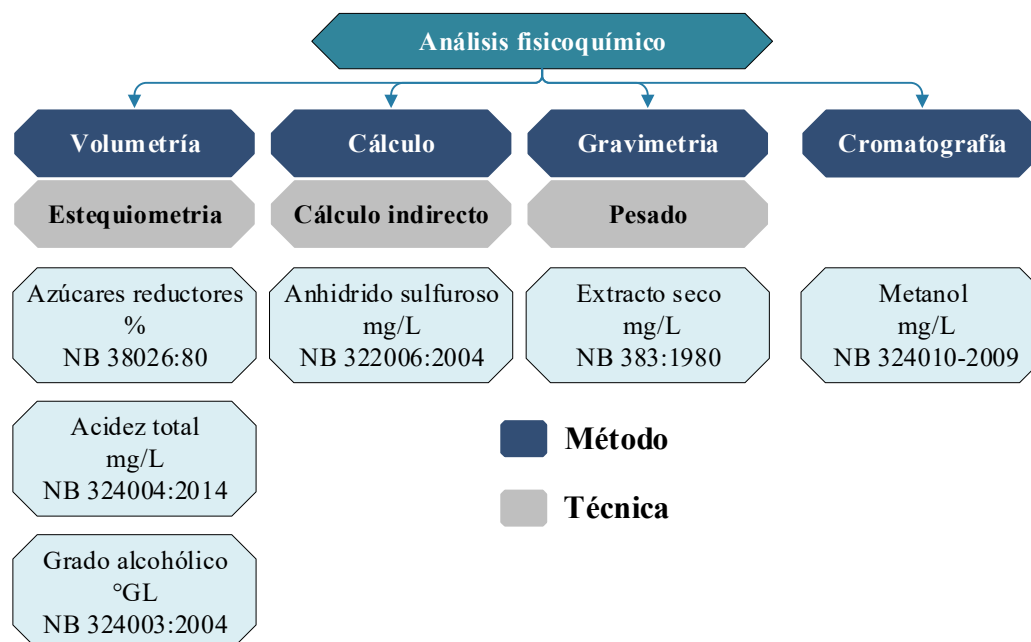


Fuente: CEANID, 2023

**Figura 3.1:** Análisis fisicoquímico y microbiológico del muku de maíz variedad morocho amarillo.

### 3.6.2 Análisis fisicoquímico del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

En la figura 3.2, se muestran los análisis fisicoquímicos del aguardiente a base muku de maíz variedad “morocho amarillo” que fueron 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, 2023

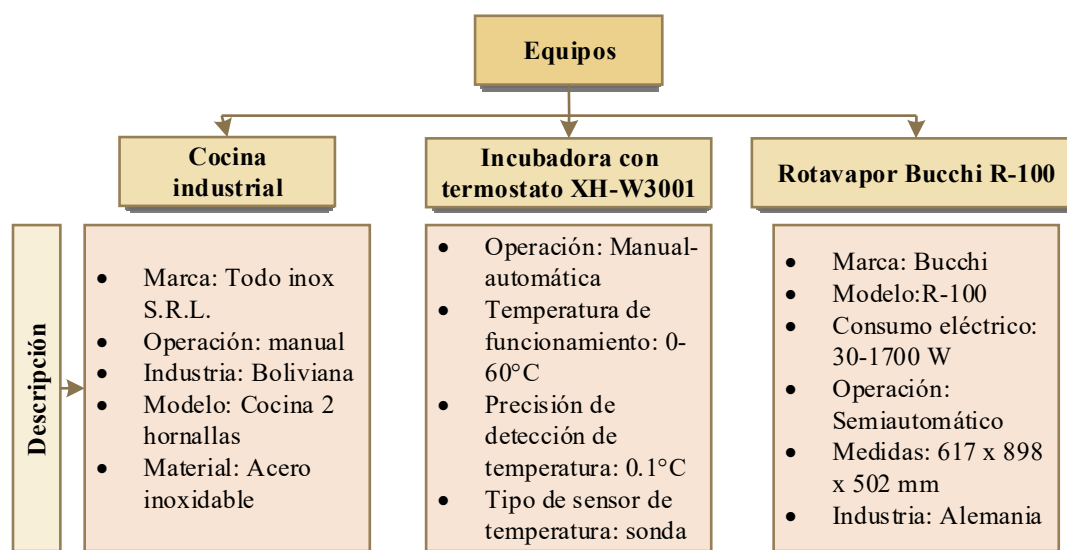
**Figura 3.2:** Análisis fisicoquímicos del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

### 3.7 Equipos de proceso, instrumentos, material de laboratorio y utensilios de cocina

Para la realización de la parte experimental, se utilizaron equipos, materiales de laboratorio, utensilios de cocina y los cuales son descritos a continuación:

#### 3.7.1 Equipos de proceso

Los equipos que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, se describen en la figura 3.3.

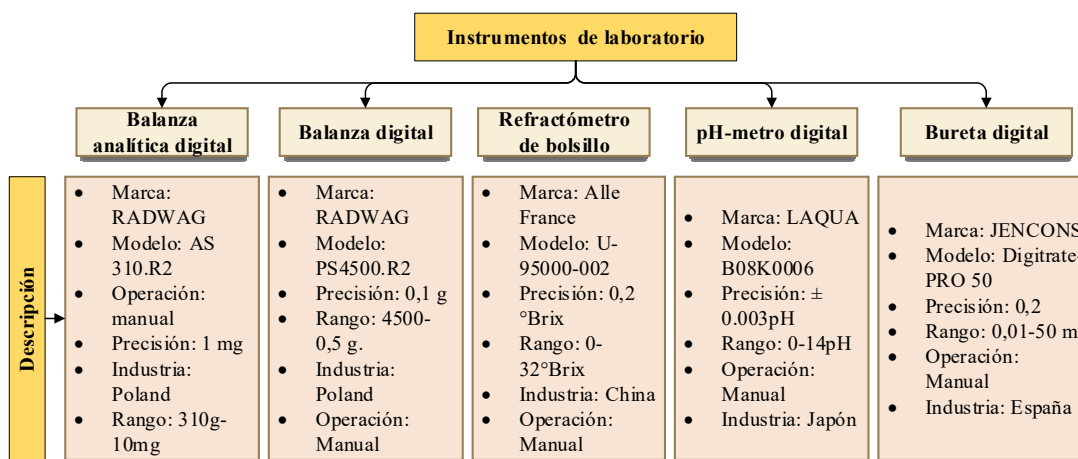


Fuente: L.A.C.I.A, 2023

**Figura 3.3:** Equipos en el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

### 3.7.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos que se utilizaron en el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”, se detallan en la figura 3.4.



Fuente: L.A.C.I.A, 2023

**Figura 3.4:** Instrumentos de laboratorio en el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

### 3.7.3 Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se emplearon en el presente trabajo de investigación, que se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.) se detallan en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1**

***Materiales de laboratorio utilizados en la elaboración de aguardiente***

<b>Materiales de laboratorio</b>	<b>Descripción</b>
Probetas	Material de vidrio y una capacidad de 100 ml.
Termómetro	Material de vidrio graduada desde -10 hasta +100°C.
Vasos de precipitados	Material de vidrio y capacidad de 40 y 50 ml.
Alcoholímetro	Material de vidrio, capacidad de 0-100 °GL y calibrado a 20 °C.
Vidrio reloj	Material de vidrio y tamaño mediano.
Varilla	Material de vidrio.
Piseta	Material de plástico.
Matraces Erlenmeyer	Material de vidrio y una capacidad de 50 ml.

**Fuente:** L.A.C.I.A, 2023

### 3.7.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que se emplearon en el presente trabajo de investigación, que se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.) y se detallan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2

*Utensilios de cocina utilizados en la elaboración de aguardiente*

Utensilios de cocina	Descripción
Olla	Material acero inoxidable, capacidad 5 litros.
Jarra	Material de plástico y capacidad mediano.
Cucharas	Material metálico y pequeño.
Repasador	Material algodón.
Recipiente de plástico	De capacidad 4 litros con rosca.
Tela	Material lienzo, mediano usado como colador.
Baldes	Capacidad de 5 litros, material plástico.

Fuente: L.A.C.I.A, 2023

**3.7.5 Reactivos químicos**

Los reactivos químicos utilizados para la determinación de la acidez es hidróxido de sodio 0,1 N (líquido) y azul de bromotimol 0,1 % de la marca Biopack (Anexo F)

**3.7.6 Insumos alimenticios**

Los insumos alimenticios que se utilizaron en la elaboración de aguardiente se detallan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

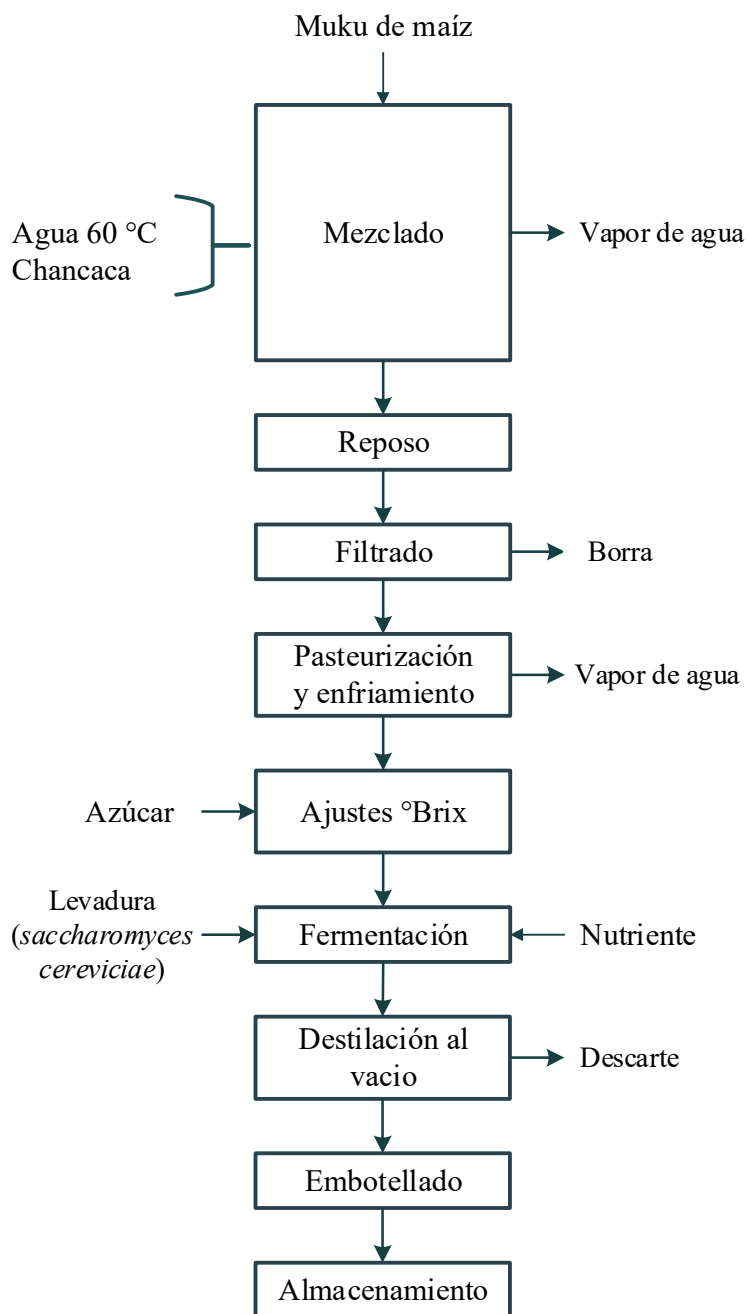
*Insumos alimenticios utilizados en la elaboración de aguardiente*

Insumos alimenticios	Descripción
Azúcar	Azúcar blanca o refinada, procedencia Bermejo.
Chancaca	Procedencia Culpina- Chuquisaca
Nutriente	Marca Lamothe-Abiet, procedencia Francia (Anexo F)
Levadura ( <i>saccharomyces cerevisiae</i> )	Marca Lamothe-Abiet, procedencia Francia (Anexo F)

Fuente: Elaboración propia

**3.8 Diagrama del proceso de elaboración del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

En la figura 3.5, se muestra el diagrama del proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.5:** Diagrama del proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

### 3.8.1 Descripción del proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

Los pasos a seguir en la elaboración de aguardiente se detallan a continuación:

### **3.8.1.1 Mezclado**

Se realiza incorporando en un balde de plástico de una capacidad de 5 litros el muku de maíz (18,41 %); chancaca (2,15 %) y agua (75,23 %) a 60 °C y el mezclado se realiza durante 15 minutos, agitando con una cuchara.

### **3.8.1.2 Reposo**

Se dejó reposar al ambiente, en el mismo balde donde se realizó la mezcla durante 3 horas tiempo en el cual las partículas más pesadas (borra) se precipitan.

### **3.8.1.3 Filtrado**

Transcurrido el tiempo de reposo se realizó el filtrado, separando la borra con ayuda de una tela de lienzo, obteniendo el mosto de maíz.

### **3.8.1.4 Pasteurización y enfriamiento**

El mosto de maíz se pasteurizó en un recipiente (olla) de acero inoxidable a temperatura de ebullición durante 15 minutos. Una vez pasteurizado el mosto se procedió a enfriar al ambiente hasta una temperatura de 20 °C con la ayuda de un termómetro de alcohol, para poder realizar la lectura de los °Brix mediante un refractómetro de bolsillo.

### **3.8.1.5 Ajuste °Brix del mosto**

Se obtuvo 8 °Brix en el mosto posteriormente se realizó un balance parcial de componentes de sólidos solubles y se calculó la cantidad de azúcar blanco a ser añadido para ajustar a 22 °Brix acondicionando el mosto para la inoculación de la levadura, con la finalidad de producir la fermentación alcohólica.

### **3.8.1.6 Fermentación**

Una vez ajustado los °Brix del mosto, se procedió a la inoculación de la levadura vinífica *Saccharomyces cerevisiae* (microorganismo capaz de metabolizar la glucosa), donde primeramente se dejó activar con 4 ml de agua a una temperatura de 28°C durante 5 min aproximadamente.

La fermentación del mosto se llevó a cabo en un recipiente de plástico de una capacidad de 4 litros sellado herméticamente con una inclusión en la tapa de una trampa de aire la cual permite la salida del dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, el envase es llevado a una incubadora elaborada con un recubrimiento de plastofomo y nylon provista de un foco de 150 W y un termostato que monitorea la temperatura actual. La fermentación alcohólica duró entre 5 a 6 días, a una temperatura constante de 27°C (Sánchez, 2021) y realizando la medida rutinaria de los °Brix, pH y acidez del metabolismo fermentativo.

#### **3.8.1.7 Destilación a vacío**

La destilación se llevó a cabo en el equipo rotavapor Bucchi R-100, por un tiempo total de 20 minutos con una presión de 110 Torr, la temperatura refrigerante de 12,2 °C y la temperatura del baño maría de 68 °C. Se introdujo 250 ml de vino base de maíz fermentado en el balón y se procedió con la destilación. Obteniendo: cabeza (57 °GL), corazón (43,2 °GL) y cola (26° GL). Datos obtenidos con un alcoholímetro de escala 0-100 °GL.

#### **3.8.1.8 Embotellado**

Se realizó el embotellado del aguardiente en botellas de vidrio las cuales fueron desinfectadas previamente con alcohol etílico al 70 %, y posterior tapado con corcho tipo tapón.

#### **3.8.1.9 Almacenamiento**

El aguardiente de maíz se almacenó en un lugar fresco y protegido de la luz, alejado de olores extraños.

### **3.9 Análisis sensorial**

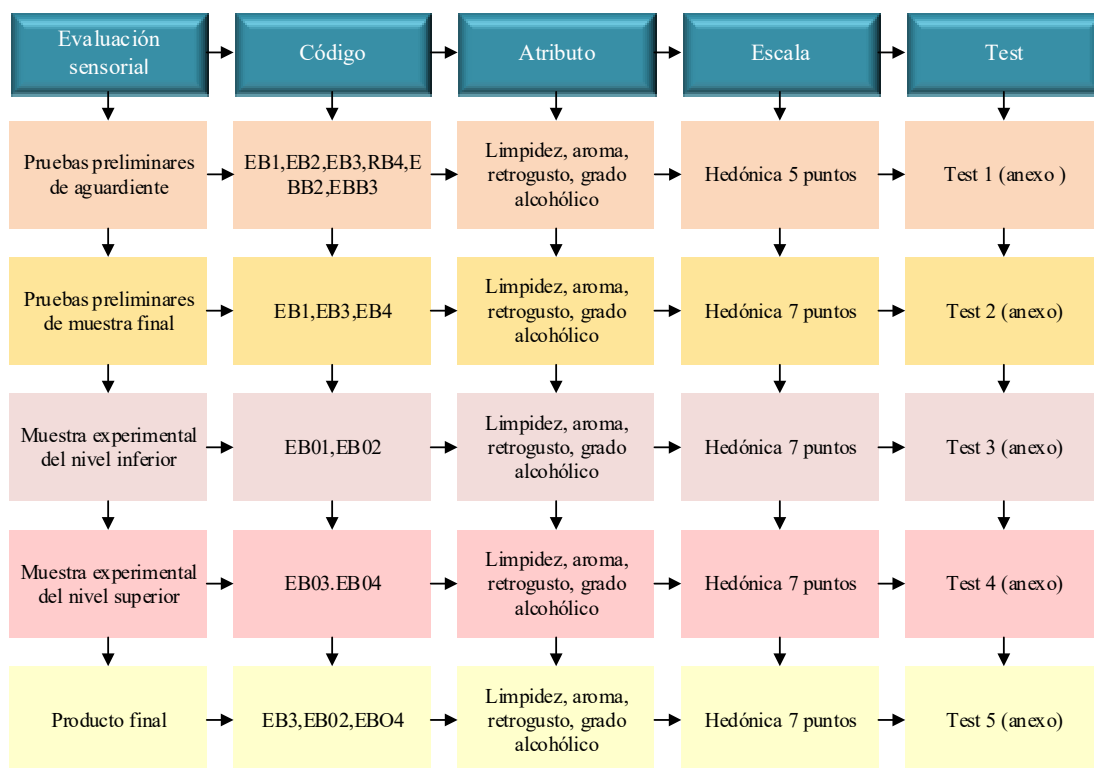
El análisis sensorial es una herramienta más del control de calidad total de la empresa. Así, se puede considerar que se dirigirá a la evaluación, análisis y control tanto del proceso de fabricación, como del producto. La cata o degustación comprende las siguientes funciones: estudiar, analizar, describir, juzgar y clasificar,



pudiéndose puntualizar que la degustación es un caso particular del análisis sensorial en el que se trabaja sobre modelos establecidos (Sancho et al, 1999).

El análisis sensorial es una disciplina científica mediante la cual se evalúan las propiedades organolépticas a través del uso los sentidos, la vista, olfato, gusto, tacto y oído. Mediante esta evaluación pueden clasificarse las materias primas y productos terminados, conocer que opina el consumidor sobre un determinado alimento, su aceptación o rechazo, así como su nivel de agrado y criterio (Espinosa, 2020).

En la figura 3.6, se detallan las evaluaciones sensoriales que se realizaron en el presente trabajo, caracterizadas por las propiedades organolépticas durante la elaboración del aguardiente de maíz.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.6:** Evaluaciones sensoriales del aguardiente a base de muku de maíz

### **3.10 Diseño experimental**

El diseño experimental describe las fases de identificación de factores que afectan a los resultados de un experimento. Se entiende que nos referimos a factores conocidos y controlables, minimizar el efecto de factores desconocidos o incontrolados y el análisis estadístico para separar los efectos de cada factor y describir el de otros no conocidos, obteniendo así la máxima cantidad de información (Serrano, 2003).

Es diseño experimental puede definirse como un plan estructurado de acción tendente a la demostración de relaciones de carácter causal. De ahí que el propósito del diseño de experimentos sea la inferencia de un efecto de causalidad entre la variable dependiente y la variable independiente (Arnaus, 1990).

#### **3.10.1 Diseño factorial $2^k$**

Los diseños factoriales obedecen a hipótesis complejas. Es decir, hipótesis que parten del supuesto en base al cual, el efecto de una variable independiente pueda quedar alterada por los valores que toma otra o más variables independientes. Se trata por tanto de probar los posibles efectos combinados entre los factores (Arnaus, 1990).

La utilidad de los factores  $2^k$  se basa a que son experimentos preliminares con el fin de identificar los factores que inciden en significativa sobre la problemática a solucionar, lo que posteriormente sirva como especie de cribado, para que a partir de los factores seleccionados, empezar investigaciones subsiguientes de mayor profundidad que contengan un mayor número de niveles y que hagan posible incrementar la exactitud de la región experimental respecto de las respuestas óptimas (Gavilánez, 2021).

#### **3.10.2 Diseño factorial $2^2$ en la etapa de fermentación alcohólica**

Para realizar el diseño experimental en la etapa de fermentación alcohólica se aplicó el diseño factorial  $2^2$  con dos variables independientes sobre una variable dependiente cada una. Cada variable independiente recibe el nombre de factor. Detalladas en la ecuación 3.1.

$2^k$  (Gavilánez, 2021)

(Ecuación 3.1)

Dónde:

2 = número de niveles o tratamientos

k = número de variables

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ corridas / réplicas}$$

En la tabla 3.4, se detallan los factores y los niveles de variación de cada factor que se aplicaron en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” constituido por dos variables: porcentaje de muku de maíz y porcentaje de levadura.

**Tabla 3.4**

*Niveles de variación de las variables en el proceso de fermentación alcohólica*

Factores	Unidad	Símbolo	Nivel inferior	Nivel superior
Muku de maíz	%	A	14,68	15,41
Levadura	%	B	0,017	0,025

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.5, se muestra la matriz del diseño experimental aplicada en el proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.

**Tabla 3.5**

*Matriz de variables para el proceso de fermentación alcohólica*

Combinación de tratamientos	Variables		Interacciones	Variable respuesta
	A	B	AB	Y <sub>i</sub>
(1)	-	-	+	Y <sub>1</sub>
a	+	-	-	Y <sub>2</sub>
b	-	+	-	Y <sub>3</sub>
ab	+	+	+	Y <sub>4</sub>

**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

A= Muku de maíz (%)

B = Levadura (%)

$Y_i$  = Grado alcohólico del destilado                      °GL

### 3.11 Operacionalización de variables para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

Para la elaboración de aguardiente la operacionalización de variables se especifica a continuación, en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6**

*Operacionalización de variables para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”*

Hipótesis	Variables		Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
<b>La metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica aplicado en la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” permitirá obtener una bebida alcohólica para el consumo de la población de la provincia Cercado.</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Fermentación alcohólica</b>	“Las levaduras del género <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> transforman parte de los hidratos de carbono de la harina de cereales en alcohol. El proceso de fermentación alcohólica incrementa el valor nutricional digestible de los cereales, aportando además sabores y olores característicos (Ronda, 2020).	Control de acidez	% (ácido acético)
				Control de pH	
				Control de sólidos solubles	°Brix
				Control de temperatura	°C
				Tiempo de fermentación	Días
	<b>Variable dependiente</b>	<b>Aguardiente de maíz</b>	Se define un aguardiente 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 o cereales que contienen almidones transformables en azúcares fermentables (C.A.A, 2019).	Anhidrido sulfuroso	mg/l
				Azúcares reductores	g/l
				Extracto seco	g/l
				Metanol	mg/l
				Grado alcohólico	°GL

**Fuente:** Elaboración propia

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

#### 4.1 Caracterización del muku de maíz variedad “morocho amarillo”

Para caracterizar la materia prima en el presente trabajo de investigación, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho que se detallan a continuación.

##### 4.1.1 Análisis fisicoquímico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”

En la tabla 4.1 se detallan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de la muku de maíz, datos extraídos del (Anexo B).

**Tabla 4.1**

##### *Análisis fisicoquímicos del muku de maíz*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,36
Fibra	%	2,08
Grasa	%	3,36
Hidratos de carbono	%	79,96
Humedad	%	8,23
Proteína total	%	7,09
Valor energético	Kcal/100g	378,44

**Fuente:** CEANID, 2023

En la tabla 4.1, se observan los resultados del análisis fisicoquímico del muku de maíz, que contiene: ceniza 1,36%; fibra 2,08%; grasa 3,36%; hidratos de carbono 79,96%; humedad 8,23%; proteína total 7,09% y valor energético 378,44 Kcal/100g.

##### 4.1.2 Análisis microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”

En la tabla 4.2 se detallan los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos del muku de maíz variedad “morocho amarillo” de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.2

*Análisis microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”*

Macroorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$2,0 \times 10^5$
Coliformes totales	UFC/g	$2,1 \times 10^2$
Mohos y levaduras	UFC/g	$6,0 \times 10^2$

**Fuente:** CEANID, 2023

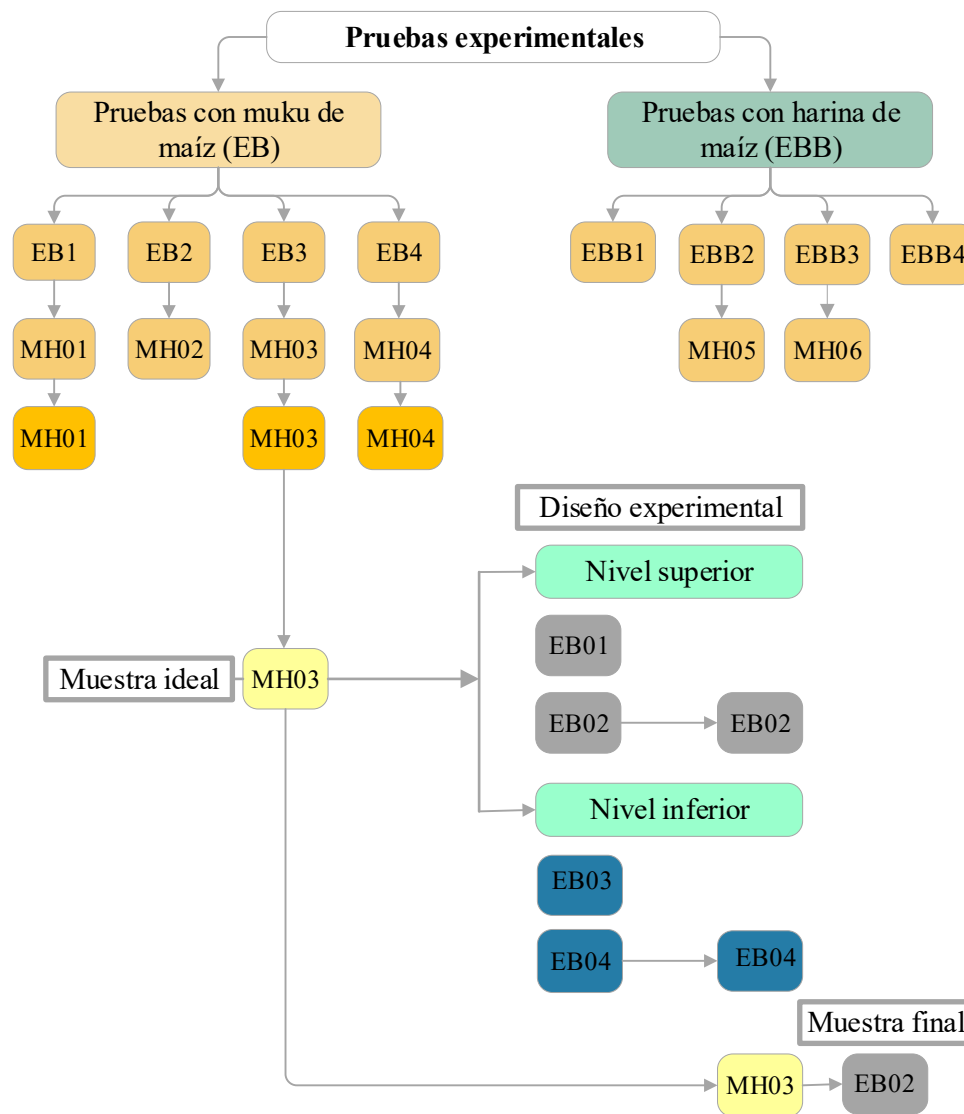
En la tabla 4.2, se observan los resultados del análisis microbiológico del muku de maíz variedad “morocho amarillo”, contiene: bacterias mesófilas  $2,0 \times 10^5$  UFC/g; coliformes totales  $2,1 \times 10^2$  UFC/g; mohos y levaduras  $6,0 \times 10^2$  UFC/g.

#### **4.2 Caracterización de las variables del proceso para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”, se tomaron en cuenta las siguientes pruebas experimentales.

##### **4.2.1 Pruebas experimentales para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz**

En el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación, se realizaron dos pruebas (prueba EB y prueba EBB) con cuatro muestras diferentes cada prueba, utilizando muku de maíz (EB) y harina de maíz (EBB) en distintas formulaciones porcentuales para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz. Por consiguiente, de las ocho pruebas EB1, EB2, EB3 y EB4 de la prueba EB y EBB1, EBB2, EBB3 y EBB4 de la prueba EBB se tomaron en cuenta las muestras EB1, EB2, EB3, EB4, EBB2 y EBB4 tomadas en cuenta como pruebas preliminares y evaluadas obteniéndose tres muestras EB1, EB2 y EB4 con la finalidad de obtener la muestra ideal EB3. De las tres muestras evaluadas: EB3 (muestra ideal), EB02 (nivel superior) y EB04 (nivel inferior) se obtuvo la muestra final para la elaboración de aguardiente de muku de maíz, como se detalla en la figura 4.1.



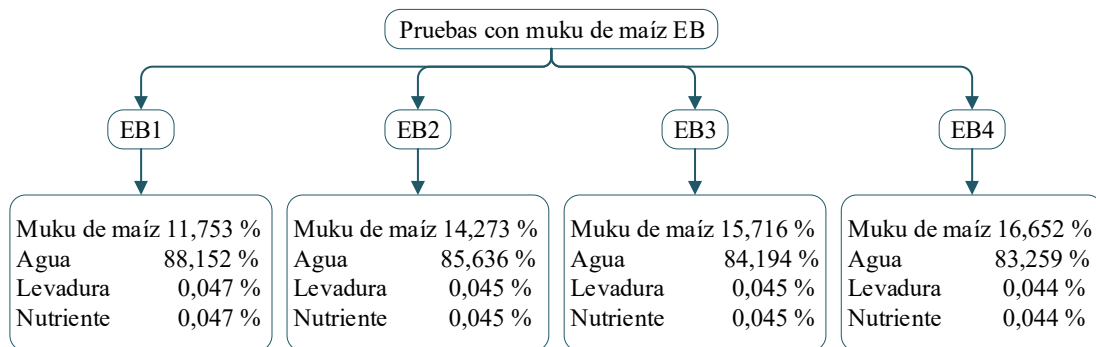
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1** Pruebas experimentales para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

#### 4.2.1.1 Pruebas experimentales variando la formulación con muku de maíz para la elaboración de aguardiente

En la figura 4.2, se detallan las formulaciones de cuatro muestras diferentes con muku de maíz (11,753-16,652 %) y agua (83,259-88,152 %) fueron obtenidas en base a la formulación de chicha de maíz (Barrios,2022). La formulación de levadura 30 g / hl. (0,044-0,047 %) y nutriente 30 g /hl. (0,044-0,047 %) (Ortega, 2020), los cuales fueron ajustados para el volumen de mosto de maíz obtenido.

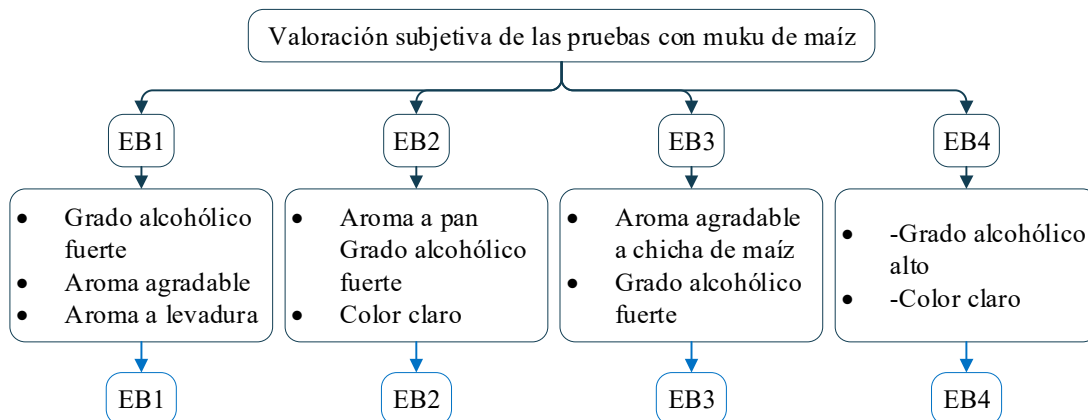




**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.2** Pruebas de aguardiente con muku de maíz

En base a la figura 4.2, las cuatro pruebas con muku de maíz fueron valoradas subjetivamente por jueces no entrenados de la Carrera de Ingeniería de Alimentos y dicha valoración se detalla en la figura 4.3.



**Fuente:** Elaboración propia

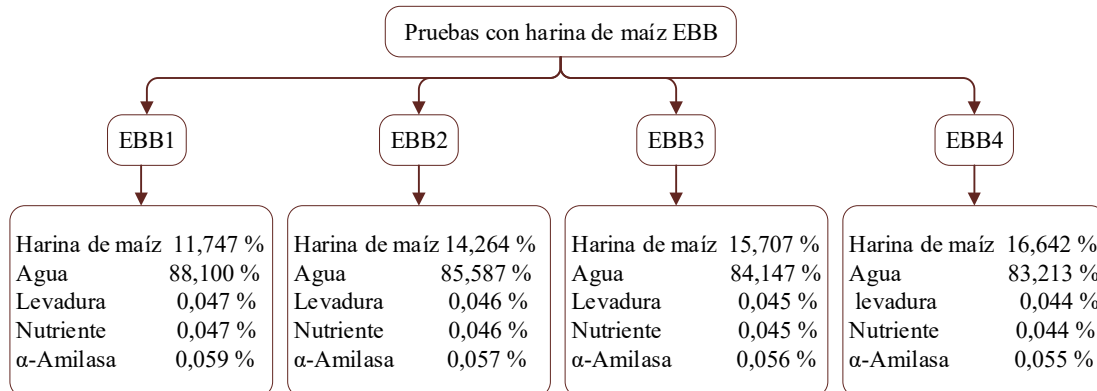
**Figura 4.3** Valoración subjetiva de las pruebas con muku de maíz

Según la figura 4.3, las cuatro muestras EB1, EB2, EB3 y EB4 fueron de preferencia para los quince jueces evaluadores de manera que estas presentaban el grado alcohólico fuerte, un aroma reconocido a chicha de maíz, color claro y cristalino.

#### 4.2.1.2 Pruebas experimentales variando la formulación con harina de maíz para la elaboración de aguardiente

En la figura 4.4, se detallan las formulaciones de cuatro muestras diferentes con harina de maíz, para la elaboración de aguardiente. La formulación de harina de maíz (11,74716,642 %) y el agua (83,213-88,100 %) fueron obtenidas a base de la

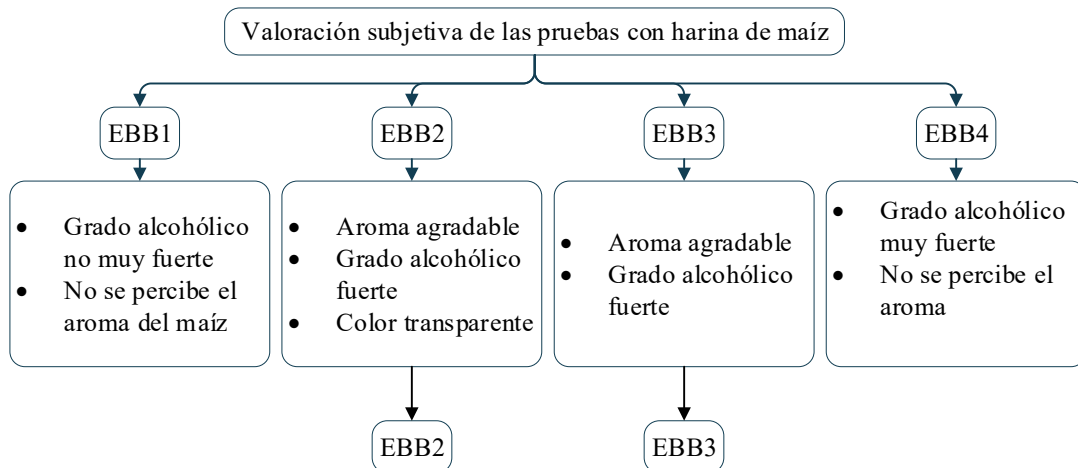
formulación de chicha de maíz (Barrios,2022). La formulación de levadura 30 g / hl. (0,044, 0,047%); nutriente 30 g / hl. (0,0440,047 %) (Ortega, 2020) y enzima alfa amilasa 6 g / hl. (0,055- 0,059 %) (Espitia, 2009), los cuales fueron ajustados para el volumen de mosto de maíz obtenido.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4** Pruebas de aguardiente con harina de maíz

En base a la figura 4.4, las cuatro pruebas con harina de maíz fueron valoradas subjetivamente por jueces no entrenados de la Carrera de Ingeniería de Alimentos y dicha valoración se detalla en la figura 4.5.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.5** Valoración subjetiva de las pruebas con harina de maíz

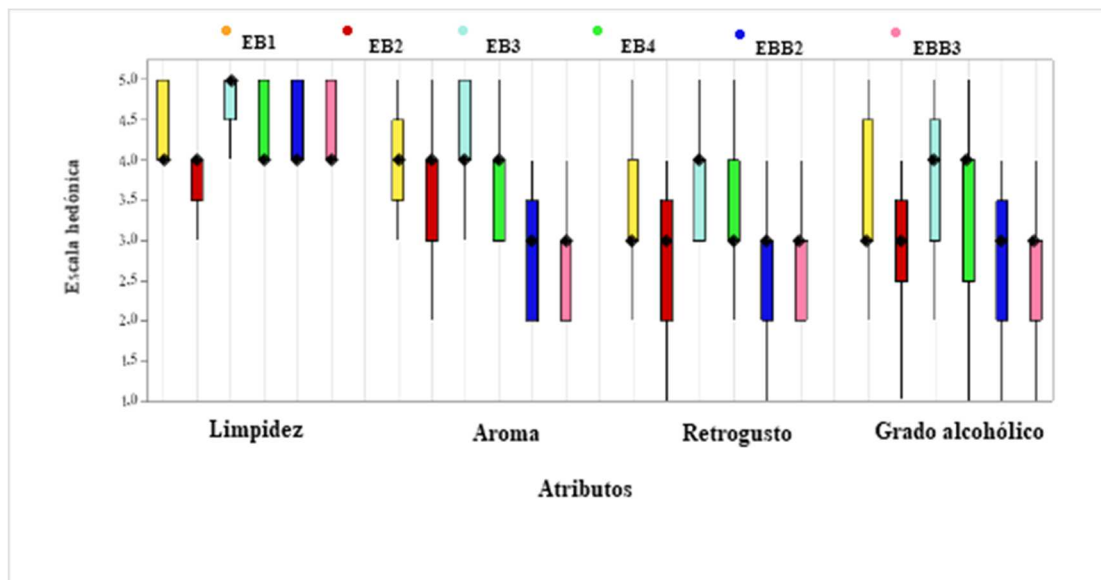
Según la figura 4.5, las muestras seleccionadas fueron la EBB2 y EBB3 ambas con un grado alcohólico fuerte, aroma agradable a chicha de maíz, y un color transparente agradable a la vista.

#### 4.2.1.3 Selección de pruebas experimentales de aguardiente a base de muku de maíz

Las pruebas EB1, EB2, EB3, EB4, EBB2 y EBB3 seleccionadas subjetivamente por los jueces no entrenados, se elaboran nuevamente por consiguiente se realiza una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos para los atributos: limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico.

##### 4.2.1.3.1 Estadístico caja y bigote para las pruebas experimentales de aguardiente

En la figura 4.6, se muestra el estadístico de caja y bigote para las pruebas experimentales de aguardiente extraídos del (Anexo C), para los atributos limpidez (tabla C.1), aroma (tabla C.4), retrogusto (tabla C.6), grado alcohólico (tabla C.10).



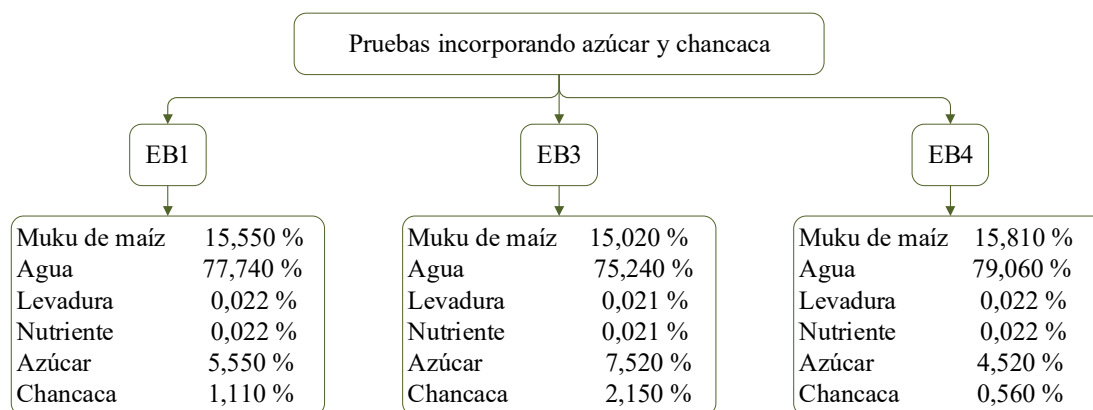
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6** Análisis caja y bigote para las pruebas experimentales de aguardiente

Según el análisis de la figura 4.10, se pueden observar los resultados de las medianas en función de los atributos que se evaluaron, donde: limpieza 5 (EB3); aroma 4 (EB1, EB2, EB03, EB04); retrogusto 4 (EB3); grado alcohólico 4 (EB3 y EB4). De manera que realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas. Como ser, las muestras que resaltaron según los jueces fueron EB1, EB3 y EB4 las cuales presentaron aromas agradables y grados alcohólicos fuertes, además, de ser muestras elaboradas con muku de maíz; mientras que las muestra EB2, EBB2 y EBB3 presentaron grados alcohólicos bajos y aromas no perceptibles.

#### 4.2.2 Prueba experimentales incorporando azúcar y chancaca en la elaboración de aguardiente

En base a las seis muestras evaluadas (figura 4.6), se obtuvieron las muestras EB1, EB3 y EB4 estas muestras se reformularon incorporando azúcar y chancaca para mejorar el grado alcohólico el cual debe ser alto para las pruebas experimentales del aguardiente como se muestra en la figura 4.7.



**Fuente:** Elaboración propia

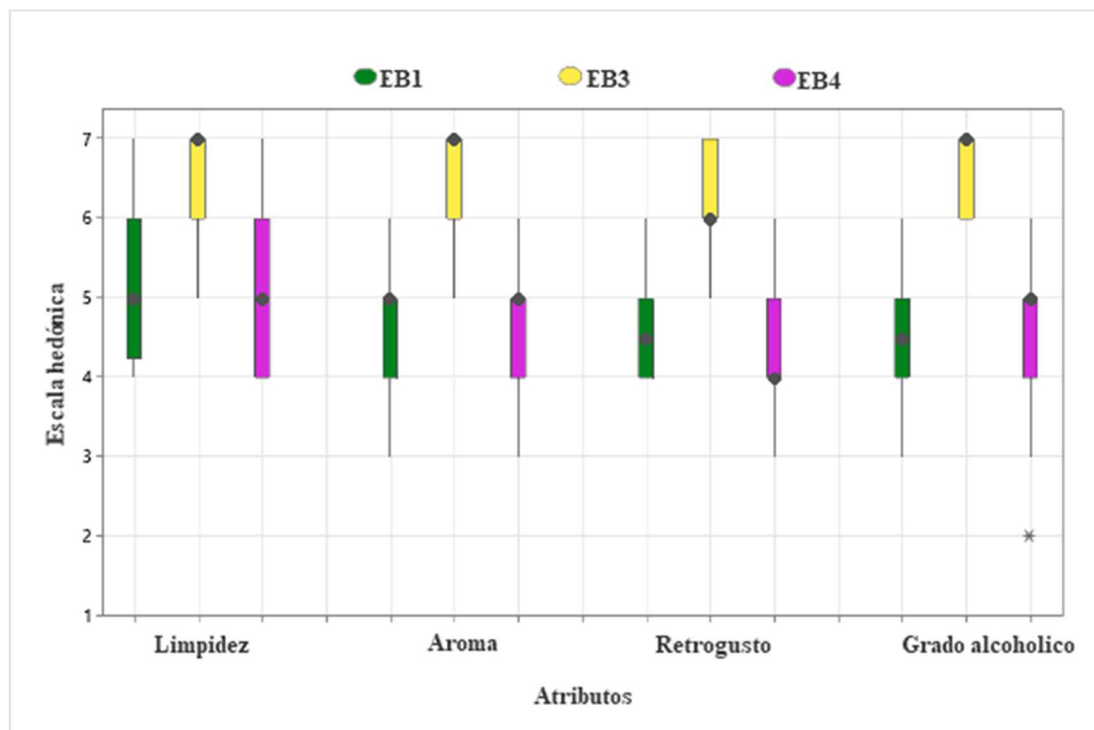
**Figura 4.7** Pruebas incorporando azúcar y chancaca en la elaboración de aguardiente

De acuerdo con la figura 4.7, se realizó la evaluación sensorial con escala hedónica de siete puntos para los atributos: limpieza, aroma, retrogusto y grado alcohólico. Evaluadas por jueces no entrenados en el Laboratorio Académico de la Carrera de

Ingeniería de Alimentos perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

#### 4.2.2.1 Estadístico caja y bigote para pruebas preliminares incorporando azúcar y chancaca

En la figura 4.8, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del (Anexo C), para los atributos limpidez (C.13), aroma (C.16), retrogusto (C.19) y grado alcohólico (C.22).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8** Caja y bigote para las pruebas experimentales incorporando azúcar y chancaca

Según el análisis de la figura 4.8, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos que se evaluaron, donde: limpidez 7 (EB3); aroma 7 (EB3); retrogusto 6 (EB3) y grado alcohólico 7 (EB3). De igual forma al realizar el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existen diferencias significativas entre los atributos de las muestras que se evaluaron.

#### 4.2.2.2 Estadístico Tukey para el atributo limpidez de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca

En la tabla 4.3, se muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo limpidez de datos extraídos del Anexo C (tabla C.15).

**Tabla 4.3**

*Prueba de Tukey de la limpidez en selección de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca*

Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Limpidez EB3	20	7	A	
Limpidez EB1	20	5		B
Limpidez EB4	20	5		B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.3, se observa que existe diferencia significativa entre las muestras EB3-EB1, EB3-EB4. Sin embargo, para los tratamientos EB1-EB4, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , se observa que los jueces no entrenados eligieron el tratamiento EB3 por su limpidez transparente sin partículas en suspensión.

#### 4.2.2.3 Estadístico Tukey para el atributo aroma de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca

En la tabla 4.4, se muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del Anexo C (tabla C.18).

**Tabla 4.4**

*Prueba de Tukey del aroma en selección de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca*

Tratamientos	N	Media	Agrupación	
Aroma EB3	20	7	A	
Aroma EB1	20	5		B
Aroma EB4	20	5		B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.4, se observa que existe diferencia significativa entre las muestras EB3-EB1, EB3-EB4. Sin embargo, para los tratamientos EB1-EB4, no existe diferencia

significativa para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , se observa que los jueces no entrenados eligieron el tratamiento EB3 por su aroma agradable.

#### 4.2.2.4 Estadístico Tukey para el atributo retrogusto de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca

En la tabla 4.5, se muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo retrogusto de datos extraídos del Anexo C (tabla C.21).

**Tabla 4.5**

*Prueba de Tukey del retrogusto en selección de muestra preliminar de aguardiente incorporando azúcar y chancaca*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Retrogusto EB3	20	6	A
Retrogusto EB1	20	4,5	B
Retrogusto EB4	20	4	B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.5, se observa que existe diferencia significativa entre las muestras EB3-EB1, EB3-EB4. Sin embargo, para los tratamientos EB1-EB4, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , se observa que los jueces no entrenados eligieron el tratamiento EB3 por su retrogusto persistente en boca.

#### 4.2.2.5 Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico de muestras preliminares de aguardiente incorporando azúcar y chancaca

En la tabla 4.6, se muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de datos extraídos del Anexo C (tabla C.24).

**Tabla 4.6**

*Prueba de Tukey del grado alcohólico en selección de muestra preliminar de aguardiente incorporando azúcar y chancaca*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Grado alcohólico EB3	20	7	A
Grado alcohólico EB4	20	5	B
Grado alcohólico EB1	20	4,5	B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.6 se observa que existe diferencia significativa entre las muestras EB3-EB1, EB3-EB4. Sin embargo, para los tratamientos EB1-EB4, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , se observa que los jueces no entrenados eligieron el tratamiento EB3 por su grado alcohólico alto.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas para los atributos sensoriales en la selección de muestra preliminar de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo” incorporando azúcar y chancaca, según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  los jueces no entrenados eligieron la muestra EB3 por su limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico agradables.

#### **4.2.2.6 Control de sólidos solubles (° Brix), pH y acidez en el proceso de fermentación alcohólica en muestras preliminares de aguardiente de maíz**

En el proceso de la fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente a base de muku variedad “morocho amarillo” se realizaron los controles rutinarios de sólidos solubles (Brix), pH y acidez en las muestras preliminares para llevar a cabo una buena fermentación alcohólica durante 5 a 6 días a una temperatura de 27 °C.

##### **4.2.2.6.1 Control de los sólidos solubles (° Brix) en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz**

En la tabla 4.7, se muestran los resultados obtenidos de la variación de los sólidos solubles (° Brix) en función del tiempo de fermentación alcohólica del mosto de maíz, utilizando la técnica de determinación de sólidos solubles detalladas en el Anexo D (D.1).



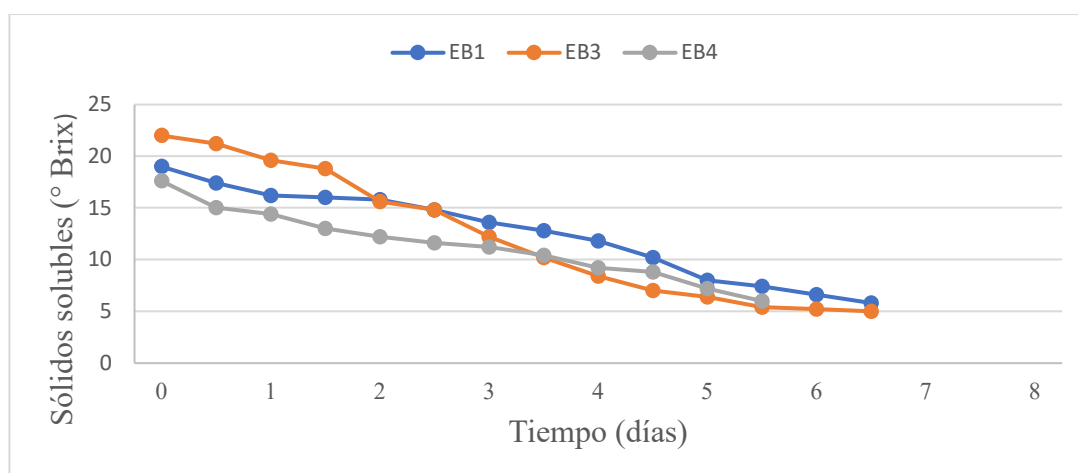
Tabla 4.7

**Control de los sólidos solubles (° Brix) en la fermentación alcohólica del mosto de maíz**

Días	Sólidos solubles (° Brix)		
	Tratamientos		
	EB1	EB3	EB4
0	19,0	22,0	17,6
	17,4	21,2	15,0
1	16,2	19,6	14,4
	16,0	18,8	13,0
2	15,8	15,6	12,2
	14,8	14,8	11,6
3	13,6	12,2	11,2
	12,8	10,2	10,4
4	11,8	8,4	9,2
	10,2	7,0	8,8
5	8,0	6,4	7,2
	7,4	5,4	6,0
6	6,6	5,2	-
	5,8	5,0	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.9 se muestra el control de sólidos solubles (° Brix) en función del tiempo en el proceso de fermentación alcohólica del mosto del maíz para la elaboración de aguardiente, en base a los datos obtenidos de la tabla 4.7.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.9** Control de los sólidos solubles (° Brix) en la fermentación alcohólica del mosto de maíz

En la figura 4.9, se muestra los datos obtenidos de los sólidos solubles ( $^{\circ}$  Brix) durante los días que transcurrió la fermentación alcohólica de las muestras preliminares incorporando azúcar y chancaca en el mosto del maíz. Las muestras preliminares presentaron un valor inicial de: EB1 ( $19,0^{\circ}$  Brix); EB3 ( $22,0^{\circ}$  Brix) y EB4 ( $17,6^{\circ}$  Brix) al transcurrir un tiempo de 5-6 días de fermentación alcohólica, los sólidos solubles ( $^{\circ}$  Brix) muestran un descenso debido a la transformación de los azúcares en alcohol por parte de las levaduras vinificas obteniéndose: EB1 ( $5,8^{\circ}$  Brix); EB3 ( $5,0^{\circ}$  Brix) y EB4 ( $6,0^{\circ}$  Brix).

#### 4.2.2.6.2 Control del pH en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz

En la tabla 4.8, se muestran los resultados obtenidos de la variación del pH en función del tiempo de fermentación alcohólica del mosto de maíz, la técnica que se utilizó se muestra en el Anexo D (D.2).

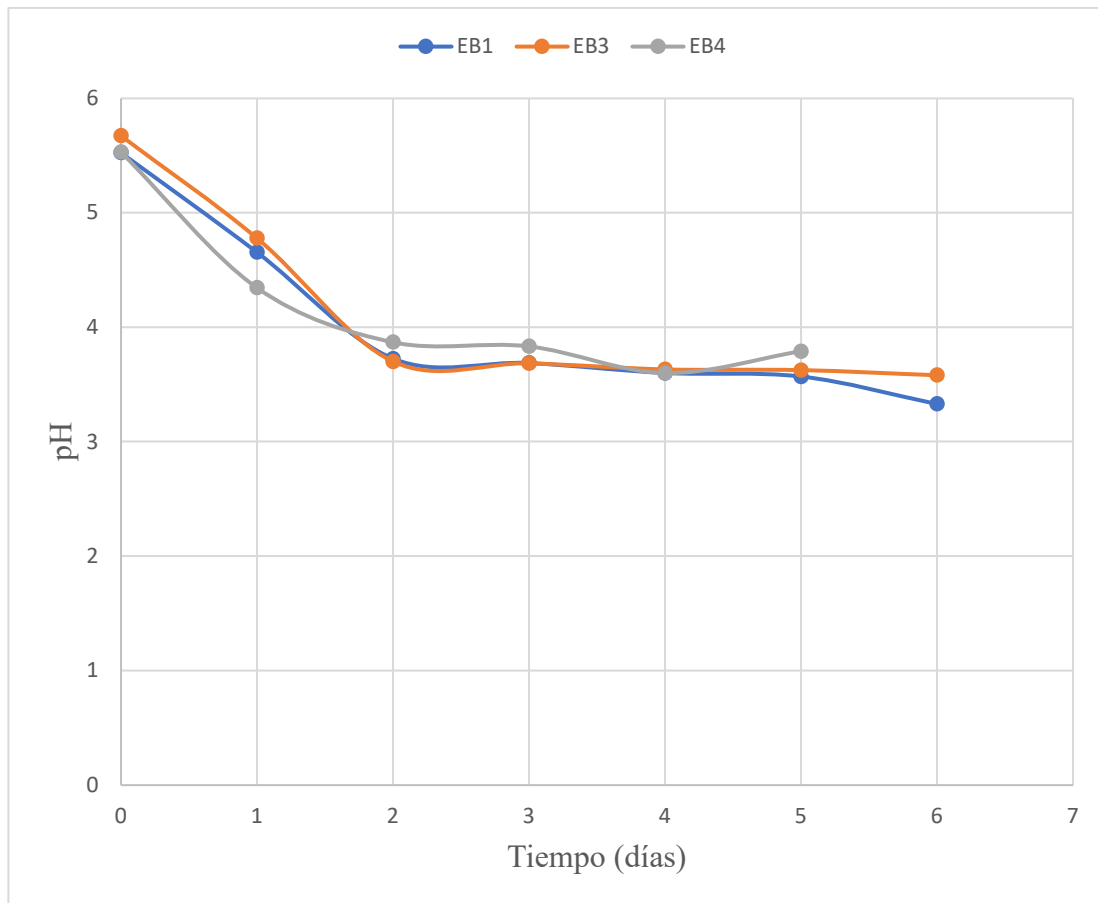
**Tabla 4.8**

#### *Control del pH en la fermentación alcohólica del mosto de maíz*

Días	pH		
	Muestras		
	EB1	EB3	EB4
0	5,524	5,672	5,530
1	4,655	4,778	4,345
2	3,726	3,700	3,870
3	3,688	3,685	3,834
4	3,600	3,632	3,600
5	3,570	3,625	3,790
6	3,330	3,582	-

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestra el control de pH en función del tiempo en el proceso de fermentación alcohólica del mosto del maíz para la elaboración de aguardiente, en base a los datos obtenidos de la tabla 4.8.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.10** Control del pH en la fermentación alcohólica del mosto de maíz

En la figura 4.10, se muestra los datos obtenidos del pH durante los días que transcurrió la fermentación alcohólica de las muestras preliminares incorporando azúcar y chancaca en el mosto del maíz. Las muestras preliminares presentaron un valor inicial de: EB1 (5,524); EB3 (5,672) y EB4 (5,530) al transcurrir un tiempo de 5-6 días de fermentación alcohólica, pH muestra un descenso obteniéndose: EB1 (3,330); EB3 (3,582) y EB4 (3,790).

#### **4.2.2.7 Control de la acidez en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz**

En la tabla 4.9, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez (ácido acético) en función del tiempo de fermentación alcohólica del mosto de maíz, la técnica que se utilizó se muestra en el Anexo D (D.3).

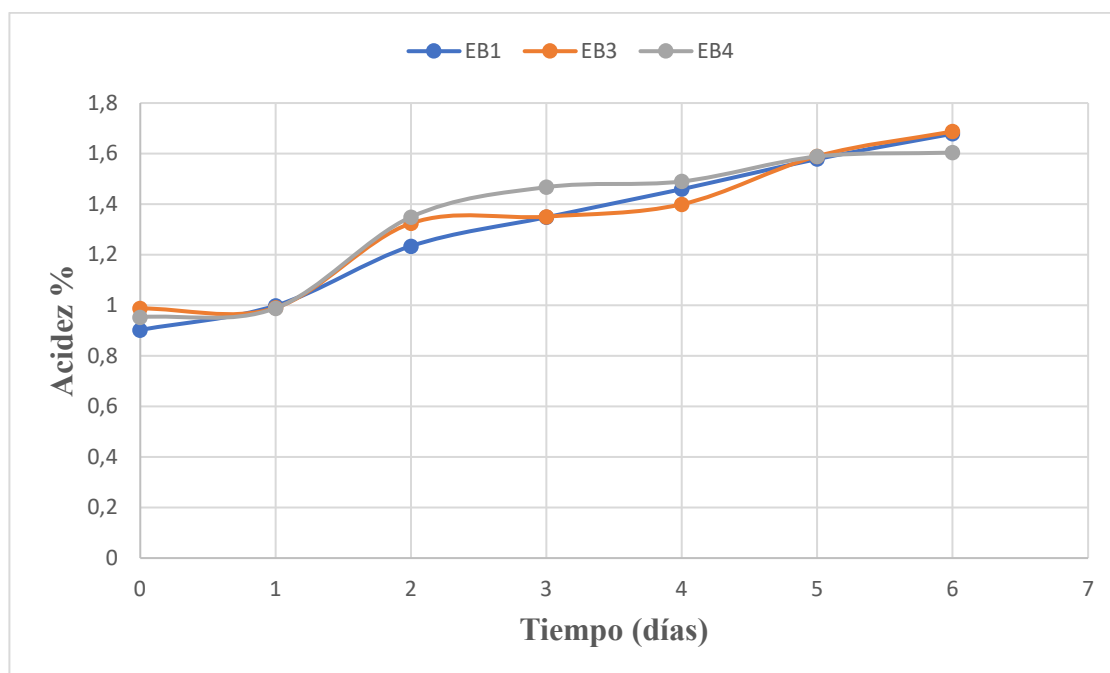
Tabla 4.9

*Control de la acidez en la fermentación alcohólica del mosto de maíz*

Días	Acidez		
	Muestras		
	EB1	EB3	EB4
0	0,9025	0,9878	0,9534
1	0,9986	0,9906	0,9888
2	1,2343	1,3249	1,3490
3	1,3487	1,3506	1,4678
4	1,4602	1,4002	1,4902
5	1,5789	1,5901	1,5890
6	1,6790	1,6881	-

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestra el control de acidez en función del tiempo en el proceso de fermentación alcohólica del mosto del maíz para la elaboración de aguardiente, en base a los datos obtenidos de la tabla 4.9.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11** Control de acidez en la fermentación alcohólica del mosto de maíz

En la figura 4.11, se muestra los datos obtenidos de acidez durante los días que transcurrió la fermentación alcohólica de las muestras preliminares incorporando

azúcar y chancaca en el mosto del maíz. Las muestras preliminares presentaron un valor inicial de: EB1 (0,9025); EB3 (0,9878) y EB4 (0,9534) al transcurrir un tiempo de 5 a 6 días de fermentación alcohólica, la acidez muestra un ascenso obteniéndose: EB1 (1,6790); EB3 (1,6881) y EB4 (1,5890).

### 4.3 Diseño factorial 2<sup>2</sup> en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de maíz

En base a la muestra ideal EB3, se procede a realizar de manera experimental el diseño factorial en la etapa de fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente de maíz variedad “morocho amarillo”, siendo la variable respuesta el grado alcohólico °GL.

#### 4.3.1 Variable respuesta del grado alcohólico (°GL) del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

Para aplicar el diseño experimental, en el proceso de fermentación alcohólica se toma en cuenta como variables independientes: los porcentajes muku de maíz (A) y de levadura (B), y como variable respuesta el grado alcohólico (°GL) en el aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.

En la tabla 4.10, se muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial 2<sup>2</sup> del programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XIX para Windows en el proceso de fermentación alcohólica, donde la variable respuesta es el grado alcohólico (° GL) datos extraídos del Anexo E (tabla E.1).

**Tabla 4.10**

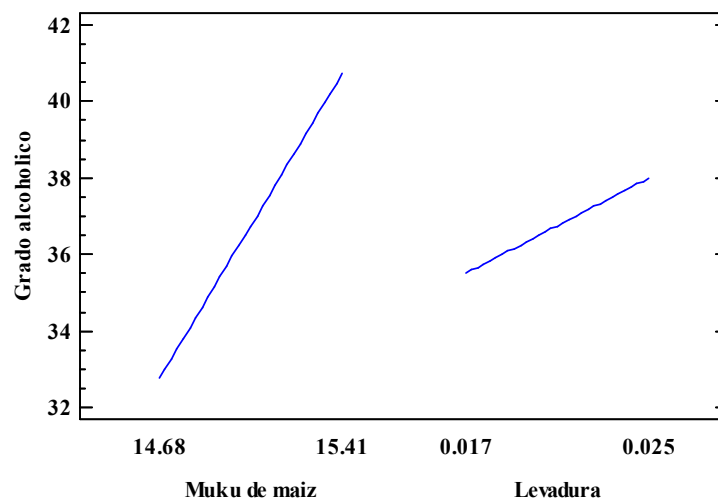
#### *Análisis de varianza en función de la variable respuesta grado alcohólico*

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	F <sub>Cal</sub>	F <sub>Tab</sub>
Factor A	128,0	1	128,0	128,0	10,12
Factor B	12,5	1	12,5	12,5	10,12
Interacción AB	2,0	1	2,0	2,0	10,12
Error total	3,0	3	1,0		
Total	145,5	7			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.10, se observa el factor A (muku de maíz), el factor B (levadura), son estadísticamente significativos en el proceso de fermentación alcohólica, debido a que  $F_{Cal} > F_{Tab}$  por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada en el proceso de fermentación alcohólica para un nivel de confianza de  $\alpha = 0,05$ . A diferencia de la interacción AB, en la cual no existe diferencia significativa debido a que  $F_{Cal} < F_{Tab}$ .

En la figura 4.12, se muestran los efectos principales del proceso fermentativo en el grado alcohólico (°GL).

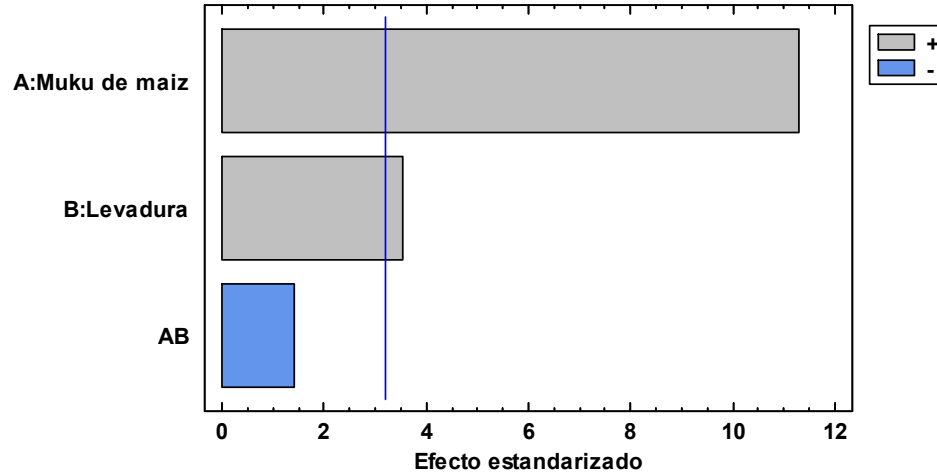


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12** Efectos principales para grado alcohólico

En la figura 4.12, se puede observar que el factor A (muku de maíz) influye significativamente en el grado alcohólico a medida que aumenta su porcentaje de 14,68 a 15,41 %. De igual manera el factor B (levadura) influyen significativamente en el grado alcohólico mostrando un efecto positivo a medida que aumenta su porcentaje de 0,017 a 0,025 %.

En la figura 4.13, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores analizados en el diseño experimental. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacción se determina con el valor de referencia (3,2) de modo que, si las barras graficadas exceden el valor de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13** Diagrama de Pareto estandarizado para el grado alcohólico

En la figura 4.13, se muestra que el factor A (muku de maíz) y el factor B (levadura) son estadísticamente significativos, debido a que las barras de los factores sobrepasan el valor de referencia para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ ; en comparación con la interacción AB (harina de maíz germinada- levadura) que no es estadísticamente significativo.

#### 4.4 Selección de muestra experimental de aguardiente de maíz en función del muku de maiz para la etapa de fermentación alcohólica

Experimentalmente, en base al diseño factorial en la etapa de fermentación alcohólica se procede a realizar la selección de aguardiente en función del muku de maíz del nivel superior e inferior en cuanto a los porcentajes utilizados entre 14,68-15,41 %.

##### 4.4.1 Evaluación sensorial de las muestras experimentales del nivel superior de la elaboración de aguardiente a base de muku de maiz variedad "morocho amarillo"

En base al diseño factorial para la etapa de fermentación alcohólica, se toma dos muestras de aguardiente en función del porcentaje de muku de maíz con el fin de complementar el diseño experimental y corroborara los efectos de los factores tomados en cuenta; así mismo, obtener la muestra final de aguardiente a base de

muku de maiz variedad “morocho amarillo” detalle que se observa en la tabla 4.11. la evaluación sensorial se lleva a cabo mediante una escala hedónica de 7 puntos.

**Tabla 4.11**

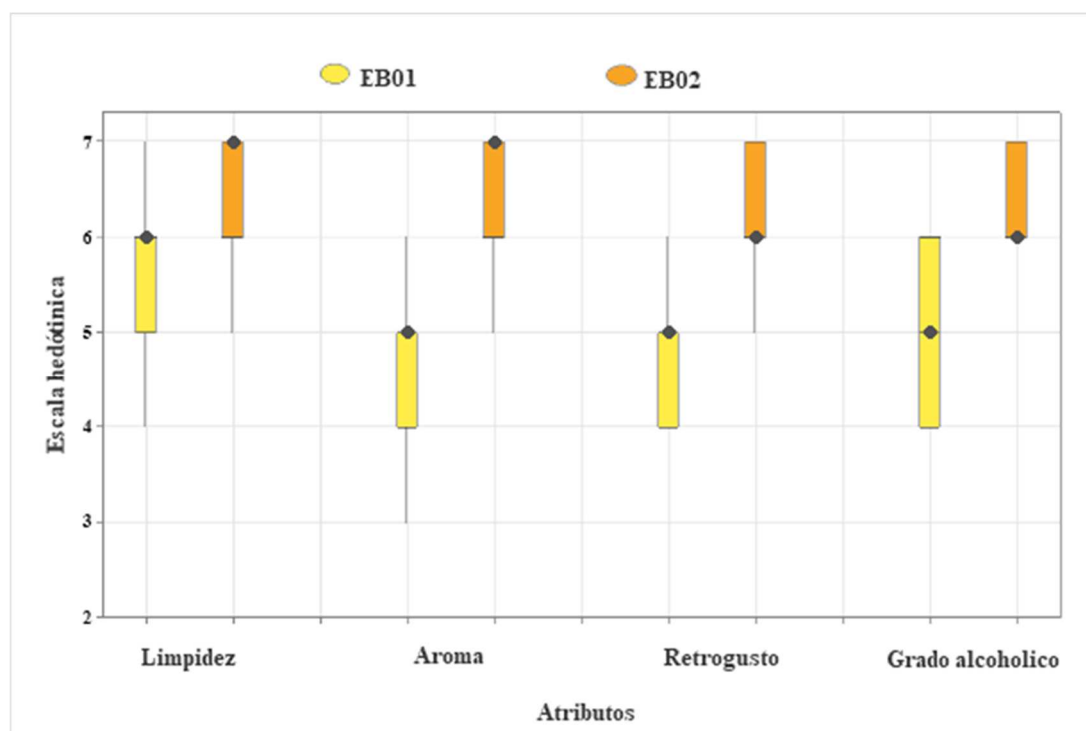
*Dosificación del aguardiente del nivel superior*

Muestras	Muku de maíz (%)	Otros (%)
EB01	15,41	84,587
EB02	15,41	84,435

**Fuente:** Elaboración propia

**4.4.1.1 Estadístico de caja y bigote para las muestras experimentales de aguardiente del nivel superior**

En la figura 4.14, se muestra el estadístico de caja y bigote para las muestras del nivel superior, datos extraídos del Anexo C, para los atributos limpidez (C.25), aroma (C.28), retrogusto (C.31) y grado alcohólico (C.34).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14** Análisis caja y bigote para las muestras experimentales del nivel superior



Según el análisis de la figura 4.14, se pueden observar los resultados de las medianas en función de los atributos que se evaluaron, donde: limpidez 7 (EB02), 6 (EB01); aroma 7 (EB02), 5 (EB01); retrogusto 6 (EB02), 5 (EB01); grado alcohólico 6 (EB02), 5 (EB01). De igual forma al realizar el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existen diferencias significativas entre los atributos de las muestras que se evaluaron para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

#### **4.4.2 Evaluación sensorial de las muestras experimentales del nivel inferior de la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

En base al diseño factorial para la etapa de fermentación alcohólica, se toma dos muestras de aguardiente en función del porcentaje de muku de maíz con el fin de complementar el diseño experimental y corroborara los efectos de los factores tomados en cuenta; así mismo, obtener la muestra final de aguardiente a base de muku de maiz variedad “morocho amarillo” detalle que se observa en la tabla 4.12. La evaluación sensorial se lleva a cabo mediante una escala hedónica de 7 puntos.

**Tabla 4.12**

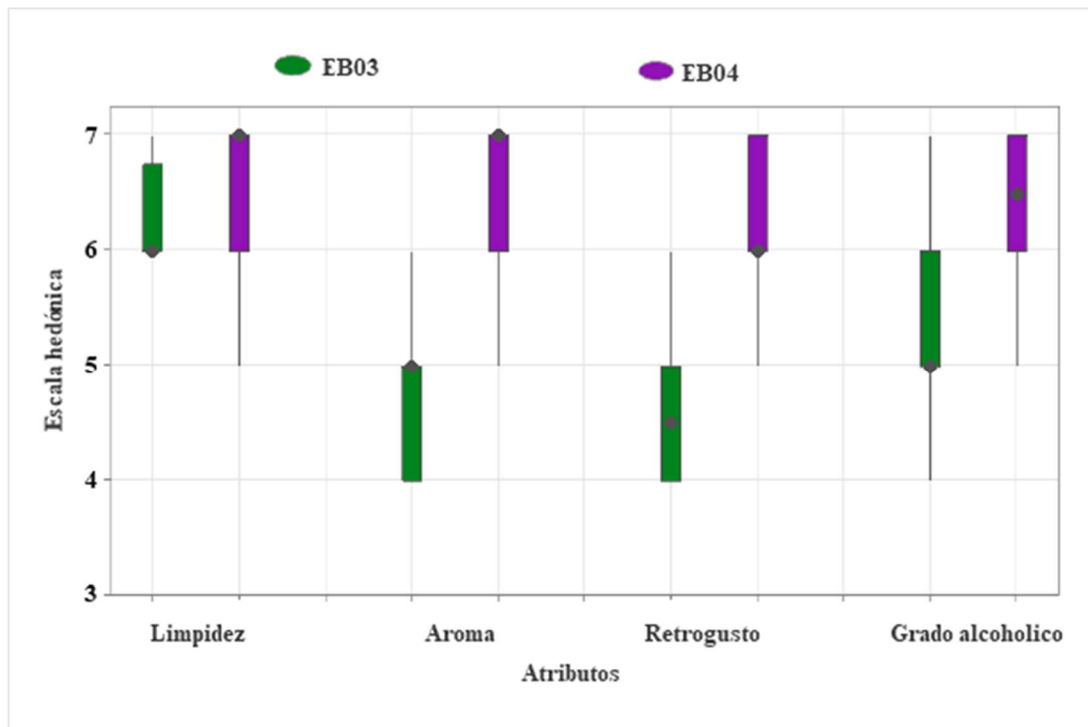
##### *Dosificación del aguardiente del nivel inferior*

<b>Muestras</b>	<b>Harina de malta de maíz (%)</b>	<b>Otros (%)</b>
EB03	14,68	85,317
EB04	14,68	85,315

**Fuente:** Elaboración propia

##### **4.4.2.1 Estadístico de caja y bigote para las muestras experimentales de aguardiente del nivel inferior**

En la figura 4.15, se muestra el estadístico de caja y bigote para las muestras del nivel inferior, datos extraídos del Anexo C, para los atributos limpidez (C.37), aroma (C.39), retrogusto (C.42) y grado alcohólico (C.45).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.15** Análisis caja y bigote para las muestras experimentales del nivel inferior

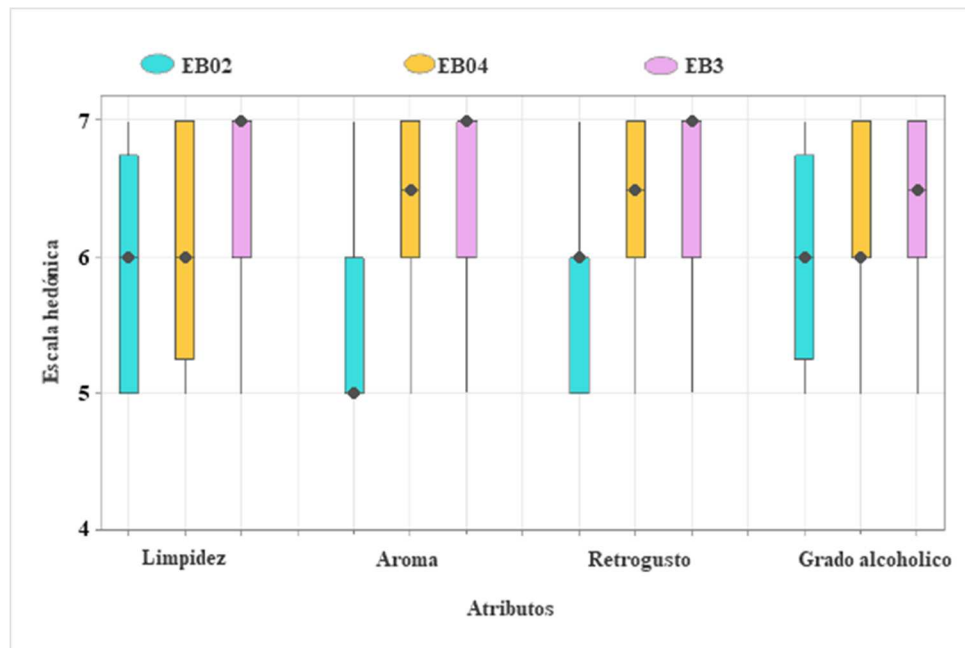
Según el análisis de la figura 4.15, se pueden observar los resultados de las medianas en función de los atributos que se evaluaron, donde: limpidez 7,0 (EB04); aroma 7,0 (EB04); retrogusto 6,0 (EB04); grado alcohólico 6,5 (EB04). De igual forma al realizar el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existen diferencias significativas entre los atributos aroma, retrogusto y grado alcohólico de las muestras que se evaluaron para un nivel de confianza de  $\alpha = 0,05$ . A diferencia del atributo limpidez que no existe diferencia significativa.

#### **4.5 Selección de muestra final del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

Realizada la evaluación sensorial, del nivel superior la muestra EB02 y del nivel inferior la muestra EB04, las cuales presentan diferencia significativa según el análisis estadístico. Estas muestras son valoradas nuevamente con la muestra ideal EB3 utilizando una escala hedónica de siete puntos con veinte jueces no entrenados, para la selección de la muestra final.

#### 4.5.1 Estadístico de caja y bigote para determinar la muestra final del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

En la figura 4.16, se muestra el estadístico de caja y bigote para la muestra final de aguardiente, de datos extraídos del (Anexo C), para los atributos limpidez (C.48), aroma (C.51), retrogusto (C.54) y grado alcohólico (C.57).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.16** Análisis caja y bigote para determinar la muestra final de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

Según el análisis de la figura 4.16, se pueden observar los resultados de las medianas en función de los atributos que se evaluaron, donde: limpidez 6,0 (EB02 Y EB04), 7,0 (EB3); aroma 5,0 (EB02), 6,5 (EB04) 7,0 (EB3); retrogusto 6,0 (EB02), 6,5 (EB04), 7,0 (EB3); grado alcohólico 6,0 (EB02 Y EB04), 6,5 (EB3). De igual forma al realizar el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existen diferencias significativas entre los atributos limpidez, aroma y retrogusto, en cuanto al grado alcohólico si existe diferencia significativa para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

Observando el análisis estadístico caja y bigote para el producto final en función de las medianas de los atributos evaluados se tomó en cuenta la muestra EB3 como la

muestra final por presentar mayores medianas en los atributos y preferencia de los jueces no entrenados respecto a las muestras EB02 y EB04.

#### **4.6 Caracterización del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

Para la caracterización del producto terminado se toma en cuenta los análisis fisicoquímicos los cuales se detallan a continuación:

##### **4.6.1 Análisis fisicoquímico del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

En la tabla 4.13, se muestra los resultados del análisis fisicoquímico del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”, de datos extraídos del (Anexo B)

**Tabla 4.13**

*Análisis fisicoquímicos del aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”*

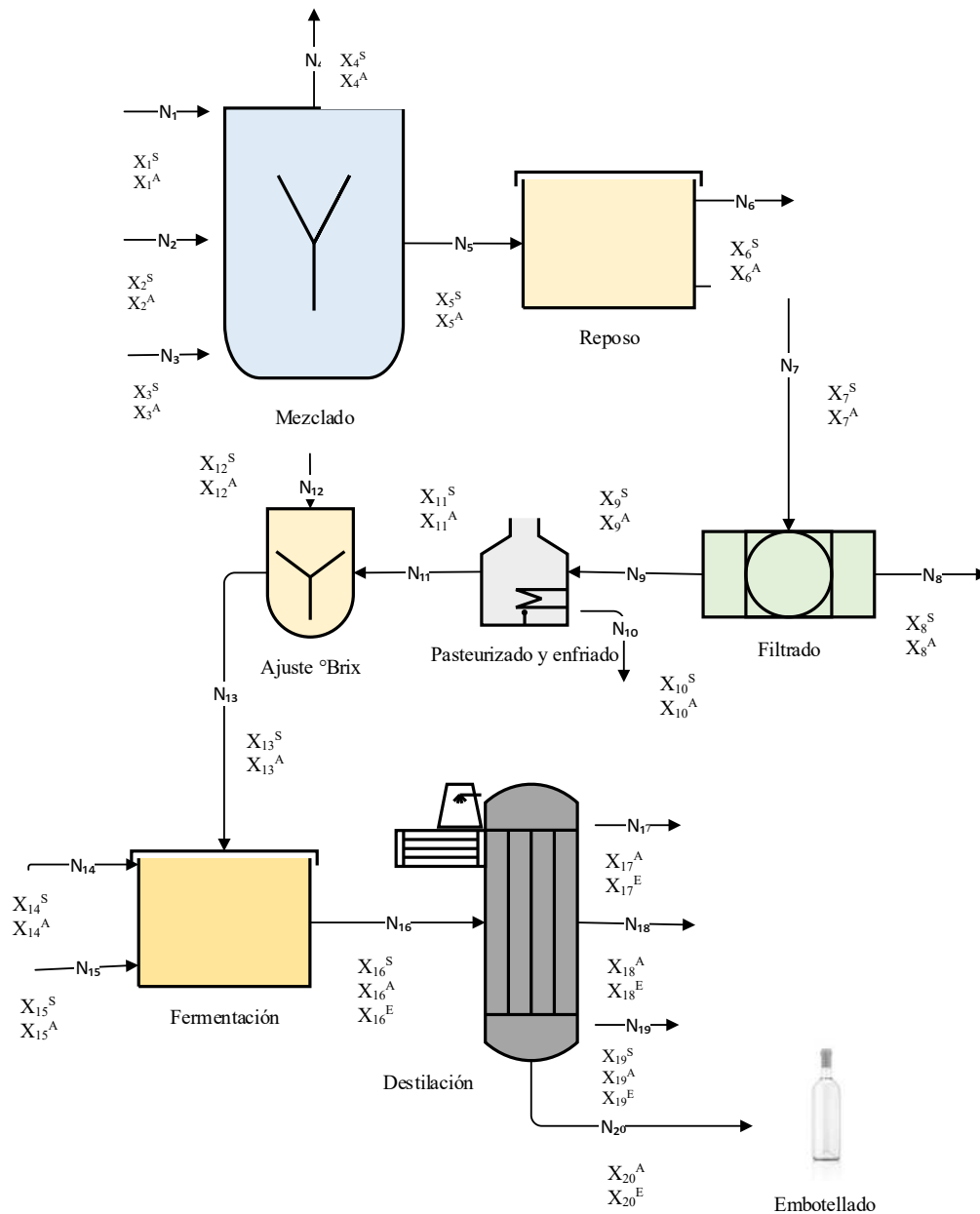
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Anhídrido sulfuroso	mg/L	6,95
Azúcares reductores	g/L	n.d
Extracto seco total	g/L	0,04
Grado alcohólico	% (v/v)	43,2
Metanol	mg/L	<53

**Fuente:** CEANID, 2023

En la tabla 4.13, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del aguardiente de maíz contiene: anhídrido sulfuroso 6,95 mg/L, azúcares reductores n.d (no detectado o que el parámetro no fue detectado en la muestra) g/L, extracto seco 0,04 g/L, grado alcohólico 43,2 % (v/v), y metanol <53 mg/L.

#### **4.7 Balance de materia en el proceso de elaboración de aguardiente a base muku de maíz variedad “morocho amarillo”**

El balance de materia se realizó tomando en cuenta el diagrama de la figura 4.17, para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”. Con una base de 700 gramos de muku de maíz.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.17** Balance general de materia para la elaboración de aguardiente de maíz

Dónde:

$N_1$  = Muku de maíz (g)

$N_4$  = Vapor de agua (g)

$N_2$  = Agua (g)

$N_5$  = Mezcla (g)

$N_3$  = Chancaca (g)

$N_6$  = Vapor de agua 1 (g)

$N_7 =$  Mosto de maíz (g)

$N_{16} =$  Vino base (g)

$N_8 =$  Borra (g)

$N_{17} =$  Cabeza del destilado (g)

$N_9 =$  Mosto de maíz 1 (g)

$N_{18} =$  Cola del aguardiente (g)

$N_{10} =$  Vapor de agua 2 (g)

$N_{19} =$  Vinaza de maíz (g)

$N_{11} =$  Mosto de maíz 2 (g)

$N_{20} =$  Aguardiente de maíz (g)

$N_{12} =$  Azúcar (g)

$X^S =$  Fracción de sólidos solubles

$N_{13} =$  Mosto de maíz corregido (g)

$X^A =$  Fracción de agua

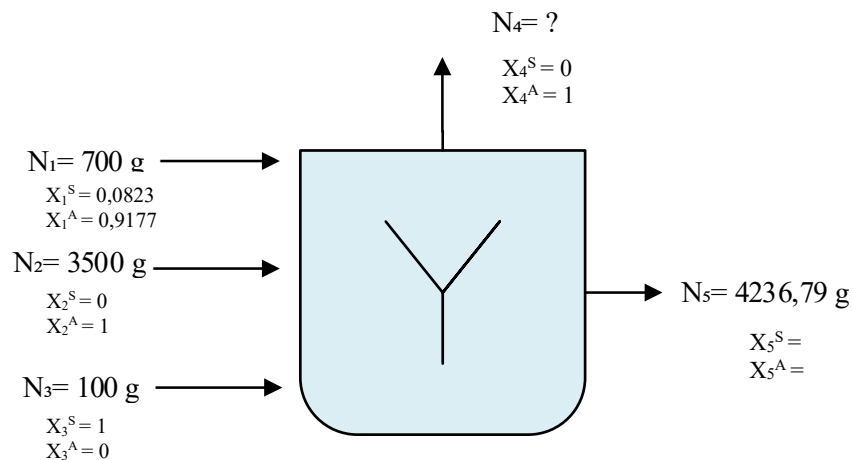
$N_{14} =$  Levadura (g)

$X^E =$  Fracción de alcohol

$N_{15} =$  Nutriente (g)

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

En la figura 4.18, se muestra el balance de materia en la etapa de empastado y mezclado. Datos obtenidos del pesado de la materia prima e insumos. Se inició con un peso de 700 g de muku de maíz.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.18** Balance de materia en la etapa de mezclado

Balance global de materia en la etapa de mezclado

$$N_1 + N_2 + N_3 = N_4 + N_5 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Balance parcial de materia para fracción sólida en la etapa de mezclado

$$N_1X_1^S + \cancel{N_2X_2^S} + N_3X_3^S = \cancel{N_4X_4^S} + N_5X_5^S \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Despejando  $X_5^S$  de la ecuación 4.2, se obtiene:

$$X_5^S = N_1X_1^S + N_3X_3^S / N_5 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.3, se obtiene:

$$X_5^S = 700 \text{ g} * 0,0823 + 100 \text{ g} * 1 / 3500 \text{ g}$$

$$X_5^S = 0,04$$

Balance parcial de materia para la fracción agua en la etapa de mezclado

$$N_1X_1^A + N_2X_2^A + \cancel{N_3X_3^A} = N_4X_4^A + N_5X_5^A \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Despejando  $X_5^A$  de la ecuación 4.3

$$X_5^A = N_1X_1^A + N_2X_2^A - N_4X_4^A / N_5 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.5, se obtiene:

$$X_5^A = 700 \text{ g} * 0,9177 + 3500 \text{ g} * 1 - 63,21 \text{ g} * 1 / 4236,79 \text{ g}$$

$$X_5^A = 0,96$$

Despejando  $N_4$  de la ecuación 4.1, se obtiene:

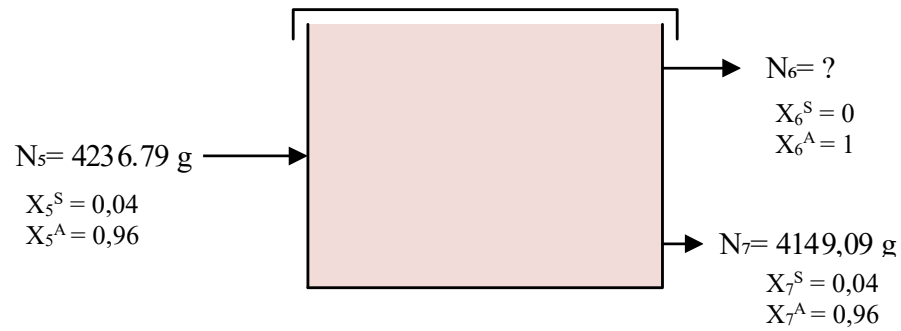
$$N_4 = N_1 + N_2 + N_3 - N_5 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$N_4 = (700 + 3500 + 100 - 4236,79) \text{ g}$$

$$N_4 = 63,21 \text{ g de vapor de agua}$$

#### 4.7.2 Balance de materia en la etapa de reposo

En la figura 4.19, se muestra el balance de materia en la etapa de reposo de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.19** Balance de materia en la etapa de reposo

Balance de materia global en la etapa de reposo

$$N_5 = N_6 + N_7$$

Ecuación 4.7

Balance parcial de materia para la fracción agua en la etapa de reposo

$$N_5 X_5^A = N_6 X_6^A + N_7 X_7^A$$

Ecuación 4.8

Despejando  $N_6$  de la ecuación 4.7, se obtiene:

$$N_6 = N_5 X_5^A - N_7 X_7^A / X_6^A$$

Ecuación 4.9

Reemplazando datos en la ecuación 4.9, se obtiene:

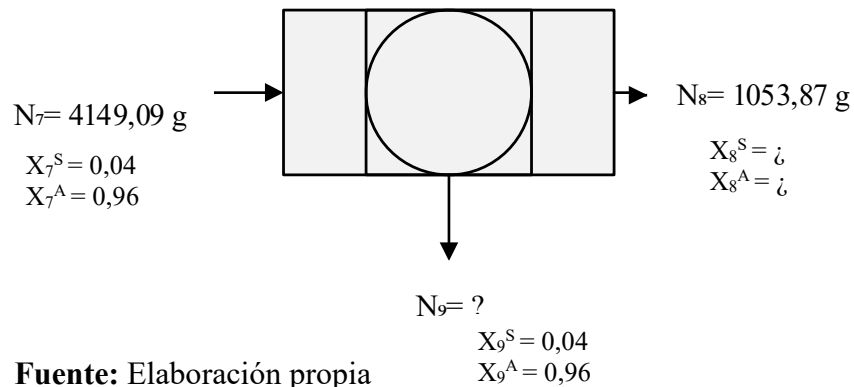
$$N_6 = 4236,79 \text{ g} * 0,96 - 4149,09 * 0,96 / 1$$

$$N_6 = 84,19 \text{ g de vapor de agua l}$$

### 4.7.3 Balance de materia en la etapa de filtración

En la figura 4.20, se muestra el balance de materia en la etapa de filtración del mosto de maíz.





**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.20** Balance de materia en la etapa de Filtración

Balance de materia global en la etapa de filtración

$$N_7 = N_8 + N_9$$

Ecuación 4.10

Despejando  $N_9$  de la ecuación 4.10, se obtiene:

$$N_9 = N_7 - N_8$$

Ecuación 4.11

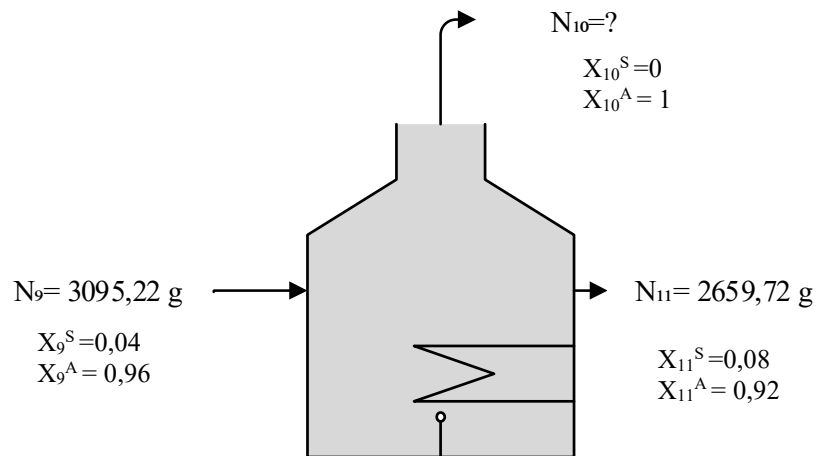
Retemplando datos de la ecuación 4.11, se obtiene:

$$N_9 = 4149,09 \text{ g} - 1053,87 \text{ g}$$

$$N_9 = 3095,22 \text{ g mosto de maíz 1}$$

#### 4.7.4 Balance de materia en la etapa de pasteurización y enfriamiento

En la figura 4.21, se muestra el balance de materia en la etapa de pasteurización y enfriamiento en el mosto de maíz 1.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.21** Balance de materia en la etapa de Pasteurización y enfriamiento

Balance de materia global en la etapa de pasteurización y enfriamiento

$$N_9 = N_{10} + N_{11} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despejando  $N_{10}$  de la ecuación 4.11, se obtiene:

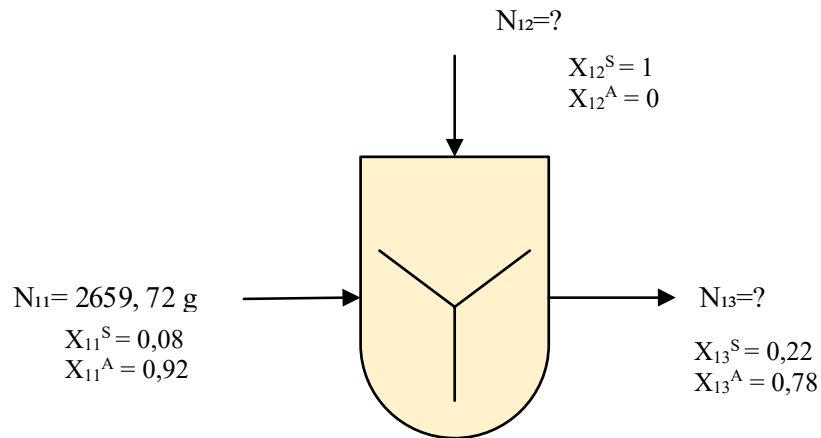
$$N_{10} = N_9 - N_{11} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$N_{10} = 3095,22 \text{ g} - 2659,72 \text{ g}$$

$$N_{10} = 435,5 \text{ g de vapor de agua 2}$$

#### 4.7.5 Balance de materia en la etapa de ajuste de grados Brix

En la figura 4.22, se muestra el balance de materia en la etapa de ajuste de grados Brix en el mosto de maíz 2.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.22** Balance de materia en la etapa de ajuste (°Brix)

Balance global en la etapa de ajuste de °Brix

$$N_{11} + N_{12} = N_{13} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Balance parcial de materia para la fracción agua en la etapa de ajuste de °Brix:

$$N_{11} * X_{11}^A + N_{12} * X_{12}^A = N_{13} * X_{13}^A \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Debido a que  $N_{12}$  no presenta fracción porcentual de líquido, la ecuación 4.14 se reduce a:

$$N_{11} * X_{11}^A + \cancel{N_{12} * X_{12}^A} = N_{13} * X_{13}^A \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Despejando  $N_{13}$  de la ecuación 4.16, se obtiene:

$$N_{13} = N_{11} * X_{11}^A / X_{13}^A$$

$$N_{13} = 2659,72 \text{ g} * 0,92 / 0,78$$

$$N_{13} = 3137,10 \text{ g de mosto de maíz corregido}$$

Balance parcial de materia para la fracción sólidos en la etapa de ajuste de °Brix:

$$N_{11} * X_{11}^S + N_{12} * X_{12}^S = N_{13} * X_{13}^S \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejando  $N_{11}$  de la ecuación 4.15 se obtiene:

$$N_{12} = N_{13} * X_{13}^S - N_{11} * X_{11}^S / X_{12}^S \quad \text{Ecuación 4.18}$$

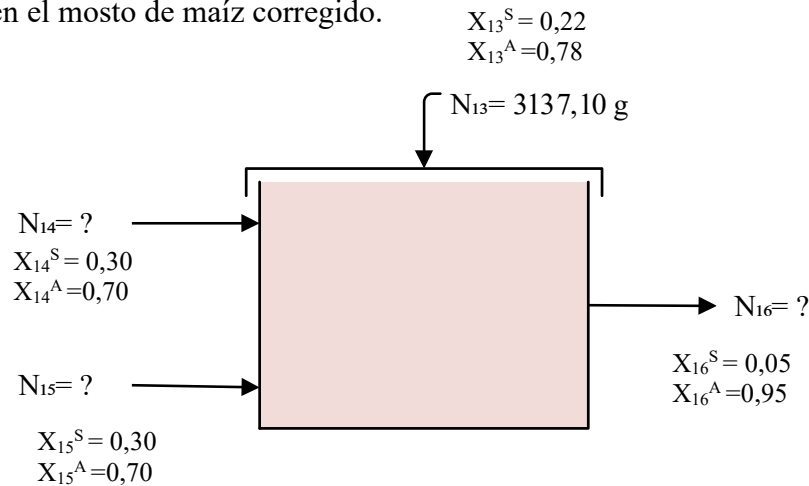
Reemplazando valores de ecuación 4.18, se obtiene:

$$N_{12} = (3137,10 \text{ g} * 0,22) - (2659,72 \text{ g} * 0,08) / 1$$

$$N_{12} = 477,38 \text{ g de azúcar}$$

#### 4.7.6 Balance de materia en la etapa de fermentación alcohólica

En la figura 4.23, se muestra el balance de materia en la etapa de fermentación alcohólica en el mosto de maíz corregido.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.23** Balance de materia en la etapa de fermentación alcohólica

Balance global de materia en la etapa de fermentación alcohólica del mosto corregido.

$$N_{13} + N_{14} + N_{15} = N_{16} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Cálculo de  $N_{14}$  (levadura activada) tomando en cuenta 30 g/hl (Ortega, 2020).

$$N_{14} = N_{15} * X_{15}^S \quad \text{Ecuación 4.20}$$

$$N_{14} = N_{15} * 30 \text{ g/hl}$$

Realizando la conversión de unidades se tiene:

$$N_{14} = 3137,10 \text{ g} * 33 \text{ g/hl}$$

$$N_{14} = (103524,3 \text{ g}^2/\text{hl}) * (1\text{hl}/100000\text{g}) = 1,03 \text{ g de levadura activada}$$

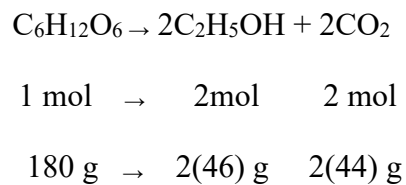
$$N_{15} = 1,03 \text{ g de nutriente para levadura}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.16, se obtiene:

$$N_{16} = (3137,10 + 1,03 + 1,03) \text{ g}$$

$$N_{16} = 3139,16 \text{ g de vino base de maíz}$$

La fermentación alcohólica se describe mediante la siguiente reacción:



Entonces tenemos:

$$m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 3139,16 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 * (1 \text{ mol de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 / 180 \text{ g de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) * (2 \text{ mol de C}_2\text{H}_5\text{OH} / 1 \text{ mol de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) * (46 \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH} / 1 \text{ mol de C}_2\text{H}_5\text{OH})$$

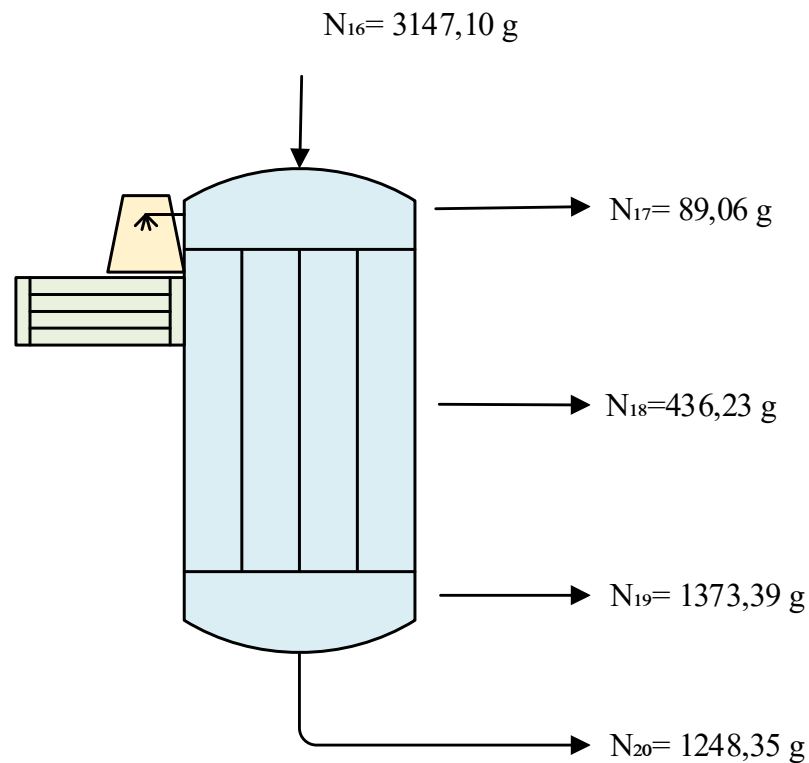
$$m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 1604,51 \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 3139,16 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 * (1 \text{ mol de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 / 180 \text{ g de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) * (1 \text{ mol de CO}_2 / 1 \text{ mol de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) * (44 \text{ g de CO}_2 / 1 \text{ mol de CO}_2)$$

$$m_{\text{CO}_2} = 767,35 \text{ g de CO}_2$$

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

En la figura 4.24, se muestra el balance de materia en la etapa de destilación en el vino base de maíz.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.24** Balance de materia en la etapa de destilación

Balance de materia global en la etapa de destilación del vino base de maíz:

$$N_{16} = N_{17} + N_{18} + N_{19} + N_{20} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Balance de materia parcial para la fracción agua

$$N_{16} X_{16}^A = N_{17} X_{17}^A + N_{18} X_{18}^A + N_{19} X_{19}^A + N_{20} X_{20}^A \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Despejando  $X_{19}^A$  de la ecuación 4.22, se obtiene:

$$X_{19}^A = (N_{16} X_{16}^A - N_{17} X_{17}^A - N_{18} X_{18}^A - N_{20} X_{20}^A) / N_{19} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.23, se obtiene:

$$X_{19}^A = (3147,10\text{g} \cdot 0,73) - (89,06\text{g} \cdot 0,40) - (436,23\text{g} \cdot 0,77) - (1248,35\text{g} \cdot 0,568) / 1373,39 \text{ g}$$

$$X_{19}^A = 0,87$$

Balance parcial de materia para la fracción sólidos

$$N_{16} X_{16}^S = N_{17} X_{17}^S + N_{18} X_{18}^S + N_{19} X_{19}^S + N_{20} X_{20}^S \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Reduciendo la ecuación 4.24, se obtiene:

$$X_{19}^S = N_{16} X_{16}^S / N_{19} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.25, se obtiene:

$$X_{19}^S = (3147,10 \text{ g} * 0,05) / 1373,39 \text{ g}$$

$$X_{19}^S = 0,11$$

Balance fraccionario para el componente vinaza de maíz

$$X_{19}^E + X_{19}^A + X_{19}^S = 1 \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Despejando  $X_{19}^E$  de la ecuación 4.26, se obtiene:

$$X_{19}^E = 1 - X_{19}^A - X_{19}^S \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.27, se obtiene:

$$X_{19}^E = 1 - 0,87 - 0,11$$

$$X_{19}^E = 0,02$$

Mediante la ecuación 4.28, se calculó el volumen en litros del aguardiente de maíz obtenido 1248,35 g.

$$\rho = m/v \text{ (Zamora,1998)} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

despejando “v” de la ecuación 4.28, se obtiene:

$$V_{\text{aguardiente}} = \rho_{\text{aguardiente}} * m_{\text{aguardiente}} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

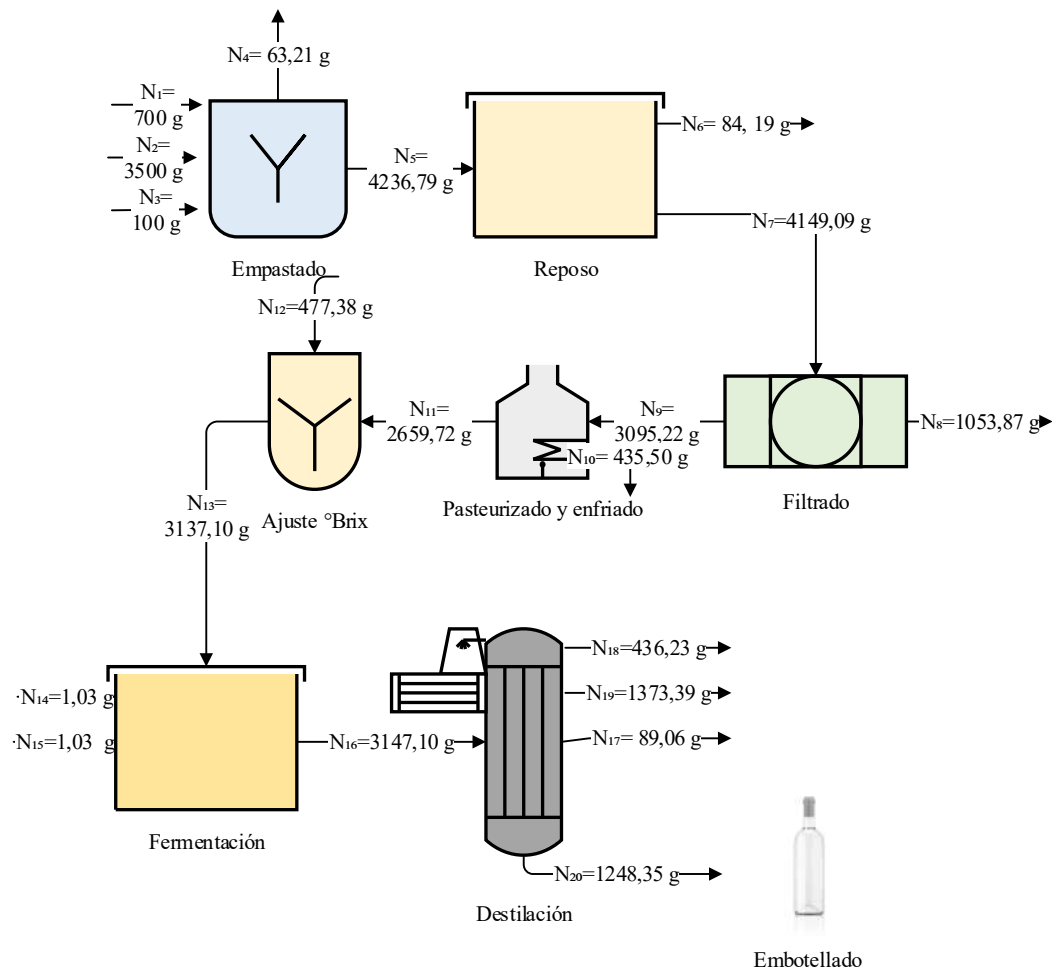
Reemplazando datos en la ecuación 4.29, se obtiene:

$$V_{\text{aguardiente de maíz}} = 1248,35 \text{ g} / (0,951 \text{ g/l})$$

$$V_{\text{aguardiente de maíz}} = 1312,67 \text{ litros}$$

#### 4.8 Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”

En la figura 4.25, se muestran los resultados que se obtuvieron para el balance de materia general para el proceso de elaboración de aguardiente.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.25** Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”



#### 4.9 Balance de energía en el proceso de pasteurización del mosto de maíz

Para determinar el balance de energía en la pasteurización del mosto de maíz, se tomó en cuenta la cantidad de calor necesario para calentar la olla de acero inoxidable y el mosto de maíz.

##### 4.9.1 Balance de energía para calentar la olla de acero inoxidable vacía

Cuando se añade energía calorífica a una sustancia la temperatura de esta suele aumentar. La cantidad de energía calorífica  $Q$  necesaria para elevar la temperatura de una sustancia es proporcional a la variación de la temperatura y a la masa de la sustancia:

$$Q = C * \Delta T = m * c * \Delta T \text{ (Tipler, 2021)} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde  $C$  es la capacidad calorífica de la sustancia, que es la energía calorífica necesaria para elevar un grado la temperatura de dicha sustancia. El *calor específico  $c$*  es la capacidad calorífica por unidad de masa:

$$C = mc \text{ (Tipler, 2021)} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Tomando en cuenta la ecuación 4.30 se realiza el cálculo del calor necesario para calentar la olla de acero inoxidable vacía:

$$Q_{\text{olla}} = m_{\text{olla}} * C_{\text{polla}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Dónde:

$Q_{\text{olla}}$  = calor necesario para calentar la olla de acero inoxidable vacía (kcal)

$m_{\text{olla}}$  = masa de la olla (2,563 kg)

$C_{\text{polla}}$  = Capacidad calorífica de la olla de acero inoxidable vacía ( $C_{\text{p}}_{\text{acero inoxidable}} = 0,12 \text{ kcal/ kg } ^\circ\text{C}$ ) (Díaz, 2006)

$\Delta T = (T_f - T_i) = \text{variación de la temperatura en la olla (90-25) } ^\circ\text{C}$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.32, se obtiene:

$$Q_{olla} = 2,563 \text{ kg} * 0,12 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} * (90-25) ^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{olla} = 19,99 \text{ kcal}$$

#### 4.9.2 Balance de energía para pasteurizar el mosto de maíz

Según Orozco (1998), la capacidad calórica a presión constante se define como la variación de la entalpía respecto a la temperatura a presión constante. Si se conoce el análisis del alimento se puede utilizar para calcular las capacidades caloríficas del siguiente modo:

$$C_p = X_w C_w + X_c C_c + X_p C_p + X_a C_a + X_f C_f \text{ (Orozco, 1998)} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Dónde:

$X_w$  = Fracción en peso del agua

$X_c$  = Fracción en peso de carbohidratos

$X_p$  = Fracción en peso de proteínas

$X_a$  = Fracción en peso de cenizas

$X_f$  = Fracción en peso de grasas

Y:  $C_w, C_c, C_p, C_a, C_f$  son los calores específicos de los componentes.

$$C_w = 4,18 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C} * 0,2390 \text{ Kcal} / 1 \text{ KJ} = 0,99902 \text{ Kcal/ kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_c = 1,4 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C} * 0,2390 \text{ kcal} / 1 \text{ KJ} = 0,3346 \text{ Kcal/ kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 1,6 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C} * 0,2390 \text{ Kcal} / 1 \text{ KJ} = 0,3824 \text{ Kcal/ kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_a = 0,8 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C} * 0,2390 \text{ Kcal} / 1 \text{ KJ} = 0,1912 \text{ Kcal/ kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_f = 1,7 \text{ KJ/kg } ^{\circ}\text{C} * 0,2390 \text{ Kcal} / 1 \text{ KJ} = 0,4063 \text{ Kcal/ kg } ^{\circ}\text{C}$$

En la tabla 4. 14, se muestran los resultados de la composición fisicoquímica del muku de maíz, de datos extraídos del (Anexo B).

**Tabla 4.14**

*Análisis fisicoquímico del muku de maíz*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,36
Fibra	%	2,08
Grasa	%	3,36
Hidratos de carbono	%	79,96
Humedad	%	8,23
Proteína total	%	7,09

**Fuente:** CEANID, 2023

Para la determinación del calor específico del muku de maíz, se tomó en cuenta la ecuación 4.33

$$C_{p_h} = (0,0823 \cdot 0,99902) + (0,7996 \cdot 0,3346) + (0,0709 \cdot 0,3824) + (0,0136 \cdot 0,1912) + (0,0336 \cdot 0,4063)$$

$$C_{p_h} = 0,3931 \text{ kcal/ kg } ^\circ\text{C} \text{ Calor específico del muku de malta de maíz}$$

Ecuación empírica para el cálculo de la capacidad calorífica a presión constante para alimentos (Orozco,1998).

$$C_p = X_w C_w + X_s C_s \quad \text{Ecuación 4.34}$$

En base a la ecuación 4.34 se calculó de la capacidad calorífica del mosto de maíz (agua y muku de maíz).

$$C_{p_{\text{mosto de maíz}}} = X_w C_w + X_h C_{p_h} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

$X_w$  = Fracción en peso del agua

$C_w$  = Capacidad calorífica del agua

$X_h$  = Fracción en peso de los sólidos solubles del muku de maíz

$C_{p_h}$  = capacidad calorífica del muku de maíz

$$C_{p_{\text{mosto de maíz}}} = (1,00 * 0,99902) + (0,04 * 0,3931)$$

$$C_{p_{\text{mosto de maíz}}} = 1,0147 \text{ Kcal/ kg } ^\circ\text{C} \text{ calor específico del mosto de maíz}$$

Determinado el  $C_p$  del mosto de maíz, se halló el calor necesario para pasteurizar el mosto de maíz en base a la ecuación 4.36.

$$Q_{\text{mosto}} = m_{\text{mosto}} * C_{p_{\text{mosto}}} * \Delta T + m_{\text{agua evap}} * \lambda_v \text{ (Valiente, 1986)} \quad \text{Ecuación}$$

4.36

Donde:

$Q_{\text{mosto}}$  = Calor necesario para pasteurizar el mosto de maíz (kcal)

$m_{\text{mosto}}$  = Masa del mosto de maíz (3,0952 kg)

$C_{p_{\text{mosto}}}$  = Capacidad calorífica del mosto de maíz (1,0147 Kcal/ kg  $^\circ\text{C}$ )

$\Delta T = (T_f - T_i)$  = Variación de la temperatura en la pasteurización (90-20)  $^\circ\text{C}$

$\lambda_v$  = Calor latente de vaporización del agua (539 kcal/kg) (Kane & Sternheim, 2007)

$m_{\text{agua evap}}$  = Masa del agua evaporada (0,4355 kg)

Reemplazando los datos en la ecuación 4.36, se obtiene:

$$Q_{\text{mosto}} = 3,0952 \text{ kg} * 1,0147 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (90-20) ^\circ\text{C} + 0,4355 \text{ kg} * 539 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{mosto}} = 454,58 \text{ kcal}$$

Para la determinación del requerimiento total de calor en la pasteurización se tomó en cuenta la ecuación 4.37.

$$Q_T = Q_{\text{olla}} + Q_{\text{mosto}} \text{ (Valiente, 1986)} \quad \text{Ecuación 4.37}$$

$$Q_T = 19,99 \text{ kcal} + 454,58 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 474,57 \text{ kcal}$$

#### 4.10 Balance de energía en el proceso de destilación

Para realizar la destilación del vino base de maíz fermentado se utilizó el Rota-vapor Bucchi R-100 con una potencia de 2700 W por un tiempo de 15,50 horas tiempo que duró la destilación.

$$P = \text{energía (E)} / \text{tiempo } \theta \text{ (T)} \text{ (Valiente, 1986)} \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Para el cálculo de la energía eléctrica requerida, se tomó en cuenta la ecuación 4.38 despejando E se obtiene:

$$E = P * \theta \quad \text{Ecuación 4.39}$$

$$E = 2700 \text{ W} * (1\text{kcal/h}) / 1,163\text{W} * 0,33 \text{ h}$$

$$E = 766,12 \text{ Kcal}$$

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

## 5.1 Conclusiones

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

- ❖ Realizado el análisis fisicoquímico del muku de maíz, este contiene: Cenizas 1,36 %; Fibra 2,08 %; Materia grasa 3,36 %; Hidratos de carbono 79,96 %; Humedad 8,23 %; Proteína total 7,09 % y Valor energético 378,44 kcal /100g.
- ❖ Realizado el análisis microbiológico del muku de maíz, este contiene: Bacterias aerobia mesófilas  $2,0 \times 10^5$  UFC/g; Coliformes totales  $2,1 \times 10^2$  UFC/g; Mohos y levaduras  $6,0 \times 10^2$  UFC/g.
- ❖ Realizada la evaluación sensorial a las pruebas preliminares durante el desarrollo experimental se puede indicar que las muestras más aceptadas por los jueces son las muestras EB1, EB2, EB3, EB4 en los atributos limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico. Muestras elaboradas con muku de maíz de las cuales la muestra EB3 es la muestra ideal. Respecto a las muestras elaboradas con harina de maíz las cuales no tuvieron mucha aceptación entre los jueces.
- ❖ Aplicando el diseño factorial  $2^2$  para las muestras en la fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente a base de muku de maíz varieda “morocho amarillo” las variables: Muku de maíz (A) y levadura (B), existe evidencia estadística significativa debido a que  $F_{Cal} > F_{Tab}$  por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada, se afirma que la variación de los factores son significativos en la fermentación alcohólica.
- ❖ Realizado el análisis fisicoquímico del aguardiente a base de muku de maíz, este contiene: anhídrido sulfuroso 6,95 mg/L; azúcares reductores n.d (no

detectado o que el parámetro no fue detectado en la muestra) g/L; extracto seco total 0,04 g/L; grado alcohólico 43,2 % (v/v); metanol <53 mg/L.

- ❖ Realizado el balance de materia a partir de 3147,10 g de mosto de maíz fermentado se obtiene 1248,35 g de aguardiente de maíz. Así mismo la cantidad de calor necesario para las operaciones del proceso (pasteurización y destilación) se requiere (474,57 kcal) y (766,12 Kcal) respectivamente.

## 5.2 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda realizar la fermentación alcohólica a temperaturas más bajas que la propuesta en el trabajo de investigación, temperaturas entre 14 a 18 °C con la finalidad de obtener mayores aromas en el aguardiente a base de muku de maíz variedad “morocho amarillo”.
- ❖ Se recomienda realizar el control de más parámetros en la fermentación alcohólica (° Baumé, densidades) con la finalidad de obtener datos más exactos y mejorar la fermentación alcohólica.
- ❖ Realizar un análisis más profundo sobre la cinética del crecimiento microbiano para mejorar la fermentación alcohólica, mediante el consumo total de los azúcares fermentables en el mosto de maíz.
- ❖ Realizar un análisis de almidón (amilosa y amilopectina) en el muku de maíz variedad “morocho amarillo para tener en cuenta la hidrolisis enzimática producida en esta etapa y saber la cantidad de glucosa fermentable en el muku de maíz.