

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Antecedentes**

Anualmente se produce un promedio de 3,3 millones de hectolitros de cerveza en Bolivia y expertos resaltan: “el boom de consumo que existe en el país explica el desarrollo y prosperidad de la industria cervecera.” Además, la región de Santa Cruz y Cochabamba son las regiones donde se registran los mayores consumos del país. (Sauto, 2013)

En la actualidad, la producción cervecera artesanal en Bolivia está a cargo de empresas bolivianas como Saya Beer (La Paz), con sus marcas Saya Ale, Saya Negra y Saya Colonial; la Cervecería Blumental (Cochabamba), con sus productos de quinua y amaranto; la Cervecería Leclere (Cochabamba), que elabora bebidas a base de quinua y cereales; y Teds Cervecería (Sucre), con sus productos Ámbar, Chala, Reyna y Mango, entre otras. (La Razón, 2014)

En Cochabamba producen cervezas artesanales con ingredientes que van desde el locoto hasta la frutilla. En Potosí, un emprendedor fabrica esa bebida con la quinua que siembra en su provincia, Nor Lípez. De esta forma, utilizando ingredientes singulares, distintos emprendedores que se desempeñan en este sector tratan de darle un sabor "especial y único" a este tipo de bebida, cuya producción se caracteriza por ser "semimanual". (Página Siete, 2014)

Desde hace varios años se observa una manifiesta dirección a la valoración de productos artesanales y regionales, medianas empresas que tienen interés en alguna actividad relacionada a este tipo de productos y la posibilidad de desarrollar otras actividades en forma rentable y organizada, podría convertirse en una herramienta clave del desarrollo local generando nuevos puestos de trabajo y mejorando la viabilidad de muchas pequeñas y medianas empresas. (Pardo, 2011)

La Asociación de cerveceros artesanales en Tarija reúne a 12 cervecerías de producción local, entre ellas Barbosa, Macabra, Alquimia, Hops, Valkirya, Bière Landeau, Marquiri, entre otras. La proliferación de cerveceros artesanales es una tendencia mundial que ha llegado a Tarija. (El País, 2019)

## 1.2 Justificación

- ✚ En el mercado de Tarija se pudo constatar que no existe una cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, por lo que el presente trabajo busca brindar una cerveza diferente a las que proponen las cervecerías artesanales e industriales de la provincia Cercado.
- ✚ El presente trabajo de investigación surge como alternativa para coadyuvar al consumo de una bebida de origen orgánico elaborada en base a cebada malteada, lúpulo y levadura.
- ✚ En el mercado de Tarija existe una gran demanda de cervezas de origen artesanal, por lo que el presente trabajo propone una cerveza poco convencional que puede ser consumida en diferentes eventos sociales.
- ✚ En el departamento de Tarija existe una gran cantidad de cervezas que entran mediante contrabando generando un riesgo sanitario para la población tarijeña, debido a que no cumplen con un control sanitario por las entidades locales de control, por el cual el presente trabajo busca brindar una cerveza artesanal que cumple con parámetros de calidad.

## 1.3. Objetivos

Los objetivos planteados para el presente proyecto, son:

### 1.3.1 Objetivo General

- ✚ Elaborar cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, mediante proceso biotecnológico de fermentación alcohólica; con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

### 1.3.2 Objetivos específico

- ✚ Determinar las propiedades fisicoquímicas de la materia prima e insumos con la finalidad de conocer su composición.
- ✚ Realizar pruebas preliminares con el fin de obtener la muestra arquetipo para la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.
- ✚ Aplicar un control en el proceso fermentativo mediante análisis de pH y °Brix en la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.
- ✚ Efectuar evaluación sensorial con jueces no entrenados para valorar la aceptabilidad y calidad del producto terminado.
- ✚ Aplicar balance de materia y energía para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale con el fin de conocer el rendimiento en el proceso de elaboración.
- ✚ Determinar las propiedades fisicoquímicas del producto terminado con la finalidad de conocer su composición fisicoquímica y microbiológica.

### 1.4 Variable independiente y dependiente

Las variables aplicadas en este trabajo son las siguientes:

**Variable dependiente (VD):** Cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

**Variable independiente (VI):** Proceso biotecnológico de fermentación alcohólica

### 1.5 Planteamiento del problema

Las cervecerías artesanales e industriales de la provincia Cercado no elaboran la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, del mismo modo existe pocas alternativas en la variedad de cervezas artesanales elaboradas en el departamento de Tarija. Existe una gran demanda de cervezas de origen artesanal y a la vez las cervezas que se pueden adquirir generalmente no son de origen orgánico, entre las opciones que

se tiene de cerveza son de contrabando que no cumplen un control sanitario por las entidades locales de control, generando un riesgo sanitario para la población tarijeña.

### **1.6 Formulación del problema**

¿Se podrá elaborar la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, mediante el proceso biotecnológico de fermentación alcohólica; con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija?

### **1.7 Planteamiento de hipótesis**

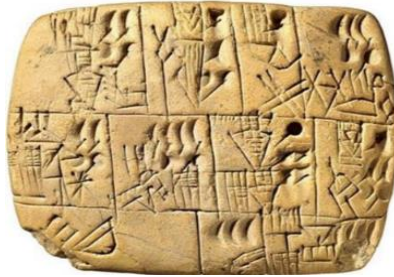
El proceso biotecnológico de fermentación alcohólica para la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale permitirá obtener un producto de calidad para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Origen de la cerveza

El proceso de elaboración de la cerveza se origina desde la Antigua Mesopotamia, hace más de 6000 años donde empezaron a producir de la germinación del trigo, la primera cerveza primitiva, cuyo sabor era ligeramente agrio, debido a la fermentación láctica paralela que esta sufría, este fenómeno ocasionaba que la cerveza dure más tiempo, ya que un medio ácido es inhóspito para los microorganismos. Los babilonios, heredaron de los sumerios el arte de cultivar la tierra y elaborar cerveza. (Chávez, 2019). En la figura 2.1, se muestra la tablilla Mesopotamia especificando la elaboración de la cerveza.



**Fuente:** Chávez, 2019

**Figura 2. 1** Tablilla Mesopotamia especificando la elaboración de la cerveza

En el siglo XIX, el mayor descubrimiento en el campo de la cervecería, lo realizó el investigador francés Luis Pasteur, con ayuda de su microscopio descubrió al hongo del cual se deriva la levadura responsable de la fermentación de la cerveza tipo Lager. Con este descubrimiento se logró entender por qué se fermentaba y se pudo controlar la producción de la misma, dando como resultado cervezas de mejor calidad y variedad. Según los estudios de Pasteur, esta levadura no se originaba espontáneamente durante la fermentación de la cerveza, explicando el proceso de formación de alcohol en la fermentación del mosto por la levadura. Además, probó que otras bacterias que crecían junto a la levadura, eran capaces de estropear la cerveza; para evitarlo, desarrollo el método que hoy conocemos como pasteurización, que es un ligero calentamiento de la cerveza, al aplicarlo se eliminaban bacterias, permitiendo que la cerveza dure más tiempo. (Chávez, 2019)

## 2.2 Definición de la cerveza artesanal

Es el producto de fermentación alcohólica mediante levaduras cerveceras de un mosto de malta de cebada o extracto de malta, elaborado a base de agua potable, malta de cebada, lúpulo y eventualmente adjuntos y otros productos naturales aptos para el consumo humano, según las fórmulas desarrolladas por cerveceros artesanales. “No lleva aditivos artificiales ni conservantes, otros productos naturales podrán ser: miel, hierbas aromáticas, hojas semillas, frutos, raíces, etc.” (IBNORCA, 2001)

## 2.3 Clasificación de la cerveza artesanal

En la tabla 2.1, se muestra la clasificación de la cerveza artesanal.

**Tabla 2. 1**

### *Clasificación de la cerveza*

<b>Criterio de clasificación</b>	<b>Tipos</b>
<b>Fermentación</b>	Alta ( <i>Ale</i> )
	Baja ( <i>Lager</i> )
	Espontanea ( <i>Lambic, Wild</i> )
<b>Ingredientes</b>	Cebada
	Trigo
	Malta de otros Cereales
	Adjuntos
	Otros (frutas, café, hierbas, miel)
<b>Fortaleza (contenido alcohólico)</b>	Con alcohol
	bajo contenido Alcohólico
	Sin alcohol
<b>Color</b>	Rubia
	Tostada
	Roja
	Negra
	otros
<b>Método de producción</b>	Artesanal
	Industrial

**Fuente:** Picón, 2020



## **2.4 Tipos de cerveza**

La cerveza según su tipo de fermentación se divide en cervezas tipo Ale y cervezas tipo Lager.

### **2.4.1 Cerveza tipo Ale**

Es una cerveza con fermentación alta, lo que significa las levaduras trabajan en la superficie del mosto, con rango de temperaturas óptima entre los 18°C y 25°C y un tiempo de fermentación no mayor de dos semanas. El producto final por lo general es más fuerte, con más cuerpo y afrutado. (Martines & Tuano, 2018)

### **2.4.2 Cerveza tipo Lager**

Es una cerveza con fermentación baja, las levaduras trabajan en el fondo del depósito donde fermentan el mosto. El rango de temperaturas óptimo se encuentra entre 8°C y 15°C, con un tiempo de fermentación superior al del tipo Ale, pudiendo alcanzar las 3 semanas de fermentación. El producto final es más suave, más ligera y con menos intensidad y aromas. (Martines & Tuano, 2018)

## **2.5 Cerveza Belgian Golden Strong Ale**

Desarrollada por la cervecería Moortgat después de la Primera Guerra Mundial como respuesta a la creciente popularidad de las cervezas Pilsner. Los ingredientes característicos son malta Pilsner con adjuntos azucarados. Se utilizan habitualmente lúpulos tipo Saaz o Styrian Goldings, se utilizan cepas de levadura belga, las que producen ésteres afrutados, fenólicos picantes y alcoholes superiores, a menudo ayudados por temperaturas de fermentación ligeramente más cálidas. Las Belgian Strong ales tienen una amplia gama de caracteres. Tal vez la mejor manera de describir los estilos de esta categoría es para decir que todas las cervezas son cervezas de alto contenido de alcohol, con un nivel de notas especiadas belgas que van desde muy bajo a moderadamente alto. (Zainasheff & Palmer, 2007)

En la tabla 2.2, se muestran los requisitos fisicoquímicos de la cerveza Belgian Golden Strong Ale.

**Tabla 2. 2**  
*Requisitos fisicoquímicos de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale*

Componentes	Unidades	Valor
Densidad Inicial	g/ml	1070 – 1095
Densidad Final	g/ml	1005 – 1016
Graduación Alcohólica	(%)	7,5 – 10,5
Color	(SRM)	3,0– 6,0
Amargo	(IBUs)	22,0 – 35,0

**Fuente:** (Zainasheff & Palmer, 2007)

## 2.6 Características fisicoquímicas de la cerveza artesanal

Para diferenciar la cerveza se usan parámetros medibles en ellas, estos parámetros son la densidad del mosto inicial, la densidad de la cerveza final, el grado alcohólico, el amargor medido en IBU (International Bitterness Unit), y el color, medido en distintas unidades, SRM (Standard Reference Method), grados Lovibond o EBC (European Brewery Convention). (Picón, 2020). En la tabla 2.3, se muestra los requisitos físico-químicos de la cerveza artesanal.

**Tabla 2. 3**

*Requisitos fisicoquímicos de la cerveza artesanal*

Requisitos	Unidades	Especificaciones
Grado alcohólico	% Vol.	0 – 12
Extracto original	% m/m	4
Unidades de amargo	IBU*	2 – 100,0
pH		3– 4,8
CO <sub>2</sub>	(% v/v)	2– 4,0

**Fuente:** IBNORCA, 2001

### 2.6.1 Grado alcohólico

El grado alcohólico de una bebida, en este caso la cerveza, es la expresión del porcentaje en volumen de alcohol presente en ella. Cada 1 %v/v alcohol/cerveza corresponde con 1 grado alcohólico. Aunque puede encontrarse expresado en “% ABV” donde ABV son las siglas de Alcohol By Volumen. El contenido de alcohol

habitual en bebidas fermentadas oscila entre 312 % ABV, excluyendo las sin alcohol o de bajo contenido alcohólico, cuyo grado alcohólico es incluso menor. (Picón, 2020)

### **2.6.2 pH**

El valor de pH necesario para la fermentación del mosto varía levemente según el tipo de levadura usada, con valores que se encuentran entre 5,3 y 5,6. Independientemente del estilo, se busca que el valor de este parámetro oscile en la cerveza final entre 4,2 y 4,3. El método usado para medir el pH, es la potenciometría. (Picón, 2020)

### **2.6.3 Densidad**

La densidad del mosto indica la cantidad de azúcares en solución. El “grado plato” es la densidad específica expresada como el peso de extracto en 100 g de solución, a la temperatura de 17,5 ° C. La densidad específica final es la densidad de la cerveza cuando la fermentación ha concluido. Cuando más denso sea el mosto, más alcohol tendrá la cerveza acabada y mayor cantidad de lúpulo necesitará: en los mostos más densos el  $\alpha$  ácido es menos efectivo y se necesita más amargor para contrarrestar el dulzor de la malta. Además, los mostos densos requieren más tiempo para fermentar y mucho más tiempo de maduración. (Suarez, 2013)

### **2.6.4 Extracto real y extracto seco primitivo**

Es un concepto del que se puede comenzar a hablar desde la etapa de maceración, donde se solubilizan los distintos compuestos de la malta., hasta la cerveza final. Hay que saber que la cantidad de extracto suele expresarse de dos formas distintas. La primera consiste en expresarlo mediante el porcentaje de compuestos solubles en unidades de masa, para ello se definen las unidades °P (grado plato) o °Bx (grados Brix). La segunda forma de expresar es mediante el porcentaje de masa de compuestos solubles por volumen, para lo que se usan los grados Baumé (°B). (Picón, 2020)








### **2.6.5 Color**

Son varios compuestos responsables del color en las cervezas: melanoidinas, productos de caramelización y pirolisis, polifenoles oxidados, riboflavina, carotenoides,

antocianinas, clorofilas y sus productos de oxidación. Estos compuestos poseen en espectro de color que va desde el amarillo al ámbar. Se generan por reacciones de pardeamiento no enzimático (reacciones de Maillard) durante el tratamiento térmico del malteado, la cocción, etc. El color de las cervezas se evalúa de acuerdo a dos escalas: la SRM (Standard Reference Method) utilizada principalmente en Estados Unidos y la EBC (European Brewing Convention) en el resto del mundo. Ambas se basan en medidas espectrofotométricas, midiendo la absorbancia de la muestra de cerveza a 430nm. (Suarez, 2013). En la tabla 2.4, se muestra la escala de colores de la cerveza artesanal.

**Tabla 2. 4**

*Escala de colores de la cerveza artesanal*

Denominación	Color	SRM	EBC
Amarilla		<4	<8
Rubia		4- 06	8-12
Dorada		6-10	12-20
Ámbar-rojiza		10-15	20-30
Caramelo-cobrizo		15-20	30-40
Tostada-marrón		20-30	40-60
Negra		>30	>60

**Fuente:** Picón, 2020

### 2.6.6 Amargor

El lúpulo es el ingrediente principal que proporciona este sabor a la cerveza. Aporta el amargor a partir de los  $\alpha$ -ácidos presentes en la resina del lúpulo, que durante la cocción son isomerizados. El amargor se mide en unidades IBU, de forma que 1 unidad IBU equivale a 1 ppm de  $\alpha$ -ácidos. La medición del amargor se realiza mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 275 nm. (Picón, 2020)

### 2.6.7 Anhídrido carbónico

El valor habitual disuelto en la cerveza suele oscilar entre 0,45 y 1,00 g/l. Es habitual la re-fermentación en botella, incorporando dióxido de carbono más disuelto al producto final, esta práctica se realiza habitualmente en cerveza artesanal. La determinación del dióxido de carbono, aunque no es obligatoria, siempre se realiza a

nivel industrial, tanto durante el proceso, como en el producto final. A nivel artesanal, no es habitual la determinación de este parámetro. (Picón, 2020)

## 2.7 Características microbiológicas de la cerveza artesanal

Es posible que entren microorganismos extraños a la cerveza (contaminantes) en el recorrido del mosto y de la cerveza, hasta el producto terminado. Si estos microorganismos se propagan, forman un sedimento leve en la cerveza, hasta que finalmente la enturbian y, de esta manera se realizará un plan de acción para evitar el desarrollo de contaminantes. (Picón, 2020) En la tabla 2.5 se muestra los requisitos microbiológicos para las cervezas artesanales.

**Tabla 2. 5**

### *Requisitos microbiológicos de la cerveza artesanal*

Microorganismo	Límites máximos	Unidades
Microorganismos mesófilos	100	UFC/ml
Mohos	20	UFC/ml
Coliformes y microorganismos patógenos	Ausente	UFC/ml

**Fuente:** IBNORCA, 2001

## 2.8 Aplicaciones de la cerveza en la salud

“La cerveza artesanal es percibida como un producto saludable por ser elaborado con ingredientes naturales y sin conservantes. Estas características permiten que los componentes de la cerveza permanezcan en el producto” (Lama, 2019. Pág. 20).

Según “Lama, 2019” los componentes de la cerveza relacionados con la salud son:

### Vitaminas

La cerveza contiene vitamina B, ayudan a formar glóbulos rojos. Las vitaminas B presentes en la cerveza son el niacina, riboflavina (B2), pridoxina (B6) y cobalamina (B12). La cerveza también es una importante fuente de ácido fólico (vitamina B9), esencial para el sistema nervioso y la regeneración celular. (Lama, 2019)

### **Minerales**

La cerveza posee minerales como silicio, magnesio, fósforo y potasio; asociados a la prevención de enfermedades óseas, disminución de riesgo de la enfermedad de Alzheimer y la mejora de los síntomas de la menopausia. Por otro lado, la cerveza es una bebida con muy bajo contenido en sodio, por lo que puede ser considerada una bebida opcional en la confección de dietas con bajos niveles de sal. (Lama, 2019)

### **Antioxidantes**

La cerveza contiene además antioxidantes naturales conocidos como polifenoles los cuales previenen la aparición de enfermedades cardiovasculares, ejercen una importante actividad antiinflamatoria, ayudan a prevenir el sobrepeso, la obesidad y la diabetes. (Lama, 2019)

### **Maltodextrinas**

Entre los componentes de la cerveza destacan las maltodextrinas naturales, carbohidratos complejos de absorción lenta que se metabolizan liberando progresivamente unidades de glucosa. En nutrición deportiva, las maltodextrinas facilitan una adecuada hidratación, lo que sugiere que la cerveza podría considerarse como bebida apta para ser consumida, de forma moderada, por los deportistas después de la práctica de ejercicio. (Lama, 2019)

## **2.9 Caracterización de la materia prima para elaborar cerveza artesanal**

La caracterización de la materia prima para elaborar cerveza se detalla a continuación:

### **2.9.1 Valoración nutricional de la cebada**

La cebada tiene gran valor nutricional ya que es una fuente rica en vitaminas del grupo B lo cual se encarga de regular el colesterol, ayuda al corazón, protege el sistema nervioso, combate la depresión y la ansiedad, contiene también vitamina K y ácido fólico. Además, contiene minerales favorecedores como lo es el potasio, el magnesio y el fósforo y algunos oligoelementos como el cobre, azufre, yodo, zinc y hierro.

(Agudelo & Vargas, 2018). En la tabla 2.6 se observan la composición química de la cebada.

**Tabla 2. 6**

*Composición química de la cebada*

<b>Principios inmediatos</b>	<b>Contenido en porcentaje (%)</b>
Agua	13,000
Hidratos de carbono	76,000
Grasas	1,100
Proteínas	7,500
Cenizas	1,200
Potasio	0,364
Sodio	0,028
Calcio	0,040
Fosforo	0,395
Magnesio	0,120
Hierro	0,047

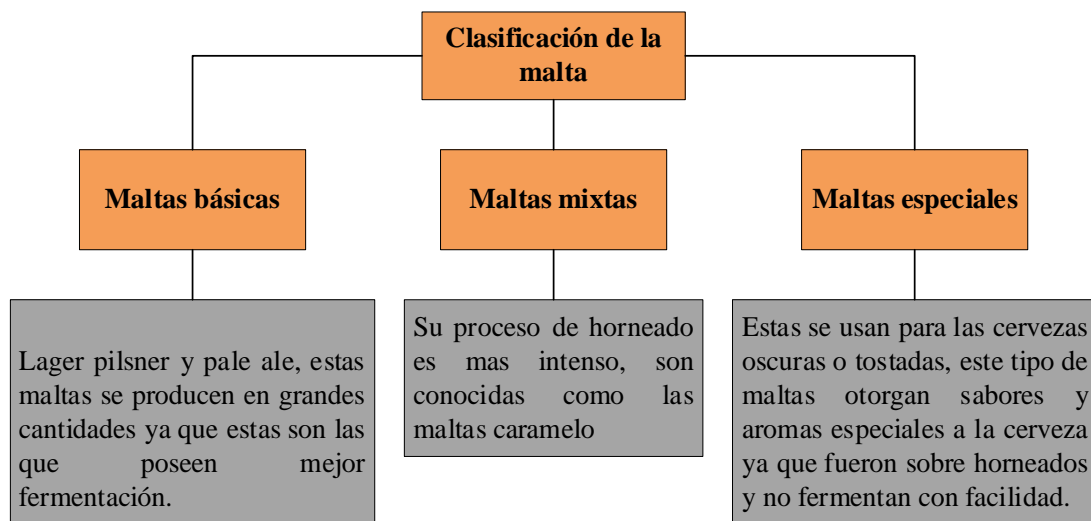
**Fuente:** Agudelo & Vargas, 2018

### **2.9.2 Cebada malteada para la elaboración de cerveza**

La cebada se convierte en malta, este proceso es de gran importancia ya que la malta es la base de la cerveza y se requiere que tenga ciertas características como tener altos porcentajes de almidón y baja en proteínas necesaria para obtener una cerveza de calidad. El procedimiento de malteado es lo que hace que se liberen las enzimas necesarias para la producción de azúcares durante el proceso de elaboración de la cerveza, los cuales son necesarios para producir el alcohol en la etapa de fermentación. (Agudelo & Vargas, 2018)

### **2.9.3 Clasificación de la malta**

La malta se puede clasificar de diferentes formas, algunas utilizan en el nombre de los lugares donde fueron realizadas por primera vez (Múnich, Viena, Pilsner), otras utilizan el nombre de los sabores o aromas que aportan (malta chocolate, malta cristal, malta ahumada, malta de miel) y otras utiliza el color que poseen (malta pale, malta mild). (Agudelo & Vargas, 2018)



**Fuente:** Agudelo & Vargas, 2018

**Figura 2.2** Clasificación de la cebada

## 2.10 Caracterización de los insumos alimentarios para la elaboración de cerveza artesanal

Los insumos utilizados en la elaboración de cerveza artesanal son los siguientes.

### 2.10.1 Agua

El agua es un elemento esencial en la elaboración de la cerveza (90% al 95% de su composición) por lo que ha de ser pura, potable, y libre de sabores y olores extraños. El agua contiene una serie de sales que influyen de forma definitiva en la calidad de la cerveza. Los minerales de mayor interés en la bebida son: calcio, sulfatos y cloruros. El calcio aumenta el extracto tanto de malta como de lúpulo, reduce la turbiedad y rebaja el color; los sulfatos refuerzan el amargo y la sequedad del lúpulo; y, finalmente, los cloruros desarrollan un mayor dulzor. Otras sales que participan son el zinc y el sodio. (Agudelo & Vargas, 2018)

“En la actualidad es posible recrear cualquier tipo de agua por medio de tratamientos físico-químicos como los son osmosis inversa, adición de sales minerales, entre otros” (Agudelo & Vargas, 2018. Pág.32).



### **Dureza del agua**

La dureza del agua es la concentración de minerales que hay en una determinada cantidad de agua en particular el contenido de calcio y magnesio, si una cantidad de agua posee un alto contenido de estos minerales se denomina “dura” de lo contrario es de baja dureza “blanda”. Por lo general el agua blanda es ideal para cervezas claras y las de alta dureza son ideales para las cervezas oscuras. (Agudelo & Vargas, 2018)

### **pH del agua**

El pH es un factor importante en la fermentación, debido al control que ejerce frente a la contaminación bacteriana, así como en el crecimiento de las levaduras, la velocidad de fermentación y la producción de alcohol. La variación del pH durante el proceso de fermentación es debido a la transformación de los aminoácidos por pérdida de nitrógeno, pasando a ácidos, lo cual origina una disminución del pH del medio. Otro factor que puede originar una variación de pH es la producción de dióxido de carbono en la fase de fermentación aerobia. (Agudelo & Vargas, 2018)

## **2.10.2 El lúpulo**

Planta trepadora de la familia de las cannabáceas, con tallos sarmentosos de tres a cinco metros de largo, hojas parecidas a las de la vid. Los frutos, desecados, se emplean para aromatizar y dar amargo a la cerveza. De sus flores, se extrae la lupulina, la cual es la responsable del sabor amargo y el aroma característicos de la cerveza. Existen gran variedad de lúpulos, unas más o menos amargos, ricos en elementos ácidos y otros más ricos en elementos aromáticos. (Agudelo & Vargas, 2018)

Según (Agudelo & Vargas, 2018), afirman que “el lúpulo tiene que conservarse en un lugar fresco, en forma de extracto o concentrado, se encuentra en su mayoría en pellets; esta es la forma más utilizada por la mayoría de cerveceros ya que proporciona una buena conservación de los ácidos alfa y aceites esenciales.” (Pág. 29). En la figura 2.3 se muestra los pellets de lúpulo Cascade y Styriam Golding.



**Fuente:** Lúpulos Patagónicos, 2021

**Figura 2. 3** Pellets de lúpulo Cascade y lúpulo Styriam Golding

### **2.10.3 Adjunto cervecero utilizado en la elaboración de cervezas artesanales**

Para los cerveceros artesanos, lo más importante son las cualidades que cada ingrediente aporta al producto final, los adjuntos son fuentes de almidón o azúcares simples. Los cereales adjuntos malteados utilizados en la fabricación de cerveza son el trigo, la avena y el centeno, por otro lado, están los adjuntos líquidos que son los caramelos, jarabes, azúcar invertido, etc. Normalmente se encuentran presentes en ciertos estilos de cerveza, pero no son muy habituales. Normalmente son añadidos después de la maceración durante el proceso de cocción. En general los adjuntos se utilizan en proporciones del 5% - 10% como máximo, con el objetivo de aportar determinados matices al producto final. (Sancho, 2015)

### **2.10.4 La levadura**

Según (Agudelo & Vargas, 2018) “levadura es un nombre genérico que agrupa a una variedad de organismos unicelulares de tipo eucariota, incluyendo especies patógenas para plantas y animales, así como especies no solamente inocuas sino de gran utilidad, clasificados como hongos.” (Pág. 30). En la figura 2.4 se muestra Levadura para elaborar la cerveza tipo Belgian Golden Strong Ale.



**Fuente:** Fermentis, 2020

**Figura 2.4** Levadura para elaborar cerveza tipo Belgian Golden Strong Ale

#### 2.10.4.1 Tipos de levadura para la elaboración de cerveza artesanal

Existen dos tipos principales de levadura para la elaboración de cerveza, para el tipo ale y tipo lager las cuales se diferencian por ser de alta y baja fermentación respectivamente, esto hace referencia a su propensión de flocular en la parte superior o inferior del fermentador antes de terminar el proceso, ambas levaduras aportan características importantes en la cerveza ya sea en sabor, aroma y la sensación que deja en la boca después de tomado el producto. (Agudelo & Vargas, 2018)

##### ✚ Levadura ale (*Saccharomyces cerevisiae*)

Esta levadura es de alta fermentación trabaja a una temperatura de fermentación templada, entre 18 y 24°C. Flocula hacia la parte superior, su fermentación es más rápida. Esta fermentación promueve la creación de subproductos que afectan el sabor y el aroma de la cerveza de forma positiva. El subproducto principal son los ésteres, que dan a la cerveza sabores afrutados y fenoles, que a su vez otorgan sabores especiados. (Agudelo & Vargas, 2018)

##### ✚ Levadura lager (*Saccharomyces Pastorianus*)

Las levaduras lager fermentan a bajas temperaturas, entre 7 y 12°C, Además, son capaces de fermentar ciertas cadenas largas de azúcares que las ales no pueden fermentar. Asimismo, las temperaturas bajas de fermentación inhiben la producción de

ésteres y fenoles, dando a las cervezas un perfil limpio, sin notas especiadas o afrutadas derivadas de la levadura. Sin embargo, el proceso de fermentación de la levadura es más lento, por lo que requiere un condicionamiento mucho más largo, a temperaturas cercanas a 0°C. (Agudelo & Vargas, 2018)

## **2.11 Descripción tecnológica del proceso de elaboración de la cerveza**

La producción del mosto es la parte más importante del proceso, este se divide en tres grandes rubros que son: limpieza y molienda del grano, maceración y ebullición, y enfriamiento los cuales dependen exclusivamente del tipo de cerveza que se piensa elaborar, debido a que según la clase de cerveza varía la cantidad y tipo de materia prima. Esta es una de las causas principales por las cuales existen tantas variedades de cerveza. (Martínez, 2019)

- ✚ Tipo y naturaleza del agua cervecera
- ✚ Tipo y naturaleza de levadura cervecera
- ✚ Tiempos y temperaturas en cocimiento
- ✚ Tiempos y temperaturas en fermentación

### **2.11.1 Molienda del grano**

El proceso de molienda dependerá del tipo de cerveza a producir. Este proceso es de suma importancia ya que en ella se debe tener un balance entre las fracciones de molienda para tener un proceso de maceración lo más óptimo posible. Las fracciones de molienda son 4: Cascarilla, Sémola Gruesa, Sémola Fina y harina. La molienda consiste en triturar el grano, respetando la cascarilla o envoltura (ya que se ocupará como lecho filtrante) y provocando el rompimiento del grano sin llevarlo todo a ser harina ya que puede afectar el proceso de filtración del mosto. (Martínez, 2019)

### **2.11.2 Maceración y cocción**

Fase del proceso donde se extraen de la malta y eventualmente de los granos crudos la mayor cantidad de extracto y de la mejor calidad posible en función al tipo de cerveza.

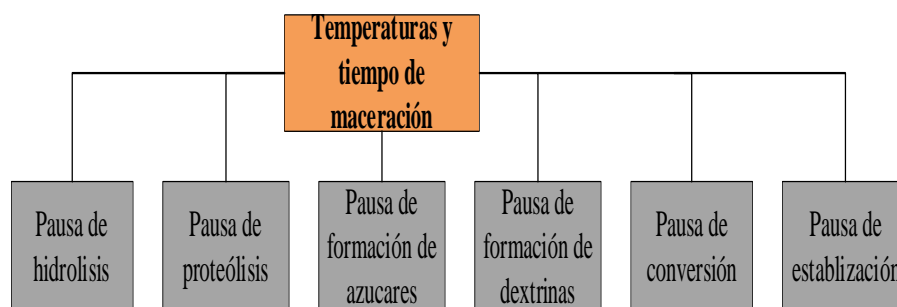
La extracción se logra principalmente por hidrólisis enzimática, solo un 10% de la extracción es debida a una simple disolución química. Las amilasas desdoblan el almidón en dextrinas y maltosa, principalmente las enzimas proteolíticas desdoblan las proteínas complejas en materia nitrogenada solubles, etc. (Martínez, 2019)

Según (Martínez, 2019) “Estas transformaciones han sido ya empezadas durante el malteado a un ritmo mucho menos intenso del que sucederá en el cocimiento. Cuantitativamente el desdoblamiento del almidón en azúcares y dextrinas es más importante” (Pág. 43).

El almidón contiene dos polisacáridos diferentes: amilosa y amilopectina: la amilosa está constituida por cadenas rectilíneas de glucosa con uniones  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 existiendo también  $\alpha$ -1,3. Para desdoblar el almidón se necesitan varias amilasas siendo las principales las  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas. (Martínez, 2019)

### 2.11.2.1 Temperaturas y tiempos tradicionales de maceración

Cada cervecería utiliza el sistema de maceración que más le conviene según las materias primas y los equipos de que se dispone, y según la cerveza que se desea elaborar. Para lograr esto se busca favorecer determinadas reacciones enzimáticas dejando las masas a determinadas temperaturas durante algún tiempo. Este tiempo que dura la masa a determinada temperatura se le llama pausa. (Martínez, 2019). En la figura 2.5, se muestra las temperatura y tiempo durante la maceración.



**Fuente:** Martínez, 2019

**Figura 2.5** Temperaturas y tiempo de maceración

Según (Martínez, 2019) “afirma que las pausas comunes en los diferentes sistemas de maceración son” (Pág. 46).

#### **Pausa de hidrolisis**

Esta pausa varía entre 10 y 20 minutos y de los 25 a 30 °C, y se realiza cuando se termina de cargar el macerador o mash- tun con la malta molida con el agua.

#### **Pausa de proteólisis**

A 45°C es la temperatura óptima para la actividad de la peptidasa, es decir para la formación de aminoácidos y péptidos simples. Esta pausa también se le conoce como peptonización y puede variar de 10 a 60 minutos.

#### **Pausa de formación de azucares**

De 55 a 62,5 °C es la temperatura óptima para la formación de maltosa o sea para la actividad de la  $\beta$ -amilasa variando entre 5 a 20 minutos, aquí aún hay algo de actividad proteolítica y algo de actividad de la  $\alpha$ -amilasa.

#### **Pausa de formación de dextrinas**

67 a 72,5 °C a esta temperatura se tiene la máxima actividad de la  $\alpha$ -amilasa produciéndose una gran cantidad de dextrinas, con un tiempo que varía entre los 5 y 30 min.

#### **Pausa de conversión**

Esta pausa la mayoría de veces es idéntico al anterior, pero sirve para completar todas las actividades enzimáticas, con una duración máxima de 30 minutos entre 70 y 74 °C.

#### **Pausa estabilización de masa**

Se realiza para inactivación total de las enzimas, hay una ligera actividad de la  $\alpha$ -amilasa, pero se va destruyendo. Con esta pausa se termina la maceración, posteriormente se pasará la masa a la paila de filtración o filtro prensa para separar los afrechos. Esta pausa con un promedio de duración entre 5 a 20 minutos es importante

para regular la viscosidad del mosto durante la filtración, se lleva a una temperatura de entre 74 y 77,5°C

En la tabla 2.7, se muestra la actividad enzimática en función a la temperatura de maceración.

**Tabla 2. 7**

*Actividad enzimática en función de la temperatura de maceración*

<b>Enzima</b>	<b>Intervalo óptimo de temperatura (°C)</b>	<b>Intervalo óptimo pH</b>	<b>Función</b>
Fitasa	30 - 52	4,4 - 5,5	Baja el pH del mosto
Beta glucanasa	36 - 45	4,5 - 5,0	Reduce la viscosidad del mosto, y mejora la clarificación.
Peptidasa	46 - 57	4,6 - 5,2	Produce Amino nitrógeno libre (FAN), que es esencial para la levadura y fermentación
Proteasa	46 - 57	4,6 - 5,2	Rompe proteínas grandes y reduce la turbiedad.
Beta amilasa	54 - 65	5,0 - 5,6	Produce azúcares cortas, altamente fermentables.
Alfa amilasa	68 - 75	5,3 - 5,8	Produce azúcares de larga cadena, poco fermentables, que agregan cuerpo a la cerveza

**Fuente:** Martínez, 2019

### 2.11.3 Filtrado del mosto

Es necesario separar el mosto de la parte insoluble llamada bagazo. La operación se realiza en dos fases, primero el flujo del mosto y luego la operación de lavado del extracto que contiene el orujo. El mosto y el agua de lavado deben ser claros pues si se aporta durante la operación demasiadas sustancias mal disueltas, la clarificación de la cerveza será demasiado difícil. La calidad de la cerveza también puede ser alterada por un lavado de orujo con agua alcalina pues los polifenoles y sustancias amargas de la cáscara de la malta se disuelven muy fácilmente en agua alcalina aún más si se tiene en cuenta que el lavado se hace con agua a una temperatura máxima de 75 °C. La

temperatura es muy importante no excederse de 75 °C pues se corre el riesgo de disolver el almidón presente aun en el orujo, lo que generaría problemas de turbiedad y fermentación posteriores. (Martínez, 2019)

#### **2.11.4 Ebullición del mosto**

La finalidad de la ebullición es estabilizar enzimática y microbiológicamente el mosto y buscar la coagulación de las proteínas. La coagulación de las materias proteínicas debe hacerse lo mejor posible, pues si subsisten en el mosto ocasionarían problemas en la fermentación y provocando fácilmente turbiedad en la cerveza embotellada. La destrucción de las enzimas es realizada para evitar que sigan desdoblado a lo largo de la fermentación, las amilasas podrían seguir desdoblado las dextrinas y esta se transformaría totalmente en alcohol. La vigorosidad de la ebullición influye también en la coagulación, mas no en la desnaturalización de las enzimas. La coloración también aumenta sobre todo por la formación de melanoidinas, también por oxidación de taninos, estas dos reacciones son favorecidas por el pH elevado. Por último, a lo largo de la ebullición se forman productos reductores que contribuyen a la calidad y estabilidad de la cerveza. El lupulado del mosto se realiza tradicionalmente durante esta operación, es decir en la paila de ebullición el amargor es obtenido por isomerización de los ácidos y del lúpulo; esta isomerización es completa debido principalmente al pH del mosto, el pH óptimo de isomerización es 9. (Martínez, 2019)

#### **2.11.5 Enfriamiento del mosto**

Durante el enfriamiento un nuevo precipitado de polifenoles-proteínas se forma (se conoce como trub frio), por un lado, por enlaces de hidrogeno y también por la falta de solubilidad de las prolaminas. El mosto enfriado en principio estéril, debe ser aireado antes del inicio de la fermentación de no ser así la tasa de mortalidad levuriana aumentaría a tal punto que la levadura no podría ser reutilizada, la oxigenación del mosto antes de la fermentación permite sintetizar ácidos grasos insaturados, oleicos, linoleicos y linolénicos), en ausencia de estos ácidos grasos la pared celular está sujeta

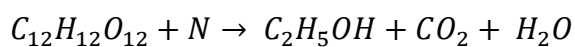


a alteraciones lo cual lo hace más permeable a los esteres correspondientes a los alcoholes superiores que ella misma forma. (Martínez, 2019)

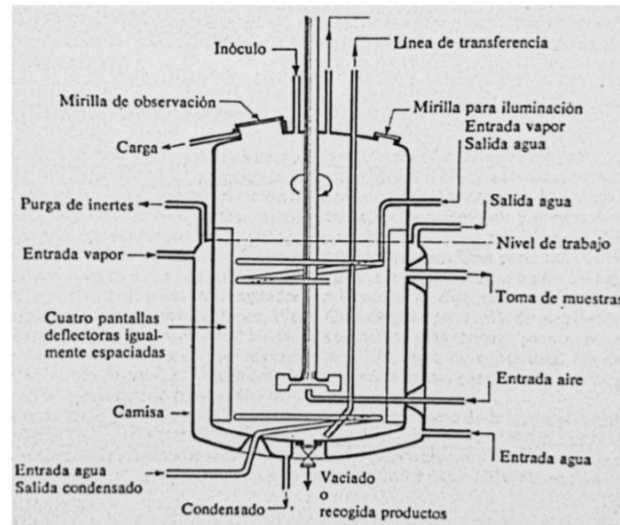
### **2.11.6 Fermentación alcohólica de la cerveza**

La fermentación en realidad es muy compleja, ya que se compone de aproximadamente de unas 2000 reacciones químicas. Para el correcto ajuste de la reacción, debemos tener en cuenta que las relaciones entre los productos y los reactivos son valores celosamente salvaguardados por las industrias cerveceras. (Gisbert, 2019)

De modo que la reacción básica (simplificada) quedaría de la siguiente forma:



Ha de tenerse en cuenta que, aunque la levadura produce el etanol en condiciones anaerobias; al trasvasar el mosto al fermentador se añade una porción de aire cuyo oxígeno, aunque esencial para que las células sintetizen esteroides y ácidos grasos insaturados; compuestos que forman las membranas celulares y por tanto completamente necesarias durante la fase de crecimiento de la biomasa; también puede llegar a producir ácido acético que dota a la cerveza de un olor y un sabor desagradable. Las primeras fermentaciones de las que se tiene constancia, se realizaban en discontinuo y se realizan en recipientes metálicos o de piedra. Industrialmente siempre se trabaja con fermentadores de acero inoxidable cuyo diseño ha sufrido algunos cambios desde su origen, todos ellos destinados a la mejora del proceso, hasta que se ha llegado a la producción de cerveza en continuo. Independientemente de la forma, las principales características con las que debe contar este tipo de equipamiento son que tenga el fondo plano, una salida para la extracción de la cerveza y alguna forma de refrigeración para mantener la temperatura. (Gisbert, 2019). En la figura 2,6 se muestra las partes de un fermentador.



**Fuente:** Gisbert, 2019

**Figura 2.6** Esquema de las partes de un fermentador

Artesanalmente la fermentación, se lleva a cabo en una cuba con una tapa hermética a la que se le añade la trampa de aire ('airlock'). Un recurso frecuentemente utilizado son las damajuanas de vidrio o de plástico que permiten observar que está ocurriendo en su interior, siempre y cuando se asegure mantener el régimen de temperaturas del proceso. (Gisbert, 2019). En la figura 2,7 se muestran ejemplos de damajuana de vidrio usadas para la fermentación artesanal.







**Fuente:** Gisbert, 2019

**Figura 2. 7** Ejemplos de damajuana de vidrio

### 2.11.7 Clarificación de la cerveza






Después de la fermentación la cerveza queda extremadamente turbia debido a la presencia de la levadura y el velo coloidal que se forma y se precipita fuera de la solución debido a las temperaturas frías, a la caída del pH y a la más baja insolubilidad dentro de soluciones de alcohol. (Martínez, 2019)

Diversas técnicas de procesamiento para la clarificación (Martínez, 2019) son.

-  Sedimentación por gravedad
-  Filtración
-  Centrifugación
-  Filtración final

### 2.11.8 Maduración

En este proceso se lleva a cabo diversas funciones de la elaboración posterior a la fermentación primaria, y previas al envasado. Son cinco las funciones que se llevan a cabo:

-  Carbonatación
-  Resistencia al frío y estabilización
-  Clarificación
-  Normalización
-  Maduración del sabor.

La función más importante es la maduración del sabor. Las demás funciones tienen una importancia secundaria. Cada una puede alcanzarse mediante varios procesos distintos. En muchos casos, cada función puede lograrse a través de procesos más o menos independientes entre sí. Existe una gran variedad de constituyentes químicos que se

han identificado en la cerveza. Algunos de estos aumentan durante la maduración, algunos disminuyen y otros permanecen iguales. Tres reacciones tienen gran influencia sobre la maduración del sabor: la reducción en la concentración de ácido sulfhídrico, de acetaldehído y de diacetilo. (Martínez, 2019)

#### **2.11.9 Carbonatación**

El nivel de dióxido de carbono en la cerveza, después de fermentaciones normales y no a presión, es de 1,2 a 1,7 volúmenes de CO<sub>2</sub> por volumen de cerveza. La práctica habitual es elevar el porcentaje de 2,5 a 2,8 v/v antes de envasar. (Martínez, 2019)

#### **2.11.10 Envasado**

En el proceso industrial donde la cerveza se esteriliza y gasifica de forma artificial. En el proceso artesanal, se deja actuar a la levadura dentro de la botella para que madure (evolucione en sabores) y se gasifique de forma natural. La cerveza se envasa en botellas de vidrio, latas de aluminio y barriles de acero inoxidable. Finalmente, se rotulan los envases según la marca. (Martínez, 2019)

**CAPITULO III**  
**DISEÑO EXPERIMENTAL**

### 3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación y las pruebas experimentales de “Cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale se realizaron en el Laboratorio Taller de Alimentos “LTA” y en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos; dependientes del departamento de Biotecnología y Ciencias de los Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

### 3.2 Equipos utilizados en el proceso de elaboración de cerveza artesanal

Los equipos que se utilizaron para el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

#### 3.2.1 Balanza digital

La balanza digital (figura 3.1), se encuentra en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, se utilizó para el pesado de la malta y azúcar

Especificaciones técnicas	
Marca	Kern
Capacidad Max	30 kg
Lectura	1g
Numero de pieza	FCF 30K-3



**Fuente:** LCIA, 2021

**Figura 3. 1** Especificaciones técnicas de la balanza digital

### 3.2.2 Molinillo manual de granos

El molinillo (figura 3.2), se utilizó para moler el grano de cebada con el fin de facilitar la extracción de los azúcares de la malta en el proceso de la maceración del mosto.

Especificaciones técnicas	
Marca	Carol
Modelo	5948
Material	Hierro
Ancho	16 cm
Largo	34 cm
Altura	42 cm



**Fuente:** LCIA, 2021

**Figura 3. 2** Especificaciones técnicas del molinillo manual de granos

### 3.2.3 Cocina industrial

La cocina (figura 3.3), se utilizó para acondicionar el agua para el proceso de maceración y para la concentración del mosto mediante cocción y para esterilizar las botellas de vidrio.

Especificaciones técnicas	
Marca	Todo Inox S.R. L
Modelo	Cocina 2 Ollas
Material	Acero inoxidable




**Fuente:** LCIA, 2021

**Figura 3. 3** Especificaciones técnicas de la cocina industria

### 3.2.4 Freezer

El freezer (Figura 3.4), se utilizó para madurar la cerveza y refrigerar las muestras e insumos como ser la levadura y el lúpulo.

Especificaciones técnicas	
Marca	Arctic King
Modelo	AFD11A4W de 11 pies cúbicos
Peso	51 kg
Voltaje	220-240 V
Frecuencia	40-50 Hz
Refrigerante	R600a




Fuente: LCIA, 2021

**Figura 3. 4** Especificaciones técnicas del freezer Artic King

### 3.2.5 Balanza Analítica de precisión

La balanza analítica (figura 3.5) se usó para pesar el lúpulo, levadura y los picnómetros para determinar las densidades del mosto y la cerveza final.

Especificaciones técnicas	
Marca	RADWAG
Modelo	AS 310/ R2
Carga máxima	310g
carga mínima	10 mg
Calibración	Interna automática



Fuente: LCIA, 2021


**Figura 3. 5** Especificaciones técnicas de la balanza analítica de precisión



### 3.2.6 pH-metro

El pH-metro, se utilizó para medir el pH del mosto y del producto el terminado.

Especificaciones técnicas	
Marca	HORIBA
Modelo	LAQUA PH1300
Rango de pH	-2.000 a 20.000 pH
Resolución	0,1, 0,01, 0,001 pH
Puntos de calibración	hasta 5
Opciones buffer	EE. UU, NIST, personalizado




Fuente: LCIA, 2021

**Figura 3. 6** Especificaciones técnicas del pH metro

### 3.2.7 Cooler

El cooler (figura 3.7), se utilizó para macerar el mosto manteniendo la temperatura requerida para el proceso de maceración durante una hora y también como dispensador para envasar la cerveza.

Especificaciones técnicas	
Marca	PRUDENCE
Modelo	TPX-2013
Dimensiones	30 x 50 cm
Capacidad	20 L / 5 Gal.




Fuente: LCIA, 2021

**Figura 3. 7** Especificaciones técnicas del cooler

### 3.2.8 Refractómetro

El refractómetro (figura 3.8), se utilizó para medir los sólidos solubles (°Brix) en el mosto y el producto terminado

Especificaciones Técnicas	
Marca	KRUSS
Escala	Brix
Rango de medición	0 - 32




**Fuente:** LCIA, 2021

**Figura 3. 8** Especificaciones técnicas del refractómetro

### 3.2.9 Chapadora doble palanca

La chapadora (figura3.9), se utilizó en el proceso de envasado para coronar las tapas de las botellas.

Especificaciones técnicas	
Categoría	Embotellamiento
Etiqueta	Chapadora
Información adicional	Corona de 26mm
Marca	LQKYWNA
Material	Plástico, acero inoxidable




**Fuente:** LCIA, 2021

**Figura 3. 9** Especificaciones técnicas chapadora doble palanca

### 3.2.10 Turbidímetro Lovibond TB 210 IR

El turbidímetro (figura 3.10), se utilizó para medir la turbidez de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, en el producto terminado.

Especificaciones técnicas	
Elementos ópticos	LED, filtro ( $\lambda=860\text{NM}$ )
Principio	Principio nefelométrico
Campo de medición	0,01- 1100NTU
Condiciones	5-40°C



**Fuente:** LCIA, 2021

**Figura 3. 10** Especificaciones técnicas del turbidímetro Lovibond TB 210 IR

### 3.3 Materiales de laboratorio para la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

En la tabla 3.1, se indica los materiales de laboratorio que se utilizaron para el desarrollo del presente trabajo.

**Tabla 3. 1**

*Materiales de laboratorio para la elaboración de cerveza artesanal*

Materiales	Capacidad	Unidades	Material
Fuentes	Mediano		Acero inoxidable
Ollas	7	L	Aluminio
Colador	Mediano	---	Plástico
Embudo	Mediano	---	Plástico
Damajuanas	5	L	Vidrio
Termómetro	100	°C	Vidrio
Picnómetros	50	ml	Vidrio
Air locks	Pequeño	---	Plástico
Matraces Erlenmeyer	500	ml	Vidrio
Manguera	10	m	Plástico
Tapones	4,2	cm	Goma
Tapones	2,2	cm	Goma

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4 Insumos alimentarios

En la tabla 3.2, se muestran los insumos que se utilizaron para el desarrollo del presente trabajo.

**Tabla 3. 2**

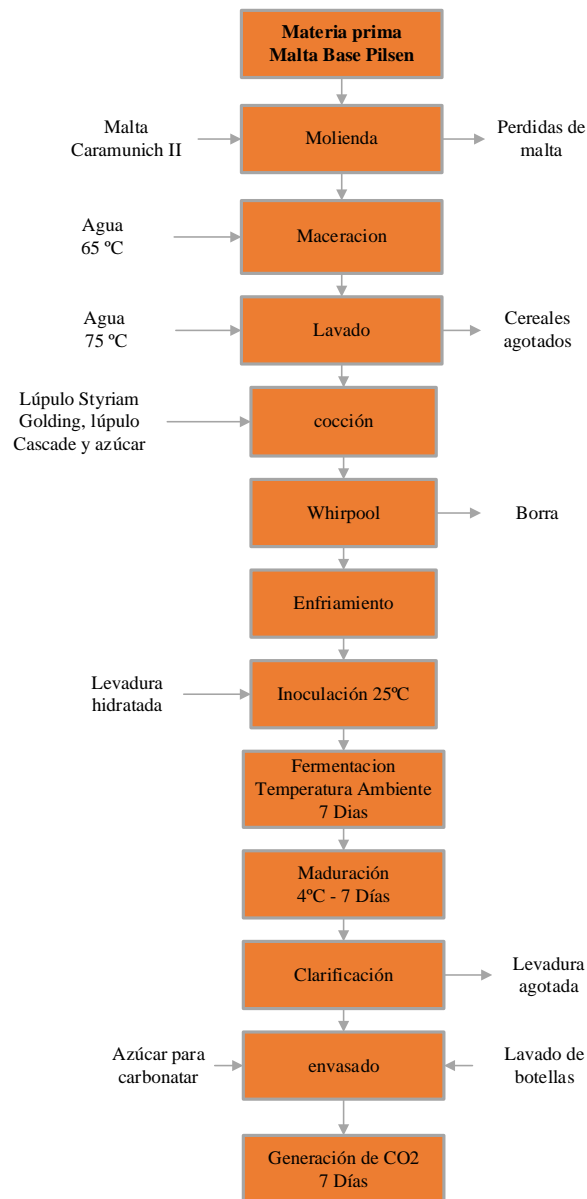
*Insumos alimentarios para la elaboración de cerveza artesanal*

Insumos	Cantidad (kg)	Procedencia	Marca
Azúcar	20	Bermejo	I.A.B.S. A
Levadura Safe Ale T-58	1	Buenos Aires	Fermentis
Lúpulo Styriam Golding	1	Buenos Aires	Lúpulos Patagónicos
Lúpulo Cascade	1	Buenos aires	Lúpulos Patagónicos
Malta especial Caramúnich II	1	Buenos Aires	WEYERMANN

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5 Proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

En la figura 3.11 se muestra el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 11** Proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

### **3.6 Descripción del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale**

El proceso de elaboración a nivel experimental de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale se describe a continuación.

#### **3.6.1 Materia prima**

La materia prima utilizada para la elaboración de cerveza artesanal fue malta Pilsen y malta Caramunich II para coadyuvar en el color de la cerveza.

#### **3.6.2 Molienda**

El proceso inició con la molienda en seco de la malta, para esto se utilizó un molinillo manual de granos, cuyo fin es romper los granos y de esta manera generar una mayor superficie de contacto entre los granos y el agua, facilitando la extracción de los azúcares fermentables durante la etapa de maceración.

#### **3.6.3 Maceración**

Es una de las etapas más importantes ya que en esta parte del proceso se alcanzó la extracción de los azúcares que se llevaron a transformar en alcohol, para esto se llevó a 65 °C el agua en una olla, luego se llevaron las maltas a un cooler con una tela filtro malla y se agregó el agua (65 °C) y se dejó macerar por una hora, cuidando de tener bien cerrado el cooler para evitar pérdidas de calor, la relación de malta y agua fue 1:5.

#### **3.6.4 Lavado**

El lavado del grano consistió en extraer los azúcares que aún permanecen en la malta después de extraer el mosto de la maceración, para esto se agregó agua a 75 °C.

#### **3.6.5 Cocción**

Es la etapa donde se concentra el mosto, el tiempo de concentración se considera desde el inicio de la cocción hasta transcurrir una hora, mediante la ebullición se evapora el agua y se alcanza un aumento en los sólidos solubles (°Brix) del mosto, también en esta parte del proceso se agrega en un 10% azúcar (500 g de azúcar para 5000 g de mosto)

y se agregó el lúpulo styriam Golding y lúpulo Cascade durante la cocción en tres diferentes tiempos; a los 30 minutos 2 g de lúpulo Styriam Golding, a los 45 minutos 2 g de lúpulo Styriam Golding y para finalizar a los 55 minutos 4 g de lúpulo Cascade.

Los lúpulos en pellets provenientes de la empresa “Lúpulos Patagónicos” provenientes de Buenos Aires, se agregaron sin previo acondicionamiento de manera directa que se disolvieron durante la ebullición del mosto.

### **3.6.6 Whirlpool**

Es una parte pequeña del proceso que se realiza después de la cocción, donde se realiza un movimiento circular en la olla con la ayuda de una paleta o cucharón, esto se hace para ayudar a decantar el lúpulo ya agotado y el polvillo que queda de la malta.

### **3.6.7 Enfriamiento**

Se acondiciona el mosto a 25 °C, temperatura óptima para la inoculación, para esto se procedió a enfriar el mosto en un baño María de (94 a 25) °C, ya que mientras el mosto queda en la olla expuesto por mucho tiempo existe el riesgo de contaminación del mosto.

### **3.6.8 Inoculación**

Para inocular se realiza un previo acondicionamiento del mosto y la levadura, se baja la temperatura del mosto a 25 °C en baño maría, la levadura se activa mediante hidratación con 50 ml de agua pasteurizada a 25 °C se lleva el mosto al fermentador y se agrega la levadura Safe ale T- 58 de la empresa Fermentis, la levadura fue adquirida en el mercado de Buenos Aires. Después de la inoculación se agita manualmente la damajuana (fermentador) para oxigenar el mosto y favorecer el desarrollo de las levaduras, se deja el fermentador bien cerrado ya que la fermentación es un proceso anaerobio y para esto se usa una trampa de aire (airlock) para evitar que entre aire y permitir que se libere el anhídrido carbónico generado por las levaduras.

### **3.6.9 Fermentación**

Se dejó el fermentador durante 7 días en un área oscura del laboratorio para evitar los cambios de temperatura generada por la luz directa, durante el proceso fermentativo se realizó la toma de datos para la determinación del porcentaje de alcohol y el seguimiento de la fermentación mediante curvas de control (Anexo C).

El resultado se llama cerveza joven (jungbier) esta bebida ahora ya no es mosto, es cerveza, aunque es muy turbia, un poco parecida a la chicha, y todavía contiene muchos productos laterales de la fermentación. Ellos pueden producir dolor de cabeza o causar un olor poco agradable. Por lo tanto, se procedió a madurar la cerveza.

### **3.6.10 Maduración**

La maduración se realizó en el freezer a una temperatura de 4 °C con el fin de estabilizar y clarificar la cerveza, la maduración duró 7 días.

### **3.6.11 Clarificación**

La cerveza no fue filtrada debido a la falta de equipos de presión, la clarificación de la cerveza se realizó mediante decantación en frío a 4 °C y se realizó un trasvase después de la maduración, eliminando el sedimento (levadura agotada).

### **3.6.12 Envasado**

La cerveza no fue pasteurizada, debido a que se realizó una carbonatación natural, para el envasado se esterilizó las botellas mediante ebullición directa en agua durante 5 minutos y se realizó un almíbar para pasteurizar el azúcar que se añadió a la cerveza antes de envasar, para esto se agregó en un pequeño recipiente 6g de azúcar por litro de cerveza, disuelto en 50 ml de agua.

En el envasado se utilizó el cooler que tiene un grifo que ayudó a dispensar el líquido a las botellas evitando la exposición al aire y oxidación de la cerveza, se taparon las botellas con una chapadora manual de doble palanca, las tapas que se usaron fueron tapas corona de lata para cerveza.



### 3.6.13 Generación de dióxido de carbono

Las botellas envasadas se almacenan durante siete días con el fin de generar el anhídrido carbónico en la cerveza, debido al suministro de azúcar que se añadió en el envasado para que las levaduras que aún están presentes en la cerveza puedan consumir el azúcar y generar el gas (CO<sub>2</sub>), después de 7 días la cerveza adquirió la carbonatación deseada, concluyendo el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale. Al producto terminado se realizó el análisis de control de calidad, medición de color, grados de amargo y turbidez (Anexo E).

## 3.7 Caracterización de las materias primas de la elaboración de Cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

Los métodos utilizados para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las materias primas y producto final de la parte experimental, se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

### 3.7.1 Propiedades físico-químicas de la malta

En la tabla 3.3, se muestran los parámetros y métodos utilizados para valorar los análisis fisicoquímicos que fueron realizados en el CEANID; dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Tabla 3. 3**

*Parámetros fisicoquímicos de la malta*

<b>Parámetros</b>	<b>Métodos</b>	<b>Unidades</b>
Azúcares totales	NB 38033:06	%
Ceniza	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Nitrógeno total	NB 311004:01	%
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968- 1:08	%

**Fuente:** CEANID, 2020

### 3.7.2 Propiedades microbiológicas de la malta

En la tabla 3.4, se muestran los parámetros que se tomaron en cuenta para el análisis microbiológico de la malta.

**Tabla 3. 4**

*Parámetros microbiológicos de la malta*

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes totales	NB 32005:02	UFC/g	$1,1 \times 10^2$
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g	$1,5 \times 10^2$

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.7.3 Propiedades físico-químicas del agua

En la tabla 3.5, se detallan los parámetros fisicoquímicos valorados del agua potable para la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.

**Tabla 3. 5**

*Parámetros fisicoquímicos del agua*

Parámetros	Métodos	Unidades
Calcio disuelto	SM 3500-Ca-D	ml/g
Cloruros	SM 4500- Cl-B	ml/g
Magnesio disuelto	SM- 3500 Mg E	ml/g
Sulfatos	SM 2130-B	ml/g

**Fuente:** CEANID, 2020

### 3.7.4 Análisis fisicoquímico del producto terminado

En la tabla 3.6, se muestran los parámetros analizados para la caracterización del producto terminado.

Tabla 3. 6

*Análisis fisicoquímico del producto terminado*

Parámetros	Método	Unidades
Grado alcohólico	NB 082:1997	°GL
Acidez total (como ac. láctico)	NB 087:1997	%
Acidez volátil (como ac. láctico)	NB 089:1997	%
Extracto fermentación real	NB 085:1997	g/100 g
Extracto aparente	NB 174:1997	g/100 g
Grado de fermentación real	NB 175:1997	°GL
Extracto de mosto original	NB 339:1997	° Plato
pH (20 °C)	NB 339:1997	
Ceniza	NB 3934:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de Carbono	Cálculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína (N x 6,25)	NB:ISO 8968-1:8	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g

Fuente: CEANID, 2021

**3.7.5 Análisis microbiológicos del producto terminado**

En la tabla 3.7, se muestran los parámetros del análisis microbiológico del producto terminado.

Tabla 3. 7

*Análisis microbiológico del producto terminado*

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Escherichia coli	NB 31005:07	UFC/ml	$< 1,0 \times 10^1$
Salmonella	NB 32007:03	P/A//25g	Ausencia

Fuente: CEANID, 2021

**3.8 Análisis organoléptico de los alimentos**

La evaluación sensorial de los alimentos es una actividad que la persona realiza desde la infancia y que le lleva consciente o inconscientemente, a aceptar o rechazar los alimentos, de acuerdo con las sensaciones experimentables al observarlos o ingerirlos. Esta puede definirse como el método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar las respuestas a los productos que son percibidas por los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído. Surge como la disciplina para medir la calidad de

los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos por parte del consumidor. (Lotufo, 2019)

En la tabla 3.8, se detallan las evaluaciones sensoriales que fueron realizadas para caracterizar las propiedades organolépticas durante el trabajo experimental y que estuvo restringido por la pandemia Covid-19.

**Tabla 3. 8**

**Evaluación sensorial de las muestras preliminares**

<b>Evaluación sensorial</b>	<b>Grupos o muestras</b>	<b>Atributos</b>	<b>Jueces</b>	<b>Test</b>
Muestras preliminares	CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB6, CB7, CB8	Espuma	12 jueces no entrenados	Test 1 (Anexo B)
		Carbonatación		
		Color		
		Aroma		
		Sabor		
		Cuerpo		
Muestra arquetipo	CB6-1, CB6-2	Espuma	12 jueces no entrenados	Test 2 (Anexo B)
		Aroma		
		Apariencia		

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.9 Diseño experimental

Según (Montgomery, 2004), afirma que el diseño experimental es una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso de manufactura. La aplicación de las técnicas del diseño experimental en las fases iniciales del desarrollo de un proceso puede redundar en:

- ✚ Mejoras en el rendimiento del proceso
- ✚ Variabilidad reducida conformidad más cercana en los requisitos nominales o proyectados.
- ✚ Reducción del tiempo de desarrollo.
- ✚ Reducción de los costos globales

El uso del diseño experimental en estas áreas puede redundar en productos cuya fabricación sea más sencilla, en productos que tengan un desempeño y confiabilidad de campos mejorados, en costos de producción más bajos y en tiempos más cortos para el diseño y desarrollo del producto. (Montgomery, 2004)

El diseño factorial utilizado en el trabajo experimental, se muestra en la ecuación 3.1:

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

✚ 2= Número de niveles

✚ K= Número de variables

### 3.9.1 Diseño factorial para la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

Para la elaboración del diseño experimental en la etapa de maceración y concentración del mosto se aplicó de acuerdo a la (Ecuación 3.2). El diseño experimental corresponde a:

corridas/ prueba

Ecuación 3.2

✚ Temperatura de maceración (°C) (A) = 2 niveles

✚ Tiempo de concentración del mosto (hr) (B) = 2 niveles

✚ Adjunto azucarero (%) (C) = 2 niveles

En la tabla 3.9, se muestra la matriz de variables en la etapa de maceración y concentración del mosto, para la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, compuesta por tres variables: temperatura (A), tiempo (B) y porcentaje (%) de adjunto azucarero (C).

**Tabla 3. 9***Matriz de variables para el proceso de maceración y concentración del mosto*

Corridas	Combinación de tratamientos	Variables			Interacción				Respuestas
		A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Yi
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-	$Y_1$
2	a	+	-	-	-	-	+	+	$Y_2$
3	b	-	+	-	-	+	-	+	$Y_3$
4	ab	+	+	-	+	-	-	-	$Y_4$
5	c	-	-	+	+	-	-	+	$Y_5$
6	ac	+	-	+	-	+	-	-	$Y_6$
7	bc	-	+	+	-	-	+	-	$Y_7$
8	abc	+	+	+	+	+	+	+	$Y_8$

**Fuente:** Elaboración propiaDonde  $Y_i$  = Porcentaje de alcohol (%)

En la tabla 3.10, se muestra los niveles de los factores (nivel superior y nivel inferior) aplicados en el proceso de maceración y concentración del mosto.

**Tabla 3. 10****Niveles de variación de los factores**

Variabes	Unidades	Nivel superior	Nivel inferior
Temperatura de maceración	°C	67,0	63,0
Tiempo de concentración del mosto	Hr	1,5	1,0
Adjunto azucarero	%	15,0	10,0

**Fuente:** Elaboración propia

**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1 Propiedades fisicoquímicas de la materia prima

La tabla 4.1, indica los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la malta.

**Tabla 4. 1**

##### *Parámetros fisicoquímicos de la malta*

Parámetro	Unidad	Cantidad
Azucares totales	%	22,63
Ceniza	%	2,24
Fibra	%	3,83
Grasa	%	1,53
Hidratos de carbono	%	75,88
Humedad	%	5,88
Nitrógeno total	%	1,70
Proteína total (Nx6,25)	%	10,64

**Fuente:** CEANID, 2020

En la tabla 4,1 se observa los valores obtenidos en el análisis fisicoquímico de la malta, los valores fueron; azucares totales 22,63 %, cenizas 2,24 %, fibra 3,83 %, grasa 1,53 %, hidratos de carbono 75,88 %, humedad 5,88 %, nitrógeno total 1,7 % y proteína total 10,64 %.

En la tabla 4.2, indica los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico del agua.

**Tabla 4. 2**

##### *Parámetros fisicoquímicos del agua*

Parámetro	Unidad	Cantidad	Limites permisible (para agua potable) Máx.
Calcio disuelto	ml/l	2,4	200
Cloruros	ml/l	0,5	250
Magnesio disuelto	ml/l	0,5	150
Sulfatos	ml/l	23,2	400

**Fuente:** CEANID, 2020

En la tabla 4,2 se muestra que en el agua se tiene la presencia de calcio disuelto 2,4 ml/l, cloruros 0,5 ml/l, magnesio disuelto 0,5 ml/l y sulfatos 23,2 ml/l.



En la tabla 4.3, indica los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de malta Pilsen.

**Tabla 4. 3**

**Análisis microbiológicos de malta Pilsen**

<b>Parámetro</b>	<b>Técnica y/o método de ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Coliformes totales	NB 32005:02	UFC/g	$1,1 \times 10^2$
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g	$5,1 \times 10^2$

**Fuente:** CEANID, 2020

En la tabla 4.3, se puede observar que contiene UFC/g de Coliformes totales y UFC/g de Mohos y levaduras.

## **4.2 Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la Cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale**

Se realizó análisis fisicoquímicos, microbiológicos y, los cuales se detallan a continuación.

### **4.2.1 Análisis fisicoquímicos de la Cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale**

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos (Anexo A) del producto terminado realizados en el centro de análisis, investigación y desarrollo (CEANID); pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la universidad “Autónoma Juan Misael Saracho”.

Tabla 4. 4

*Análisis fisicoquímicos del producto terminado*

Parámetros	Técnica y/o método del ensayo	Unidad	Resultado
Acidez total (como ac. láctico)	NB 087:1997	%	0,300
Acidez volátil (como ac. láctico)	NB 089:1997	%	0,002
Extracto aparente	NB 174:1997	g/100g	1,310
Extracto del mosto original	NB 175: 1997	°Plato	19,540
Extracto de fermentación real	NB 177: 1997	g/100g	1,320
Grado alcohólico	NB 082: 1997	°GL	7,720
Grado de fermentación real	NB 177:1997	°GL	93,370
pH (20°C)	NB 339: 1997		4,100
Ceniza	NB 3934:10	%	0,240
Fibra	Gravimétrico	%	n.d
Grasa	NB 313019:06	%	n.d.
Hidratos de Carbono	Cálculo	%	3,870
Humedad	NB 313010:05	%	95,170
Proteína (N x 6,25)	NB:ISO 8968-1:8	%	0,720
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g	72,400

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale con una acidez total de 0,300%, acidez volátil 0,002%, extracto aparente 1,310 g/100g, extracto del mosto original 19,540 °Plato, extracto de fermentación real 1,320 g/100g, grado alcohólico 7,720 °GL, grado de fermentación real 93,37 °GL, pH de 4,100, ceniza 0,240%, fibra n.d, grasa n.d, hidratos de Carbono 3,870 %, humedad 95,170 %, proteína 0,720 % y el valor energético de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale es 72,400 kcal/g.

#### 4.6.2 Análisis microbiológicos de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

La tabla 4.5 muestra los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale (Anexo A).

**Tabla 4. 5**

##### *Análisis de control microbiológico del producto terminado*

Parámetros	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Escherichia coli	NB 31005:02	UFC/g	
Salmonella	NB 32007:03	P/A/ 25g	Ausencia

**Fuente:** CEANID,2021

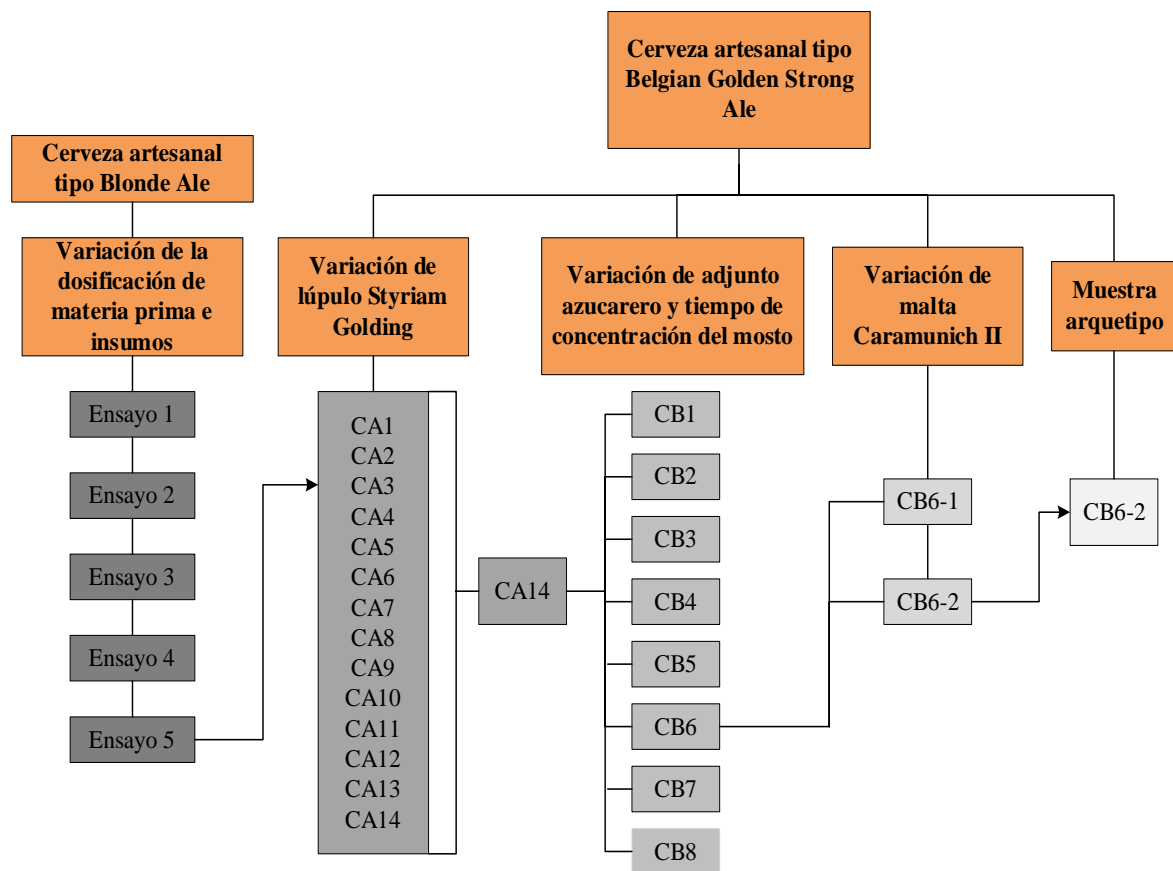
En la tabla 4.5, se puede observar los resultados obtenidos de las propiedades microbiológicas de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale el cual contiene: UFC/g de Escherichia coli y presenta ausencia de Salmonella.

#### 4.2 Caracterización de las variables del proceso para cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

Para caracterizar las variables del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

##### 4.2.1 Elección de pruebas preliminares para la obtención de la muestra arquetipo de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

Para la elección de las pruebas preliminares en la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale se realizaron cinco ensayos preliminares de cerveza artesanal tipo Blonde Ale (figura 4.1) que es una cerveza muy similar ya que tiene el mismo proceso fermentativo. En base a estos cinco ensayos se realizó una valoración de manera objetiva por parte de las personas presentes en el laboratorio y por ausencia de jueces no entrenados debido a la pandemia y dicha valoración se realizó en función a los resultados de la figura D.1 del (Anexo D).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1** Elección de muestras preliminares para la obtención de la muestra arquetipo

En la figura 4.1 se muestra la elección de las muestras preliminares para la obtención de la muestra arquetipo, se realizó cinco ensayos de una cerveza artesanal tipo Blonde Ale de la cual fue elegida el (ensayo 5), a partir de esta muestra se realizó la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale de las cuales se realizaron catorce pruebas, modificando el porcentaje de lúpulo (tabla 4.6) con el fin de caracterizar la aceptación sensorial del grado de amargor y flavor generado por los lúpulos Styriam Goldings y Cascade. De las catorce muestras se tomó la muestra CA14 donde se modificó el tiempo de concentración del mosto con el fin de obtener el grado de alcohol requerido para este tipo de cerveza. A partir de la muestra CA14 se realizaron ocho muestras donde se eligió la muestra CB6 a partir de esta muestra se obtiene la muestra CB6-1 y la muestra CB6-2 con el fin de obtener la muestra arquetipo CB6-2.

#### 4.2.2 Dosificación de materia prima e insumos para los ensayos en la elaboración de cerveza artesanal tipo Blonde Ale

Para la dosificación de las materias primas e insumos, se tuvo en cuenta las cantidades recomendadas en la tabla 4.6, en cinco ensayos distintos.

**Tabla 4. 6**

##### *Dosificación de materia prima e insumos para los ensayos*

<b>Materia prima e insumos</b>	<b>Cantidad en porcentajes (%)</b>
Malta Pale Ale	50,70
Malta Cristal	6,52
Agua	42,01
Lúpulo Cascade	0,43
Levadura Safe Ale US- 05	0,33

**Fuente:** Zainasheff & Palmer, 2007

Según la dosificación de la tabla 4.6, las maltas fueron reemplazados por la malta base Pilsen debido a la ausencia de este tipo de malta en el mercado. La malta base al igual que las maltas Pale Ale y malta Cristal es una fuente de azúcares fáciles de transformar en alcohol y la levadura Safe Ale US-05 fue reemplazada por levadura Safe Ale US-04, ambas trabajan en las mismas condiciones de temperatura para fermentar y generar el alcohol en la cerveza.

##### 4.2.2.1 Variación en la dosificación de materia prima e insumos para los cinco ensayos de la elaboración de cerveza artesanal tipo Blonde Ale

Teniendo en cuenta la dosificación recomendada de materia prima e insumos se realizó la variación de cinco ensayos que se describen en la tabla 4.7.

**Tabla 4. 7***Variación de la dosificación de materia prima e insumos para cinco ensayos*

Ensayo	Materia prima	Insumos			
	Malta Pilsen(%)	Agua (%)	Levadura (%)	Lúpulo (%)	Azúcar (%)
1	13,66	85,89	0,09	0,12	0,23
2	13,74	85,90	0,06	0,06	0,23
3	12,77	87,52	0,06	0,05	0,19
4	10,32	89,38	0,07	0,07	0,20
5	12,33	86,96	0,04	0,02	0,24

**Fuente:** Elaboración propia

Para la elaboración de cerveza artesanal tipo Blonde Ale, se realizó correcciones de la metodología de elaboración en base a los cuatro ensayos y se obtuvo el (ensayo 5) figura D.1 (Anexo D) con la formulación de malta al 12,33%, agua maceración 57,97%, agua para lavado del grano 28,99%, 0,02% de lúpulo, levadura 0,04% y azúcar para carbonatar 0,24%, para lograr un porcentaje de alcohol adecuado de 5,12 % ABV en el producto terminado; con la finalidad de establecer la técnica para desarrollar el presente trabajo.

#### **4.2.3 Variación en la dosificación porcentual de lúpulo Styriam Golding y lúpulo Cascade**

Para elaborar la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale en la cual se realizó la variación en la dosificación de lúpulo Styriam Golding y lúpulo Cascade (tabla 4.8) para un total de catorce muestras de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale; manteniendo las variables de proceso de tiempo (t) de cocción 1 hora y temperatura de maceración (65°C)

**Tabla 4. 8**  
**Variación en la dosificación de lúpulo para la elaboración de cerveza artesanal tipo**  
**Belgian Golden Strong Ale**

Muestras	Lúpulo Styriam Goldings (%)	Lúpulo Cascade (%)
CA1	0,06	0,09
CA2	0,04	0,06
CA3	0,03	0,03
CA4	0,01	0,01
CA5	0,01	0,03
CA6	0,03	0,04
CA7	0,04	0,05
CA8	0,05	0,06
CA9	0,08	0,05
CA10	0,08	0,06
CA11	0,08	0,08
CA12	0,08	0,09
CA13	0,04	0,03
CA14	0,05	0,05

**Fuente:** Elaboración propia

Se realizó la variación porcentual de lúpulo Styriam Golding y Cascade; con el fin de caracterizar los atributos de flavor y grado de amargor de esta variedad de cerveza, según la figura D.2 del (Anexo D). Realizada la valoración, se pudo constatar en base al personal del laboratorio de la Carrera de ingeniería de alimentos, en la cual eligieron la muestra CA14 por presentar un equilibrio pronunciado en el atributo amargo y flavor, que contiene 0,05% de lúpulo Styriam Golding y 0,05% de lúpulo Cascade.

#### **4.2.4 Variación en la dosificación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto**

En la tabla 4.9 se muestra la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto; con la finalidad de obtener el grado de alcohol deseado (%ABV) requerido para este tipo de cerveza. En tal sentido, se procedió a tomar en cuenta la (muestra CA14), que tiene la misma composición del (ensayo 5).

**Tabla 4. 9***Variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto*

<b>Muestra</b>	<b>Tiempo de concentración del mosto (hr)</b>	<b>Adjunto Azucarero (%)</b>
CB1	1,0	10
CB2	1,0	10
CB3	1,5	10
CB4	1,5	10
CB5	1,0	15
CB6	1,0	15
CB7	1,5	15
CB8	1,5	15

**Fuente:** Elaboración propia

Las ocho muestras se llevaron a una evaluación sensorial utilizando el test 1 y test 2 (Anexo B); con 12 jueces no entrenados, los cuales evaluaron los atributos color, sabor, amargo, aroma, carbonatación, espuma y cuerpo.

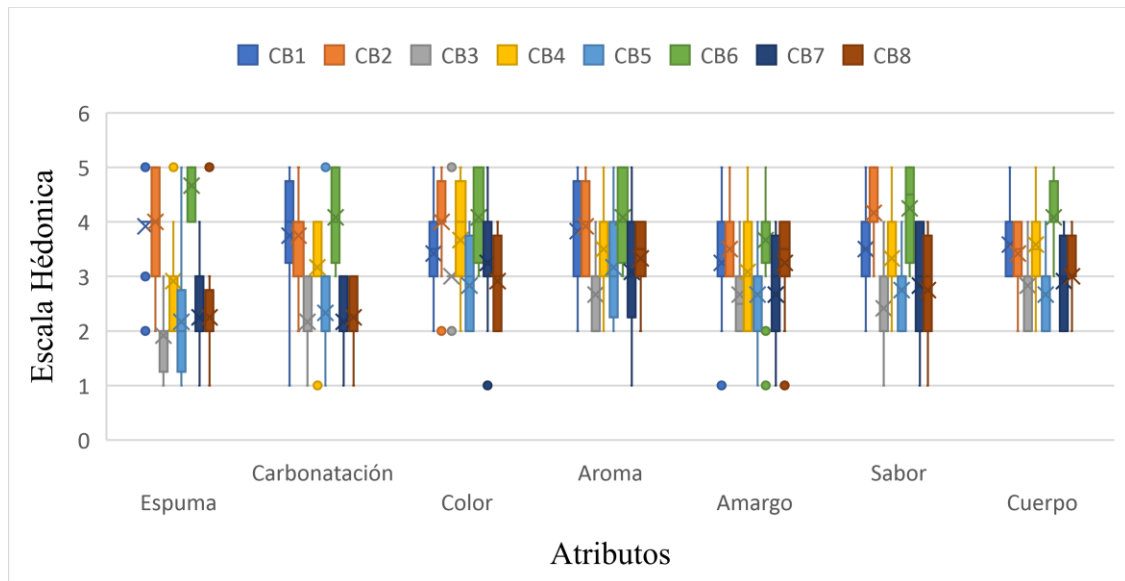
#### **4.2.4.1 Evaluación sensorial para caracterizar las variables de diseño experimental de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale**

Con el fin de determinar una muestra arquetipo en base a los factores del diseño experimental de los ocho tratamientos fueron evaluados mediante análisis sensorial por 12 jueces no entrenados del Laboratorio del Taller de Alimentos; aplicando el protocolo de bioseguridad por pandemia (Covid-19). Se tuvieron en cuenta el análisis estadístico para los atributos color, aroma, sabor, amargo, cuerpo, espuma y carbonatación.

#### **4.2.4.2 Estadístico caja y bigote del diseño experimental en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto**

En la figura 4.2, se puede observar los resultados para caja y bigote obtenidos para los atributos espuma, carbonatación, color, aroma, sabor, amargo y cuerpo con datos extraídos del Anexo F.





**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 2** Caja y bigote del diseño experimental en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la figura 4.2, se observa que la (muestra CB6) para los atributos de carbonatación, color y cuerpo la mediana es 4,08, para la formación de espuma es 4,67, para el amargo la mediana es 3,66, ubicada en el tercer cuartil, indicando que las calificaciones de los jueces están agrupadas con el 75% de los valores de la caja y se procedió a realizar la valoración estadística de Tukey para los atributos tomados en cuenta.

#### 4.2.5. Prueba Tukey para el atributo espuma en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la tabla 4.10, se muestran los resultados de los análisis estadísticos de la prueba de Tukey y extraídos de la “tabla F6” (Anexo F) para el atributo espuma.

Tabla 4. 10

*Prueba de Tukey para el atributo espuma*

Tratamientos	Valor	Diferencia	Significancia
CB6-CB3	2,75	2,75>1,05	Si hay diferencia significativa
CB6-CB2	2,5	2,5>1,05	Si hay diferencia significativa
CB6-CB1	2,42	2,42>1,05	Si hay diferencia significativa
CB6-CB4	2,42	2,42>1,05	Si hay diferencia significativa
CB6-CB8	2,25	1,75>1,05	Si hay diferencia significativa
CB6-CB7	2,25	2,25>1,05	Si hay diferencia significativa
CB6-CB5	2,17	2,17>1,05	Si hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se puede observar la diferencia significativa que existe entre los tratamientos (CB6-CB3, CB6-CB2, CB6-CB1, CB6-CB4, CB6-CB8, CB6-CB7 y CB6- CB5) para  $p<0,005$ .

#### 4.2.5.1 Prueba Tukey para el atributo carbonatación en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la tabla 4.11, se muestra los análisis estadísticos de la prueba de Tukey extraídos de la “tabla F7” (Anexo F), para el atributo carbonatación.

Tabla 4. 11

*Prueba de Tukey para el atributo carbonatación*

Tratamientos	Valor	Diferencia	Significancia
CB6-CB3	1,91	1,91>1,05	Hay significancia
CB6-CB7	1,91	1,91>1,05	Hay significancia
CB6-CB8	1,83	1,83>1,05	Hay significancia
CB6-CB5	1,75	1,75>1,05	Hay significancia
CB6-CB4	0,91	0,91<1,05	No hay significancia
CB6-CB2	0,33	0,33<1,05	No hay significancia
CB6-CB1	0,33	0,33<1,05	No hay significancia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar la diferencia significativa que existe entre los tratamientos (CB6-CB3, CB6-CB7, CB6-CB8, CB6-CB5) y para las interacciones (CB6-CB4, CB6- CB2) y (CB6-CB1) no hay diferencia significativa para un  $p<0,005$  en la evaluación del atributo carbonatación.

#### 4.2.5.2 Prueba Tukey para el atributo color en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la tabla 4.12, se muestra los análisis estadísticos de la prueba de Tukey extraídos de la “tabla F11” (Anexo F), para el atributo color.

**Tabla 4. 12**

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

Tratamientos	Valor	Diferencia	Significancia
CB6-CB5	1,25	1,25>1,1	Hay diferencia significativa
CB6-CB8	1,16	1,16>1,1	Hay diferencia significativa
CB6-CB3	1,08	1,08>1,1	Hay diferencia significativa
CB6-CB7	0,83	0,83<1,1	No hay diferencia significativa
CB6-CB4	0,41	0,41<1,1	No hay diferencia significativa
CB6-CB2	0,08	0,08<1,1	No hay diferencia significativa

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.12, se puede observar la diferencia significativa que existe entre los tratamientos (CB6-CB5, CB6-CB8, CB6-CB3) y para las interacciones (CB6-CB7, CB6- CB4 y CB6-CB2) no hay diferencia significativa para un  $p<0,005$  en la evaluación del atributo color.

#### 4.2.5.3 Prueba Tukey para el atributo sabor en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la tabla 4.13, se muestra los análisis estadísticos de la prueba de Tukey extraídos de la “tabla F.18” (Anexo F), para el atributo sabor.

**Tabla 4. 13**

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

Tratamientos	valor	Diferencia	Significancia
CB6-CB3	1,83	1,83>1,06	Hay diferencia significativa
CB6-CB5	1,50	1,5>1,06	Hay diferencia significativa
CB6-CB8	1,50	1,5>1,06	Hay diferencia significativa
CB6-CB7	1,42	1,42>1,06	Hay diferencia significativa
CB6-CB4	0,97	0,97<1,06	No hay diferencia significativa
CB6-CB1	0,75	0,75<1,06	No hay diferencia significativa
CB6-CB2	0,08	0,08<1,06	No hay diferencia significativa

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.13, se puede observar la diferencia significativa que existe entre los tratamientos (CB6-CB5, CB6-CB8, CB6-CB3 y CB6-CB7) y para las interacciones (CB6-CB4, CB6- CB1 y CB6-CB2) no hay diferencia significativa para un  $p < 0,005$  en la evaluación del atributo sabor.

#### 4.2.5.4 Prueba Tukey para el atributo aroma en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la tabla 4.14, se muestra los análisis estadísticos de la prueba de Tukey extraídos de la “tabla F.22” (Anexo F), para el atributo aroma.

**Tabla 4. 14**

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

Tratamiento	Valor	Diferencia	Significancia
CB6-CB3	1,41	1,41 >1,07	Hay diferencia significativa
CB6-CB7	1,00	1,0 <1,07	No hay diferencia significativa
CB6-CB5	0,91	0,91 <1,07	No hay diferencia significativa
CB6-CB8	0,75	0,75 <1,07	No hay diferencia significativa
CB6-CB4	0,58	0,58 <1,07	No hay diferencia significativa
CB6-CB1	0,25	0,25 <1,07	No hay diferencia significativa
CB6-CB2	0,16	0,16 < 1,07	No hay diferencia significativa

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.14, se puede observar que no hay diferencia significativa para los tratamientos (CB6-CB7, CB6-CB5, CB6-CB8, CB6-CB4, CB6-CB1, CB6-CB2), para el tratamiento (CB6-CB3) hay diferencia significativa para un  $p < 0,005$  en la evaluación del atributo aroma.

#### 4.2.5.5 Prueba Tukey para el atributo amargo en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la tabla 4.15, se muestra los análisis estadísticos de la prueba de Tukey extraídos de la “tabla F.26” (Anexo F), para el atributo amargo.

Tabla 4. 15

*Prueba de Tukey para el atributo amargo*

Tratamientos	Valor	Diferencia	Significancia
CB6-CB7	1,00	1,0<1,14	No hay diferencia significativa
CB6-CB5	1,00	1,0<1,14	No hay diferencia significativa
CB6-CB3	1,00	1,0<1,14	No hay diferencia significativa
CB6-CB4	0,59	0,59<1,14	No hay diferencia significativa
CB6-CB1	0,42	0,42<1,14	No hay diferencia significativa
CB6-CB8	0,42	0,42<1,14	No hay diferencia significativa
CB6-CB2	0,17	0,17<1,14	No hay diferencia significativa

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.15, se resume que para todas las interacciones no hay diferencia significativa para un  $p < 0,005$  en la evaluación del atributo amargo.

#### 4.2.5.6 Prueba Tukey para el atributo cuerpo en la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto

En la tabla 4.16, se muestra los análisis estadísticos de la prueba de Tukey extraídos de la “tabla F.30” (Anexo F), para el atributo cuerpo.

Tabla 4. 16

*Prueba de Tukey para el atributo cuerpo*

Tratamientos	Valor	Diferencia	significancia
CB6-CB5	1,41	1,41>0,96	Hay diferencia significativa
CB6-CB3	1,25	1,25>0,96	Hay diferencia significativa
CB6-CB7	1,16	1,16>0,96	Hay diferencia significativa
CB6-CB8	1,08	1,08>0,96	Hay diferencia significativa
CB6-CB2	0,66	0,66<0,96	No hay diferencia significativa
CB6-CB4	0,50	0,5<0,96	No hay diferencia significativa
CB6-CB1	0,50	0,5<0,96	No hay diferencia significativa

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.16, se puede observar que hay diferencia significativa para los tratamientos (CB6-CB5, CB6-CB3, CB6-CB7, CB6-CB8), para la interacción (CB6-CB2, CB6- CB4, CB6-CB1) no hay diferencia significativa para un  $p < 0,005$  en la evaluación del atributo cuerpo.

Donde se pudo observar que los jueces tuvieron mayor preferencia para los atributos espuma, aroma, color y apariencia, comparado con los atributos cuerpo, amargo, sabor que no tuvieron preferencia.

En tal sentido, se realizó una mejora a los atributos seleccionados en la muestra CB6 utilizando malta Caramuch II variando entre (0,00-1,15) %.

#### **4.2.6 Análisis sensorial de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale variando en la dosificación de malta Caramunich II**

A la muestra CB6 se le cambia el código a CB6-1 y se realiza otra muestra añadiéndole malta especial (CB6-2), para realizar una mejora en el color y apariencia en la muestra arquetipo de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale (tabla 4.17).

**Tabla 4. 17**

##### *Dosificación porcentual de malta Caramunich II*

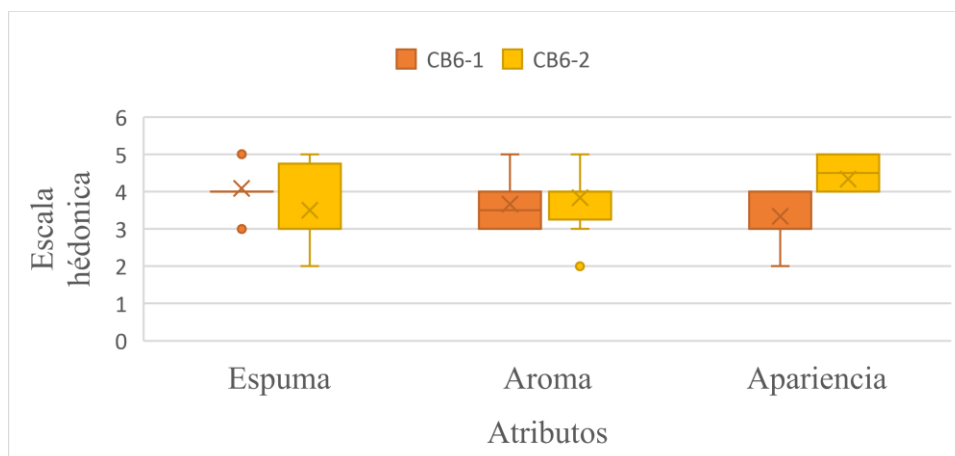
Muestra	Malta Caramunich II (%)
CB6-1	0,00
CB6-2	1,15

**Fuente:** Elaboración propia

En base a los resultados de la tabla 4.17, se procedió a realizar una evaluación sensorial con 12 jueces no entrenados que evaluaron los atributos espuma, aroma y apariencia.

#### **4.2.6.1 Análisis sensorial de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale variando la malta Caramunich II**

La figura 4.3 muestra los resultados para caja y bigote obtenidos para el atributo espuma, aroma y apariencia extraídos del (anexo F).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 3** Caja y bigote en la variación de malta Caramunich II para los atributos espuma, aroma y apariencia.

En la figura 4.3 se observa que para la muestra CB6-1 en el atributo espuma la mediana es 4,08 y para la muestra CB6-2 la mediana es 3,5, para la muestra CB6-1 en el atributo aroma la mediana es 3,66 y para la muestra CB6-2 es 3,83, para la apariencia la muestra CB6-2 tiene una mediana de 4,33 y la muestra CB6-1 de 3,33, indicando que los valores están en el tercer cuartil, al 75%.

#### 4.2.6.2 Prueba Tukey para el atributo apariencia en la variación de malta Caramunich II para la obtención de la muestra arquetipo

En la tabla 4,18 se muestra los resultados del análisis estadístico de la prueba Tukey extraídos de la “tabla F.38” (Anexo F) para el atributo apariencia.

**Tabla 4. 18**

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

Interacción	Valor	Diferencia	Significancia
CB6-1			Hay diferencia significativa
CB6-2	1,00	1,00>0,75	

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4,18, se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos CB6-1 y CB6-2. Se concluye que existe mayor preferencia por la muestra CB6-2 en los atributos aroma y apariencia, quedando como muestra arquetipo elegida por los jueces no entrenados.

### 4.3 Diseño experimental para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

Para determinar las variables del proceso de maceración y concentración del mosto en la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, se procedió a realizar, la variable respuesta (porcentaje de alcohol), que se muestra en la tabla 4.19.

**Tabla 4. 19**

*Análisis de varianza para el diseño de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Total</b>	52,790	15	3,52		
<b>Factor A</b>	17,870	1	17,87	12,08	5,32
<b>Factor B</b>	16,380	1	16,38	11,08	5,32
<b>Factor C</b>	0,080	1	0,08	0,05	5,32
<b>Interacción AB</b>	5,090	1	5,09	3,44	5,32
<b>Interacción AC</b>	0,290	1	0,29	0,20	5,32
<b>Interacción BC</b>	0,015	1	0,02	0,01	5,32
<b>Interacción ABC</b>	1,230	1	1,23	0,83	5,32
<b>Error</b>	11,830	8	1,48		

**Fuente:** Elaboración propia

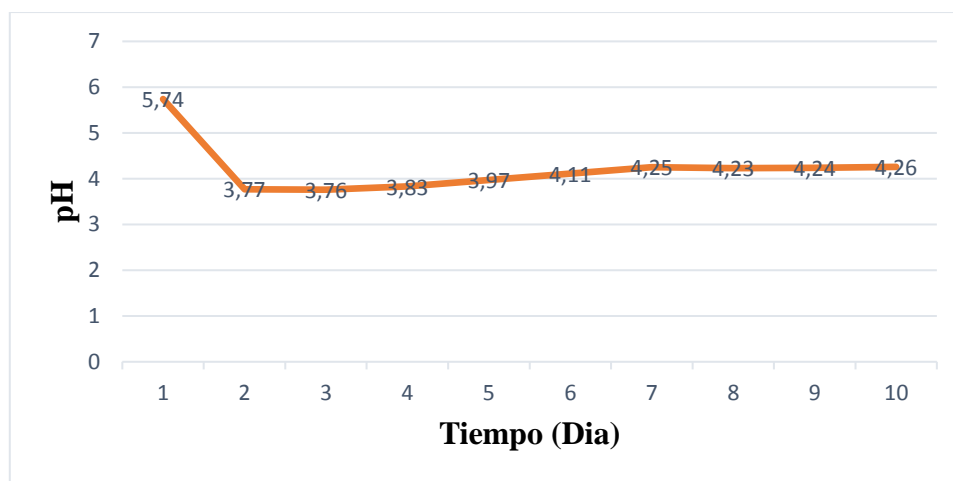
Según los resultados obtenidos del análisis de varianza de las interacciones (tabla 4.19), se observa que la temperatura de maceración (TM), porcentaje de adjunto azucarero (AA) y tiempo de concentración del mosto (TC), no son significativos en la obtención del porcentaje de alcohol ya que  $F_{cal} > F_{tab}$  por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ .

En base al diseño factorial utilizado en la etapa de maceración y concentración del mosto no existe evidencia estadística significativa para  $p < 0,05$ ; ya que  $F_{cal} > F_{tab}$  para todas las variables tomadas en cuenta.



#### 4.4 Comportamiento del pH en función del tiempo en la etapa de fermentación de la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

En el proceso de fermentación es importante tener un control de las condiciones de pH del mosto, ya que el pH influye en la actividad de la levadura debido al control que ejerce frente a la contaminación bacteriana, así como el crecimiento de las levaduras, la velocidad de fermentación y la producción de alcohol. En la figura 4.4, se muestra el control de pH de la muestra CB6 durante 10 días de fermentación medido en intervalos de un día y los resultados se detallan en el (Anexo C).



**Fuente:** Elaboración propia

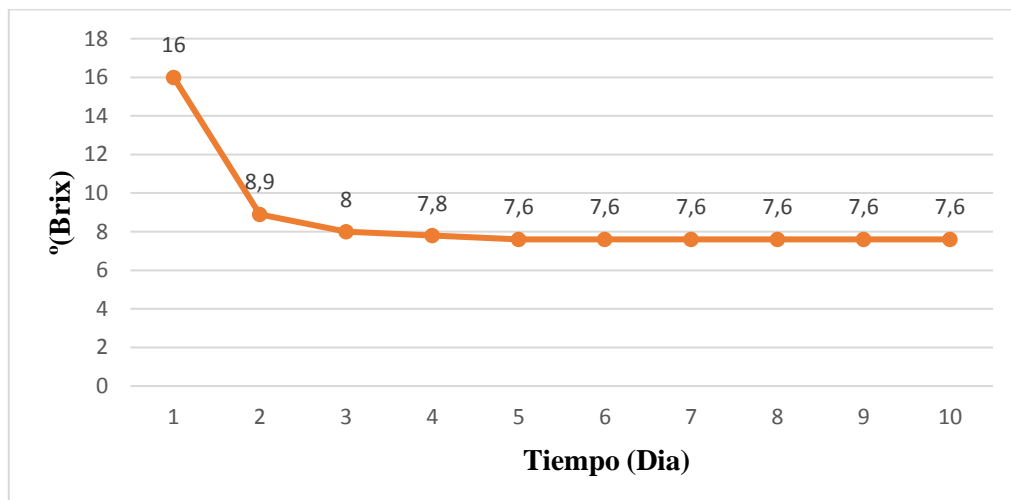
**Figura 4. 4** Comportamiento del pH en función del tiempo en la etapa de fermentación

Se observa en la figura 4.4, como cambia el pH en condiciones de temperatura ambiente (25-30) °C en función de los días, en el momento de la inoculación el medio comienza con un pH de 5,74, según (Suarez, 2013) “el pH favorable para el crecimiento de la *Saccharomyces cerevisiae* se encuentra entre (4,4 – 5,0), el pH 4,5 el adecuado para su crecimiento óptimo”. Pág.17, así mismo se observa que desde el segundo al quinto día el pH desciende debido a la transformación de aminoácidos por pérdida de nitrógeno pasando a ácidos, otro factor es la producción de dióxido de carbono en la fase de fermentación anaerobia.

A partir del sexto día el pH comienza ascender y mantenerse constante indicando que prácticamente la transformación de aminoácidos ha concluido, terminado de esta manera el proceso fermentativo

#### 4.5 Comportamiento de la concentración de sólidos solubles (°Brix) en función del tiempo en la etapa de fermentación

En la figura 4.5, se observa el descenso de los sólidos solubles en la etapa de fermentación durante diez días, donde los °Brix son un parámetro de calidad para cuantificar los sólidos solubles que han sido extraídos durante el macerado, la cantidad de °Brix cuantificados varían dependiendo de la cantidad de azúcares presentes en la malta y como resultado de una prolongación del tiempo de maceración, en el caso de este tipo de cerveza se agregó azúcar para lograr alcanzar los 16 °Brix requeridos para generar un alcohol entre 7,5 y 9,5 % de ABV (Alcolizer by volumen) alcohol por volumen.



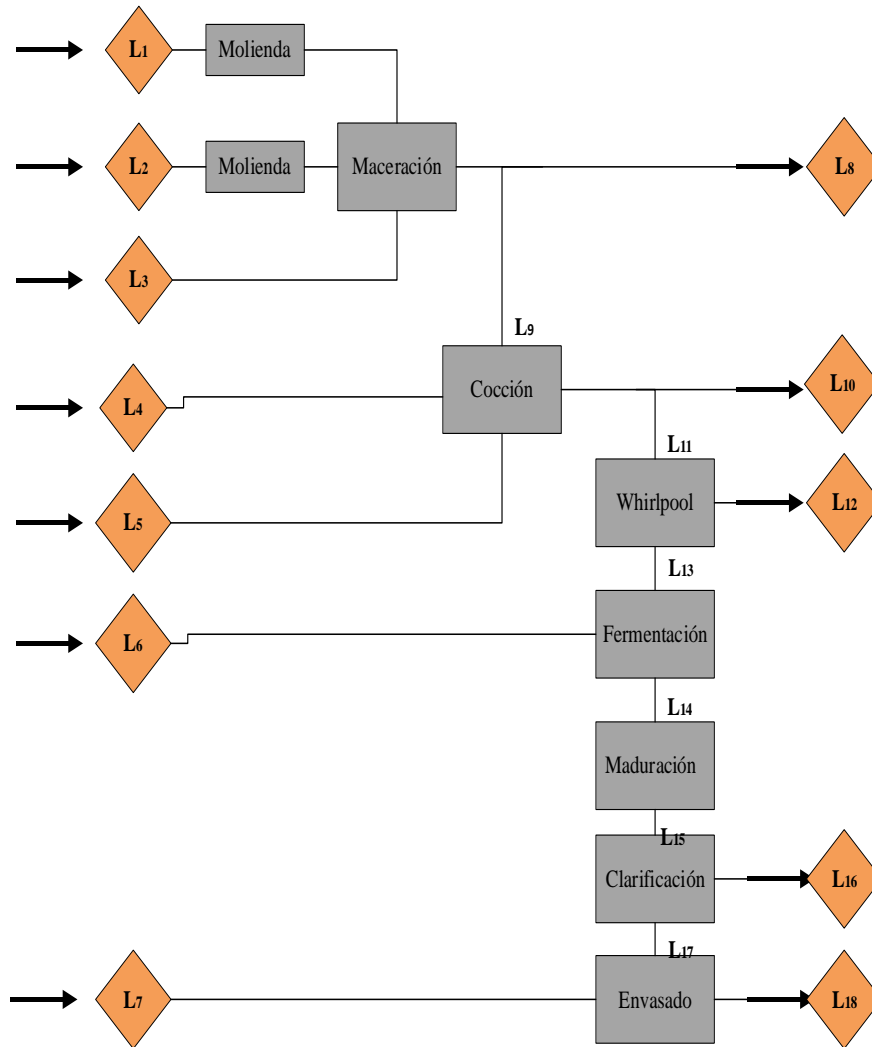
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 5** Comportamiento de la concentración de sólidos solubles (°Brix) en función del tiempo en la etapa de fermentación.

Se observa en la figura 4.5 que entre el primer y segundo día existe un consumo de sólidos solubles por parte de las levaduras entre (16 a 8,9) °Brix, a partir del día cinco los °Brix descienden lentamente hasta alcanzar una constante que indica que los azúcares fermentescibles han sido agotados.

#### 4.7 Balance de materia en la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

Para el balance de materia en el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, se realizó una base de cálculo de 7:5 (agua-cerveza) y 1:5 (malta-cerveza). En la figura 4.6 se detallan las etapas que se tomaron en cuenta para realizar el balance de materia.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 6** Balance de materia en el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.

Todas las corrientes en gramos (g)

Donde:

$L_1$ =Malta Pilsen

$L_2$ =Malta Caramunich II

$L_3$ =Agua

$L_4$ =Azúcar

$L_5$ = Lúpulo

$L_6$ =Levadura

$L_7$ = Azúcar para carbonatar

$L_8$ = Cereales agotados

$L_9$ = Mosto

$L_{10}$ = Agua evaporada

$L_{11}$ = Mosto concentrado

$L_{12}$ = Borra

$L_{13}$ = Mosto estéril

$L_{14}$ = Cerveza turbia

$L_{15}$ = Cerveza madura

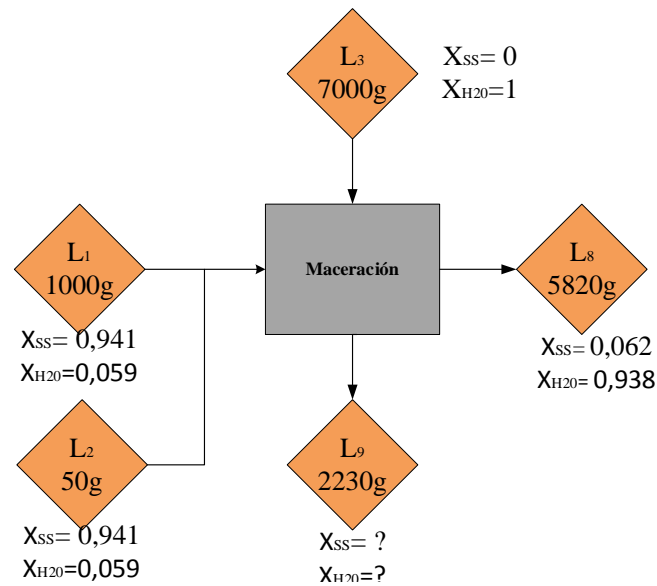
$L_{16}$  = Levadura muerta

$L_{17}$ = Cerveza clarificada

$L_{18}$ = Cerveza envasada.

#### **4.7.1 Balance de materia en el proceso de maceración**

La figura 4.7 muestra el balance de materia del proceso de maceración de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 7** Balance de materia en el proceso de maceración

Para obtener la fracción másica en los cereales agotados se realiza los siguientes cálculos:

#### 4.7.1.1 Balance general de cereales agotados en la etapa de maceración:

$$L_1 + L_2 + L_3 = L_8 + L_9$$

#### 4.7.1.2 Balance parcial de humedad de cereales agotados en la etapa de maceración:

$$L_1 X_{H_2O} + L_2 X_{H_2O} + L_3 X_{H_2O} = L_8 X_{H_2O} + L_9 X_{H_2O}$$

$$(1000 \times 0,059) + (50 \times 0,59) + (7000 \times 1) = (5820 \times 0,938) + (2230 \times X_{H_2O})$$

$$X_{H_2O} = 0,72$$

#### 4.7.1.3 Balance parcial de sólidos solubles de cereales agotados en la etapa de maceración:

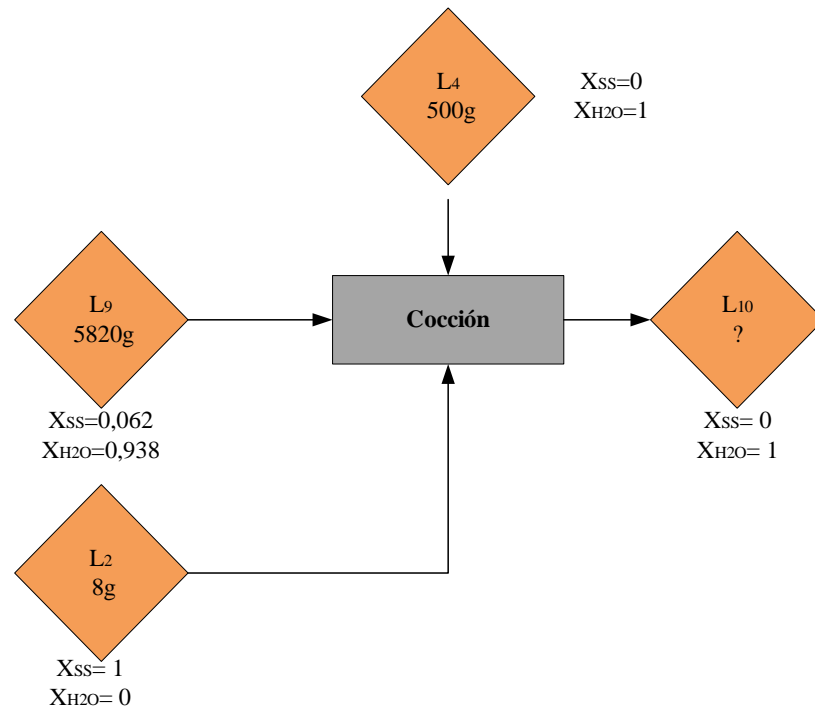
$$L_1 X_{SS} + L_2 X_{SS} + L_3 X_{SS} = L_8 X_{SS} + L_9 X_{SS}$$

$$(1000 \times 0,941) + (50 \times 0,941) + (7000 \times 0) = (5820 \times 0,062) + (2230 \times X_{H_2O})$$

$$X_{H_2O} = 0,28$$

#### 4.7.2 Balance de materia en la etapa de cocción del mosto

La figura 4.8 muestra el balance efectuado para calcular que es el valor de evaporación de agua generada durante la cocción del mosto.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 8** Balance de materia en la etapa de cocción del mosto

Para hallar la cantidad de pérdida por evaporación ( $L_{10}$ ) durante la cocción (una hora), se aplica los siguientes cálculos.

##### 4.7.2.1 Balance parcial de la evaporación de agua en la etapa de cocción del mosto

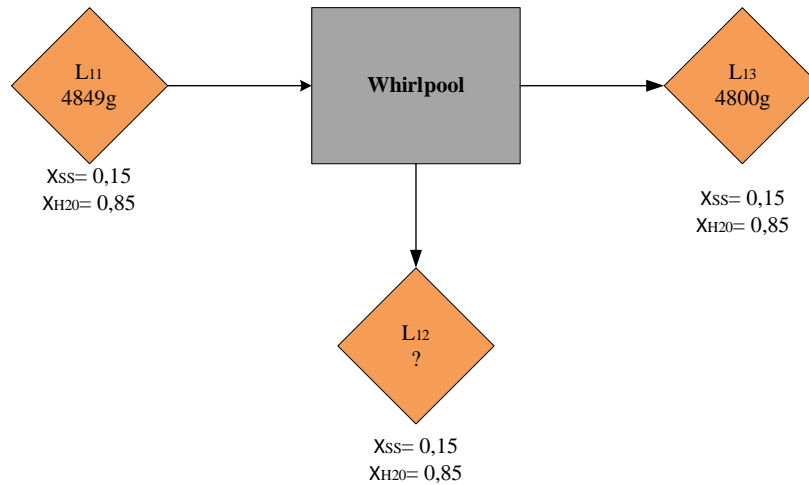
$$L_5 X_{H_2O} + L_4 X_{H_2O} + L_9 X_{H_2O} = L_{10} X_{H_2O} + L_{11} X_{H_2O}$$

$$(8 \times 0) + (500 \times 0) + (5820 \times 0,938) = (L_{10} \times 1) + (4849 \times 0,85)$$

$$L_{10} = 1337,51g$$

### 4.7.3 Balance de materia en el proceso de Whirlpool

En la figura 4.9, se muestra el balance de materia efectuado en el proceso de Whirlpool con el fin de determinar la cantidad de borra que se elimina en esta parte del proceso.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 9** Balance de materia en el proceso de Whirlpool

#### 4.7.3.1 Balance parcial de humedad de borra que se desecha en la etapa de Whirlpool

$$L_{12}X_{H_2O} = L_{11}X_{H_2O} - L_{13}X_{H_2O}$$

$$L_{12} = (4849 \times 0,85) - (4800 \times 0,85)$$

$$L_{12} = 41,65 \text{ g}$$

#### 4.7.3.2 Balance parcial de sólidos solubles de borra que se desecha en la etapa de Whirlpool

$$L_{12}X_{ss} = L_{11}X_{ss} - L_{13}X_{ss}$$

$$L_{12} = (4849 \times 0,15) - (4800 \times 0,15)$$

$$L_{12} = 7,35 \text{ g}$$

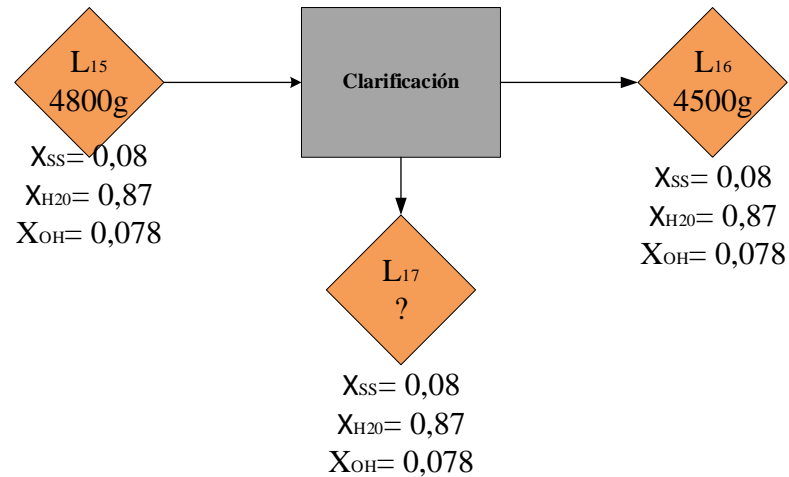
#### 4.7.3.3 Borra que se desecha en la etapa de Whirlpool:

$$\text{Borra} = 41,65 \text{ g} + 7,35$$

$$\text{Borra} = 49 \text{ g}$$

#### 4.7.4 Balance en el proceso de clarificación

La figura 4.10 muestra el balance en el proceso de clarificación, donde se busca obtener la cantidad de levadura agotada que se elimina.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 10** Balance de materia en el proceso de clarificación de la cerveza

En el proceso de clarificación se elimina las levaduras agotadas () en el proceso de fermentación y para su cálculo se detalla en la siguiente ecuación:

##### 4.7.4.1 Balance general de materia para la obtención levadura agotada en la etapa de clarificación:

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

$$L_{17} = 4800g - 4500$$

$$L_{17} = 300g$$

#### 4.8 Rendimiento del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

(Pino et All, 2018) afirma que “para calcular el rendimiento volumétrico expresado en porcentaje del proceso de elaboración de cerveza artesanal, se muestra en la siguiente ecuación 4.1” (Pág. 60)

$$R_V = \frac{V_f}{V_i} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.1}$$



**Donde:**

$R_V$  = Rendimiento volumétrico expresado en porcentaje (%)

$V_f$  = Volumen final de la cerveza (L)

$V_i$  = Volumen inicial del agua (L)

$$R_V = \frac{4,5 L}{7 L} \times 100 = 64,28 \%$$

El porcentaje de del rendimiento volumétrico del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale es 64,28 %.

#### **4.9 Balance de energía para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale**

Las ecuaciones de balance de energía según (Banderas, 1994), utilizadas en la etapa de concentración del mosto, se detallan a continuación.

$$Q_T = Q_g + Q_p \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

$Q_T$  = Calor total

$Q_g$  = Calor ganado

$Q_p$  = Calor perdido

$$Q_T = Q_g + Q_p \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Donde:

Q es el calor generado durante el proceso

m es la masa de la muestra (g)

Cp es el calor específico (Kj/kg°C)

T<sub>2</sub> es la temperatura final del proceso (°C)

T<sub>1</sub> es la temperatura inicial del proceso (°C)

Para calcular la cantidad de energía requerida de una sustancia que recibe o cede calor latente cuando cambia de estado físico y permanece la temperatura constante según (Banderas, 1994) el calor latente se puede calcular por:

$$Q_L = L\Delta \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde  $\Delta$  es el calor latente de cambio de estado de la sustancia en consideración.

Los calores latentes varían con la temperatura, con la sustancia y los estados físicos. Al sumarse los calores sensibles y calores latentes se puede obtener calor, ósea el cambio de energía interna de una sustancia al pasarla de una temperatura a otra según (Banderas, 1994)

$$Q = LCp_{liquido}(T_f - T_i + \Delta_e L) \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

$\Delta_e L$  es el calor latente de ebullición

L es la masa del líquido (L)

$T_f$  es la temperatura final (°C)

$T_i$  es la temperatura inicial (°C)

$Cp_{liquido}$  es el calor específico del líquido ((Kj/kg°C).

#### 4.9.1 Cálculo de necesidades frigoríficas

Según (Martin, 2015) afirma que “las necesidades frigoríficas totales de la industria microcervecera estarán destinadas al enfriamiento del mosto tras la cocción. El cálculo teórico de las necesidades de refrigeración será incrementado en un 20% como margen de seguridad” (Pág. 56).

Tenemos que:

$$Q = m \times Cp \times (T_f - T_i) = (p \times V \times Cp \times (T_f - T_i)) \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Donde:

$M$  es la masa de cerveza a enfriar, (kg).

$C_p$  es el calor específico de la cerveza en (Kj/kg°C).

$T_i$  es la temperatura inicial del mosto a enfriar en (°C).

$T_f$  es la temperatura del mosto enfriado en (°C)

$\rho$  es la densidad media del mosto enfriado en (Kg/l).

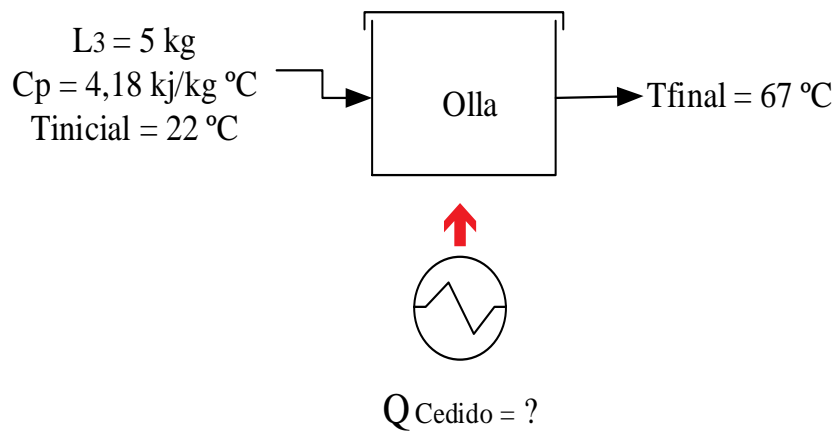
$V$  es el volumen de mosto en (L).

Según (Martin, 2015) afirma que “a efectos de cálculo se considera la capacidad calórica igual a la del agua” (Pág. 56).

$C_p=4,18$  Kj/ Kg °C.

#### 4.9.2 Balance de energía en el proceso de maceración

En el proceso de maceración se necesita 5 kg de agua a 67 °C.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 11** Balance de energía en el proceso de maceración

Para determinar la cantidad de energía necesaria para realizar el cambio de temperatura se detalla en la siguiente ecuación (Ecuación 4.3):

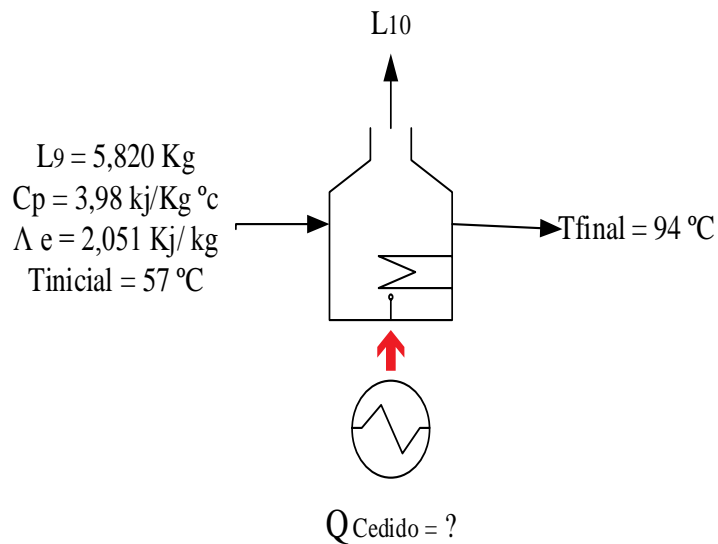
$$Q_{Cedido} = L \times C_{p\text{liquido}} \times (T_f - T_i)$$

$$Q_{Cedido} = 5\text{kg} \times 4,18 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{C} (67 - 22)^\circ\text{C}$$

$$Q_{Cedido} = 940,5 \text{ Kj}$$

#### 4.9.3 Balance de energía en el proceso de cocción de mosto

En la figura 4,12, se muestra el balance de energía en la etapa de cocción (concentración del mosto) en la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 12** Balance de energía en el proceso de cocción del mosto

Para obtener la cantidad de calor necesaria para concentrar el mosto de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, se calcularon las corrientes de calor que intervienen en el proceso con la (ecuación 4.5)

$$Q = L C_p (T_f - T_i) + \Delta_e L$$

Según (Ortega, 2016. Pág. 63) el valor de  $C_p$  para el mosto es  $3,26 \text{ Kj/ Kg } ^\circ\text{C}$  y el valor para es  $2,051 \text{ Kj /Kg } ^\circ\text{C}$  (calor latente)

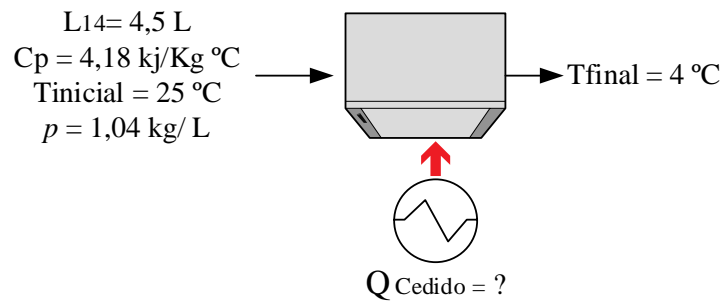
Reemplazando valores en la ecuación 4.5 se obtiene el calor generado en el proceso de concentración del mosto.

$$Q = 5,820 \text{ Kg} \times 3,26 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \times (94 - 57)^\circ\text{C} + (2,051 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \times 5,820 \text{Kg})$$

$$Q = 713,95 \text{ Kj}$$

#### 4.9.4 Balance de energía en el proceso de maduración

En la figura 4,13, se muestra el balance de energía en la etapa de maduración la elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 13** Balance de energía en el proceso de maduración

Para determinar la cantidad de calor necesaria para enfriar la cerveza hasta 4 °C desde 25 °C se resuelve reemplazando la ecuación 4.6.

$$Q = m \times Cp \times (Tf - Ti) = (p \times V \times Cp \times (Tf - Ti))$$

$$Q = (1,04 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 4,5 \text{ L} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \times (4 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q = - 410 \text{ kJ}$$

#### 4.9.5 Balance de energía del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale

La energía generada durante el proceso de elaboración se detalla en la siguiente ecuación:

$$\text{Balance de energía total del proceso} = 940,5 \text{ kJ} + 714,4 \text{ kJ} - 410 \text{ kJ}$$

$$\text{Balance de energía total del proceso} = 1244,9 \text{ kJ}$$

Para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale se requiere 1244,9 KJ de energía.

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

## 5.1 Conclusiones

- ✚ En base a los resultados fisicoquímicos de malta Pilsen se tiene el contenido de cenizas 2,24%, fibra 3,83% grasa 1,53% humedad 5,88%, hidratos de carbono 75,88%, proteína total 10,64, azúcares totales 22,63% y nitrógeno total 1,7%. En base de a los resultados fisicoquímicos del agua se tiene el contenido de calcio disuelto 2,4 ml/l, cloruros 0,5 ml/l, magnesio disuelto 0,5 ml/l y sulfatos 23,2 ml/l.
- ✚ Como resultado de la elaboración de 4 pruebas preliminares para la selección de muestra arquetipo, se obtuvo el (ensayo 5) de cinco ensayos de la cerveza artesanal tipo Blonde Ale, de la variación de lúpulo en la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale (CA14), de la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto (CB6), su favoritismo por los jueces respecto a los atributos espuma, carbonatación, color y sabor hizo que quedara sobre las demás muestras y para la variación de malta Caramunich II (CB6-2), el favoritismo de los jueces en el atributo apariencia hizo que quedara la muestra CB6-2 como muestra arquetipo.
- ✚ En base al diseño factorial utilizado en la etapa de maceración y concentración del mosto (cocción), existe evidencia estadística significativa para  $p < 0,05$ ;  $F_{cal} > F_{tab}$  para el factor A y el factor B y no así para los demás factores. En tal sentido se realizó una comparación de la respuesta estadística del análisis sensorial para la variación de adjunto azucarero y tiempo de concentración del mosto existiendo una relación directa con el factor analizado.
- ✚ Se pudo demostrar la influencia que tienen las variables del diseño experimental en la variable respuesta; a 67°C en el proceso de maceración se tiene una mejor extracción de azúcares fermentescibles, el tiempo óptimo de cocción es de 1 hora y el porcentaje de adjuto azucarero es de 10%.
- ✚ En base a los resultados de las propiedades fisicoquímicas del producto terminado (cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale) el cual contiene:

una acidez total de 0,3%, acidez volátil 0,002%, extracto aparente 1,31 g/100g, extracto del mosto original 19,54 °Plato, extracto de fermentación real 1,32 g/100g, grado alcohólico 7,72 °GL, grado de fermentación real 93,37 °GL y un pH de 4,1.

- ✚ En base a los resultados de los análisis microbiológicos del producto terminado (cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale) presentando: UFC/g de *Escherichia coli* y presenta ausencia de *Salmonella*.
- ✚ Mediante el control de pH por un período de 7 días el proceso de fermentación concluye, debido a que el consumo de azúcares fermentescibles han sido transformados en alcohol y los °Brix se comportan de una manera constante indicando que ya no existe actividad por parte de las levaduras.
- ✚ Se determinó el color (14 EBC) de la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale, el grado de amargor (6,93 IBU) y una turbidez de 22,8 unidades de turbidez nefelométrica.
- ✚ Según el balance de materia en el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale se obtuvo un rendimiento del 64,28%.

## 5.2 Recomendaciones

- ✚ Se recomienda implementar una planta piloto para elaborar la cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale en la provincia Cercado.
- ✚ Para la obtención de cerveza artesanal tipo Belgian Golden Strong Ale se recomienda utilizar otros tipos de adjunto azucarero como ser miel de abeja y chancaca para verificar el rendimiento en la obtención de alcohol en este tipo de cerveza artesanal.
- ✚ Se recomienda realizar a nivel experimental galletas nutritivas a partir del bagazo de cebada que se desecha después del proceso de maceración para aprovechar el alto contenido de proteína y fibra.



