

CAPÍTULO I

I. MARCO TEÓRICO

Antecedentes

Desde hace miles de años el ser humano viene disfrutando de cervezas de todo tipo, sabores y colores. La cerveza es una bebida alcohólica muy antigua, fue inicialmente desarrollada por los pueblos de los imperios mesopotámicos, su elaboración es conocida como un arte. Es un líquido de malta dulce o fermentada con un mediano grado alcohólico cuya elaboración es a partir de la fermentación del mosto y saborizada con lúpulo, fabricada de forma natural.

La cerveza artesanal nace por el gusto y necesidad de probar nuevos y distintos sabores, que con el paso de los años va posicionándose y convirtiéndose en una de las bebidas más populares dentro de la sociedad, pues su consumo es más por placer que por adicción.

Hoy en día, en todos los países del mundo se consumen cervezas industriales elaboradas con mezcla de malta y cereales adjuntos como el arroz o el maíz, mucho más económicos para las empresas por sus bajos costos de producción, también agregan antioxidantes y estabilizantes, sin importar la calidad del producto, alejándose de la elaboración de la verdadera cerveza. (Hough, 1990)

Existe una cerveza que llama la atención por su color, es la cerveza negra. Las cervezas negras son aquellas cervezas de color oscuro u opaco, cuyos sabores y aromas normalmente son a chocolate o café dependiendo del estilo.

La cerveza negra constituye uno de los licores más apreciados por amantes de esta interesante bebida en la industria. Su amargo sabor, la textura y la espesa espuma son, sin lugar a dudas, características esenciales de este tipo de bebida que se sitúa en el top de las mejores del mundo.

Hay una diferencia importante entre la cerveza rubia y la cerveza negra. La diferencia no es sólo de color, sino de propiedades. Si hacemos un análisis nutricional de ambas cervezas, la cerveza negra es más calórica, tiene más potasio, fósforo y magnesio, y casi el doble de vitaminas, es un alimento muy nutritivo.(Martínez, 2011)

Algunas de las cervezas negras más famosas son las Porters y las Stout. El estilo Porter nació en los primeros años del siglo XVIII en Gran Bretaña, es considerada como la cerveza oscura más popular del mundo, gracias a su sabor a malta y su rico color. Su ingrediente principal es la cebada y su fermentación es una cerveza típica de las ALES.

Existen una variedad de adjuntos que se pueden agregar a la cerveza siendo todos aquellos que están malteados o no, como el arroz, maíz, avena, trigo, de cebada, granos de centeno, cascara de cebada, copos de cebada, hierbas, especias, etc.

Según la estudiante Paisa de la Universidad Nacional de Colombia, la cerveza con avena es una propuesta muy nutritiva, ya que el cereal suaviza el sabor de la bebida y la hace más refrescante. (Pulzo, 2017)

En este sentido, el año 2018 dos emprendedores, apostaron por un nuevo producto denominado “Mystica”, una cerveza artesanal de jóvenes emprendedores tarijeños. Estos en mayo de este año decidieron elaborar y presentar una Cerveza Negra elaborada con cacao amargo beniano llamado Chocolate Porter, siendo esta muy maltosa , de cuerpo alto, espuma marrón y sedosa gracias a la adición de **avena** en su elaboración. Tiene un amargor medio, con notas marcadas a chocolate y a café provenientes de la malta tostada. Asimismo mencionan que esta se la puede describir como tomar un capuchino frío hecho cerveza, donde el chocolate destaca junto al sabor y aroma del cacao y sedosidad de la espuma.

La cerveza artesanal en Tarija está tomando un grado de importancia entre los consumidores y un público un poco selecto ante nuevos sabores y TEXTURAS. Según Gesiel Castillo (2019) , gerente propietario de la cervecería artesanal Barbosa quien menciona en una entrevista “Nosotros no usamos ningún tipo de adjunto”, explica y asegura que se basan en cuatro ingredientes: cien por ciento malta, levadura, agua y lúpulo. Por otro lado, la producción de esta cerveza artesanal en Tarija se destaca por el uso de la cebada tarijeña.

En Bolivia, la bebida alcohólica más consumida es la cerveza, siendo su consumo per cápita anual de 34.8 litros. El país ocupa el octavo lugar entre los países de la región que más la consumen, según datos de la consultora Euromonitor. (EL DEBER, 2019)

Justificación Del Proyecto

Justificación tecnológica

La tecnología requerida para la elaboración de cerveza artesanal estilo Porter a base de malta de cebada y avena, no es compleja. Con esta investigación se pretende validar un proceso tecnológico en el cual se utiliza la avena como sustitución parcial de la malta de cebada para el proceso de fabricación de cerveza artesanal estilo Porter, así se logrará el uso de la avena como otra alternativa de aprovechamiento.

Justificación económica

Siendo esta una propuesta novedosa por el ingrediente utilizado como adjunto (avena) y al existir pocas fábricas que elaboran cerveza artesanal estilo Porter, este podría potenciar un importante mercado y generar un progreso, avance e ingresos significativos para la región que directa o indirectamente se podrían beneficiar, otorgarle un valor a la producción de cerveza artesanal estilo Porter a base de malta de cebada y avena, es una buena alternativa.

Justificación social

Debido a las propiedades que posee la avena, se convierte en una alternativa más para ser usada en la industria, la adición de avena aportará sus proteínas y otros componentes propios, que impartirán características nutricionales y contribuirán a la salud de las personas que consumen cerveza de forma adecuada y sin excesos. Por otro lado, la elaboración de cerveza artesanal estilo Porter a base de malta de cebada y avena puede ayudar a incrementar las fuentes de trabajo, incluso lograr una entrada económica adicional mediante la producción y comercialización de la misma.

Justificación ambiental

El proceso de elaboración de la cerveza artesanal tiene un impacto ambiental de menor grado, al no tratarse de una cerveza industrial la producción será en menor escala, por lo tanto la cantidad a elaborar será pequeña en relación a la industrial. En este sentido, la generación de granos de malta, levadura y lúpulo no necesitarían el tratamiento de

los residuos generados en el proceso de cocción ni fermentación, asimismo las mismas podrían ser aprovechadas como alimento para animales y fertilizantes.

Objetivos

Objetivo general

- ✓ Elaborar cerveza artesanal a escala laboratorio sustituyendo de forma parcial la malta de cebada con avena, con el objeto de mejorar las propiedades organolépticas para obtener cerveza estilo Porter en Tarija.

Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar la materia prima.
- ✓ Determinar la mezcla entre los tratamientos de cerveza artesanal estilo Porter a base de malta de cebada y avena mediante los siguientes porcentajes malta de cebada/avena (95/05, 90/10, 85/15, 80/20) respectivamente.
- ✓ Plantear el diagrama de flujo para el proceso de la elaboración de cerveza artesanal estilo Porter a base de malta de cebada y avena.
- ✓ Obtener en laboratorio la cerveza artesanal de acuerdo a las cantidades establecidas de materia prima e insumos.
- ✓ Realizar un análisis factorial de acuerdo a la cantidad de avena utilizada en la elaboración de cerveza artesanal.
- ✓ Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales del producto terminado.
- ✓ Desarrollar el balance materia y energía.
- ✓ Caracterizar el producto obtenido de acuerdo a la guía BJCP.

1.1.La cerveza

La (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2262, 2013) denomina a la cerveza como “bebida de bajo contenido alcohólico, resultante de un proceso de fermentación natural controlado, por medio de levadura cervecera proveniente de un cultivo puro, en un mosto elaborado con agua de características fisicoquímicas y bacteriológicas apropiadas, cebada malteada sola o mezclada con adjuntos, con adición de lúpulo y/o sus derivados”.

1.1.1. Características de la cerveza

La cerveza, por su proceso natural de elaboración y por las materias primas, posee características nutricionales que la hacen una bebida sana y nutritiva.

En la Tabla I-1, se muestra algunos elementos que forman parte de su composición y forman la base de su valor nutricional. Sin embargo, si se incluyen todos los elementos que lo componen, existen unas cincuenta clases, entre los que se encuentran los derivados del lúpulo, el inositol y los taninos. (Marquez Frías, 2015)

Tabla 0-1. Características Nutricionales de la cerveza

Por cada 12 onzas (oz)	Tipo de cerveza		
	Regular y/o Normal	Light	Sin Alcohol
Peso (g)	356	354	360
Agua (%)	92	95	98
Energía (kcal)	145	99	32
Proteína (g)	1	5	5
Carbohidratos (g)	13	2	0

Colesterol (mg)	0	0	0
Ca (mg)	18	18	25
Zn (mg)	0.07	0.11	0.04
Vitaminas A (mg)	0	0	0
Niacina (mg)	1.61	1.39	1.62
Vitamina C (mg)	0	0	0

Fuente: (Marquez Farias, 2015)

En la Tabla I-1, se realiza la comparación entre la cerveza Regular y/o Normal (suele tener 4.5 a 6% de alcohol), Light (oscila entre el 2.8 a 3.5%) y Sin Alcohol (menos del 1% de alcohol), la energía está entre 32 y 145 kcal. Las mismas no contienen colesterol, Vitamina A ni Vitamina C.

1.1.1.1. Clasificación de las cervezas

En el mundo existen muchas clases de cerveza y cada cual posee un particular aroma, sabor, color y cuerpo; muchas veces llevan el nombre de los pueblos de los cuales son originarias. Si bien todas se fabrican con los mismos ingredientes, cebada malteada, lúpulo, levadura y agua, lo que establece la diferencia entre una y otra son las variaciones de esas materias primas y el tipo de fermentación experimentada. (Marquez Farias, 2015)

La cerveza según el tipo de levadura se clasifica en:

1.1.1.1.1. Cervezas de fermentación baja (LAGER)

Las cervezas de fermentación baja son conocidas como cervezas lager porque fueron almacenadas en bodegas frías después de la fermentación y la maduración. Las levaduras utilizadas son cepas de *Saccharomyces uvarum*. (Suarez Días, 2013)

1.1.1.1.2. Cervezas de fermentación alta (ALE)

Las cervezas de fermentación alta suelen ser un tipo de cerveza con cuerpo y de sabor fuerte, su gama de colores es muy amplia, desde el rubio claro hasta el color cobre. Suelen ser cervezas con gran cantidad de lúpulo. Las levaduras de este tipo de cervezas son elaboradas con cepas de *Saccharomyces cerevisiae*.(Suarez Días, 2013)

1.1.2. Fermentación alcohólica

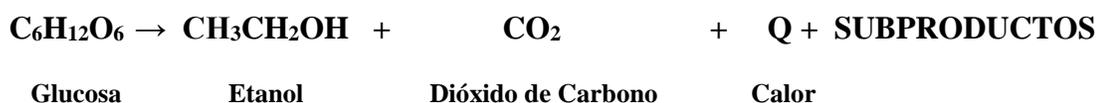
La fermentación alcohólica denominada también como fermentación del etanol es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno – O₂), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono por regla general azúcares como:

- La Glucosa
- La Sacarosa
- La Fructosa
- El Almidón

Para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol, cuya fórmula química es: **CH₃-CH₂-OH**, dióxido de carbono **CO₂** en forma de gas y unas moléculas de **ATP**, que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico.

Podemos por tanto plantear la fermentación como el proceso donde la glucosa es transformada por un microorganismo en etanol y en una serie de componentes con especiales cualidades sensoriales (olor y sabor) y con desprendimiento de **CO₂** y calor.

Ecuación 0-1. Fermentación Alcohólica



1.1.3. Color de la cerveza

El color es una de las características más distintivas de las distintas cervezas y, entre otros factores, también depende del grado de germinación del grano el cual se mide en MCU (Malt Color Units).

Para la cerveza se utilizan diferentes unidades para definir el color. En un origen, esta característica se mide mediante el grado Lovibond. Debido a que las personas tienen diferentes percepciones de los colores, se utilizan métodos y escalas de medición más precisos, como SRM o EBC, para asignar diferentes colores a los valores de estas unidades. (Picón Sánchez, 2020)

Una cerveza con 6 Unidades Standard de Color (SRM) será cerveza rubia, una con 15 unidades será roja, mientras que con 30 unidades SRM será negra. (Oddone, 2018)

Para determinar el color de cerveza a partir de la composición de malta que contiene, el método de cálculo es el siguiente:

1.- Se debe contar con el grado de color de cada malta utilizada, en unidades °L (grados Lovibond).

2.- Se calcula el MCU (Malt Color Units), a partir de la siguiente ecuación:

$$MCUb = \frac{kg\ malta\ 1 * °L + kg\ malta\ 2 * °L * kg\ malta\ 3 \dots kg\ malta\ n * °Ln}{Volumen\ frio} = kg/l$$

3.- El MCU se debe convertir a unidades inglesas (libras/galones)

$$MCU = (MCUb) * \frac{2.2}{0.26} = lb/gal$$

4.- Finalmente se calcula el SRM aplicando la siguiente relación:

$$SRM = 1.5 * (MCU)^{0.7}$$

(Oddone, 2018)

1.1.4. Formas de producción de cerveza

En la producción de cerveza, se distinguen tres tipos de factorías a la hora de elaborarla:

1.1.4.1. Cervecería artesanal

Una cervecería artesanal, es una cervecería que produce una cantidad limitada de cerveza con procesos artesanales. Las definiciones exactas varían, pero los términos se aplican típicamente a cervecerías que son mucho más pequeñas que las cervecerías

corporativas a gran escala y sus dueños son independientes de empresas corporativas. Este tipo de cervecerías se caracterizan generalmente por su énfasis en las variables organolépticas y las técnicas de fermentación. (Norma IBNORCA APNB 323001, 2001)

1.1.4.2. Micro cervecería

Donde se mezclan los procesos industriales con los artesanales, su volumen de producción anual es de miles de hectolitros.

1.1.4.3. Cervecería industrial

Todo el proceso se lleva a cabo de forma industrial, el volumen de producción de estas es de millones de hectolitros. (Soria Ludisaca, 2017)

1.2. 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. (Norma IBNORCA APNB 323001, 2001)

1.2.1. Requisitos de la cerveza artesanal

La cerveza artesanal debe cumplir con los requisitos generales siguientes:

1.2.1.1. Requisitos generales

La cerveza artesanal no deberá tener sabores o aromas extraños, ni deberá contener microorganismos patógenos.

Las materias primas utilizadas para su elaboración deberán estar limpias, libres de contaminantes químicos, residuos de tierra o piedras y microorganismos. (Norma IBNORCA APNB 323001, 2001)

1.3. Materia prima empleados en la elaboración de cerveza artesanal

1.3.1. Cebada

La cebada (Ilustración I-1), es una planta de la familia de las gramíneas. Su nombre procede del latín *cibata*, es un alimento que se usa desde las épocas antiguas para satisfacer las necesidades nutricionales humanas. Contiene un bajo nivel de grasas y sodio, y en cambio, posee gran cantidad de fibra soluble y proteínas, calcio, fósforo y potasio. (Soria Ludisaca, 2017)

Ilustración 0-1. Cebada



Fuente: Munguía, 2017

No todas las variedades de cebada son óptimas para la elaboración de la cerveza. Se utilizan, las denominadas cebadas cervceras, aptas para ser malteadas. Este tipo de granos ha de poseer una serie características para poder ser destinados a la producción de cerveza:

- ✓ **Físicas:** el grano debe ser grueso, uniforme, debe estar libre de infecciones y la cascarilla debe ser fina.
- ✓ **Bioquímicas:** el grano debe absorber bien el agua y que germine rápido y uniformemente, produciendo la mayor cantidad de malta posible.

(Hough, 1990)

La cebada por sí sola no cuenta con enzimas necesarias para transformar en azúcar el almidón que contiene en su interior; por este motivo se realiza el malteado que

no es otra cosa que la germinación del grano a través de un control de parámetros como temperatura, humedad y tiempo. (Recalde Villavicencio, 2017)

1.3.1.1. Malta de Cebada

La malta es la germinación controlada de un cereal, seguida por la interrupción de este proceso natural, secando el grano por medio de calor.

El malteado activa las enzimas diastáticas, que se encargan posteriormente de convertir los almidones de los granos en azúcares fermentables, el proceso les da a los granos el color y el aroma característicos que después contribuyen al carácter final de la cerveza.

Ilustración 0-2. Malta de Cebada

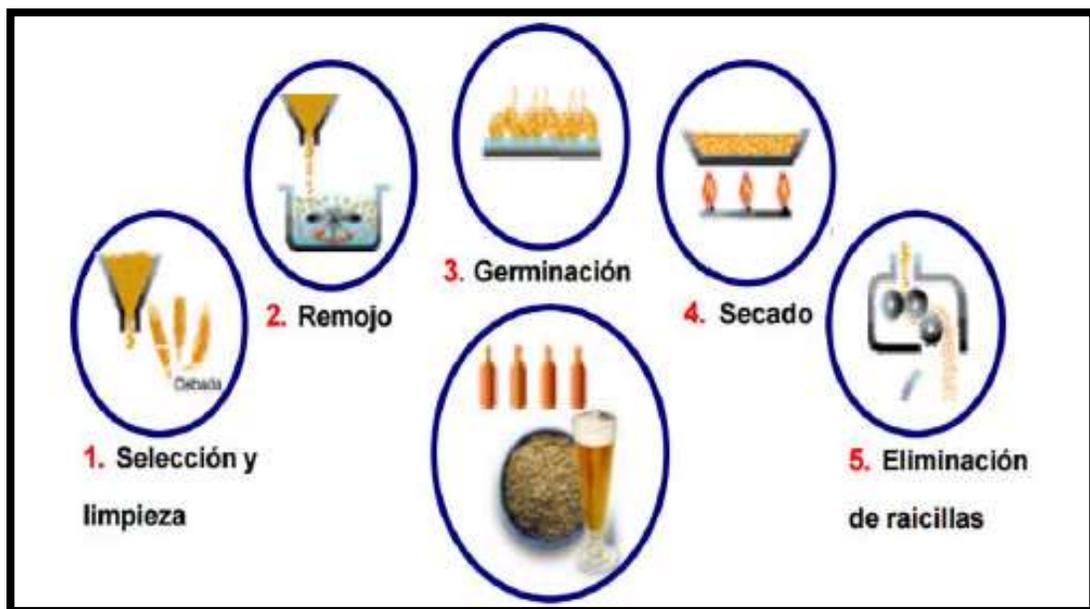


Fuente: Elaboración Propia, 2021

La malta (Ilustración I-2), es el alma de la cerveza, aporta los azúcares que posteriormente la levadura fermentará. Es uno de los ingredientes esenciales de la cerveza, sin sus propiedades la cerveza carecería tanto de color, como de aroma e inclusive sabor.

El malteado consta de varias etapas mostradas en la Ilustración I-3:

Ilustración 0-3. Proceso de malteado de cebada



Fuente: (Echia Morales, 2018)

1.3.1.1.1. Clasificación de las maltas

Las maltas se dividen en dos grupos:

1.3.1.1.1.1. Malta base

Las maltas base son responsables del aporte enzimático y representan el pilar de cada receta, constituye la mayor parte de la malta total empleada en la producción de cerveza. Se fabrica en base a cebada malteada, cuyo proceso final es el secado del grano sin tostar o con un tostado ligero, para preservar las enzimas que permiten la hidrólisis del almidón durante el proceso de fabricación de la cerveza.

1.3.1.1.1.2. Maltas especiales

Las maltas especiales no aportan enzimas ya que la temperatura de secado las inactiva; pero son utilizadas para dotar a las cervezas de colores específicos.

En resumen, las maltas especiales son sometidas a los procesos tecnológicos apropiados que llegan a tener colores desde 5 a 130 EBC (European Brewery Convention) siendo estas las maltas caramelizadas, hasta 900 a 1600 EBC (European

Brewery Convention) son las maltas torrefactadas. (Norma IBNORCA APNB 323001, 2001)

1.3.2. Lúpulo

Es un producto natural obtenido de la planta *Humulus lupulus*, responsable del amargor y de parte del aroma de la cerveza. Este puede estar en forma vegetal o en forma de extracto.

El lúpulo (Ilustración I-4), se clasifica en dos grandes grupos según los maestros cerveceros: lúpulos amargos y aromáticos, y se utilizan en el proceso de cocción para brindar aroma y compensar el sabor dulce del extracto fermentable o mejor llamado mosto. Por otro lado, son inhibidores del crecimiento de microorganismos no deseados, por lo que ayuda a disminuir el riesgo de contaminación.

Ilustración 0-4. Lúpulo



Fuente: The Beer Times, 2018

1.3.2.1. Amargor

Las Unidades Internacionales de Amargor (International Bitterness Units, IBUs) están directamente relacionadas con el contenido y tipo de lúpulo, y con el tiempo de ebullición de cada lúpulo.

El lúpulo en promedio contiene un 35% de lupulina que incluye a los Alfa Ácidos (AA), o principio activo, los que al someterse a ebullición cambia su estructura

molecular, se dice que se isomerizan, y esta reacción produce el amargor en la cerveza. Cuanto más se isomeriza, más amargor se produce. (Oddone, 2018)

1.3.3. Levadura

Según J. S. Hough (1990), “las levaduras son organismos vivos unicelulares que pertenecen al reino de los hongos. Se alimentan de los azúcares provenientes de la malta, transformándolos en alcohol y CO₂ durante un proceso llamado fermentación que se realiza en ausencia de oxígeno”.

Ilustración 0-5. Levadura de Cerveza



Fuente: Sánchez, 2021

La levadura (Ilustración I-5) empleada para cerveza, pertenece al género *Saccharomyces*, la cual es responsable de producir alcohol y dióxido de carbono. Las levaduras se emplean de acuerdo al tipo de cerveza que se elabore; el grupo *cerevisiae* es para las de tipo ale; y las *calbergensis* para cervezas lager que floculan a bajas temperaturas. (Recalde Villavicencio, 2017)

1.3.4. Agua

El agua es un componente de vital importancia para la obtención de cerveza ocupa alrededor del 90 % de la proporción total. (Recalde Villavicencio, 2017)

El tipo de agua utilizada para la elaboración de la cerveza es también un factor determinante en la calidad de la cerveza, por lo que el agua utilizada para la elaboración de la cerveza debe ser pura, potable, inodoro, insípida, sin exceso de sales y sin materia orgánica. (La Redonda, 2020)

Según la Norma Bolivia 512 el agua debe cumplir los siguientes requisitos físicos y organolépticos mostradas en la Tabla I-2:

Tabla 0-2. Requisitos físicos y organolépticos

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Color (**)	15 UCV	UCV = Unidad de color verdadero (y no presentar variaciones anormales) – UCV en unidades de platino cobalto
Sabor y olor (*)	-----	Deben ser aceptables
Turbiedad (**)	5 UNT	UNT = unidades nefelométricas de turbiedad
Sólidos disueltos totales (**)	1 000 mg/l (***)	Valor superior influye en la aceptabilidad

Fuente: (Norma Boliviana 512, 2004)

Entre los minerales del agua (Tabla I-3) que más interesa a los cerveceros están el calcio, los sulfatos y los cloruros. El calcio aumenta la extracción tanto de la malta como del lúpulo en la maceración y en la cocción. El cobre, el manganeso y el zinc, inhiben la floculación de las levaduras. Los sulfatos refuerzan el amargor y la sequedad del lúpulo. Los cloruros dan una textura más llena y refuerzan la dulzura. (Cervezal, 2018)

Tabla 0-3. Límites del Agua

Componente	Máximo
Nitritos	0
Nitratos	Menor a 20 mg/l
Cloruros	Lo más bajo posible
Sulfatos	Menor a 100 mg/l
Hierro	Menor a 0.1 mg/l
Manganeso	Menor a 0.05 mg/l

Componente	Máximo
Dureza Total	Menor a 180 mg/l
Bicarbonatos	Lo más bajo posible
Calcio	Lo más alto posible de la dureza
Magnesio	Lo más alto posible de la dureza
PH	Menor a 8
Silicatos	Menor a 50 mg/l

Fuente: (Cervezal, 2018)

El principal punto a determinar es que este en el rango denominado potable. Esto asegurará que no contenga sustancias nocivas como metales pesados y nitritos.

La presencia de cloro en el agua potable es buena para el saneamiento porque garantiza que nuestra agua esté libre de bacterias, *pero el agua para la elaboración de cerveza artesanal debe estar libre de cloro*. Debido a que el agua potable lo contiene, debe declararse con un filtro de carbón activado o simplemente calentarse hasta que se elimine antes de preparar la cerveza. (Farías Ruiz, 2019)

1.3.5. Adjuntos cerveceros

Se entiende por adjuntos cerveceros a las materias primas que sustituyan parcialmente a la malta, o al extracto de malta en la elaboración de cerveza. Se consideran adjuntos cerveceros a la cebada cervecera y a los cereales, malteados o no malteados. (Código Alimentario Argentino Art 1080 - (Res. GMC N° 014/01), S. F.)

Por otra parte, los adjuntos no solo aportan sabores diferente a la cerveza, sino que también mejoran la sensación en boca, la retención de espuma y hasta el color de la misma. (La Redonda, 2020)

A continuación, se muestran los adjuntos más utilizados:

- Arroz en copos
- Arroz
- Avena
- Avena en copos
- Avena Malteada
- Azúcar
- Cebada sin maltear
- Cebada tostada
- Centeno
- Centeno en copos
- Copos de cebada
- Maíz en copos
- Miel
- Sémola de maíz
- Trigo sin maltear
- Copos de trigo
- Trigo malteado
- Trigo tostado

1.4. Requisitos Organolépticos

La Norma Boliviana 382:2001 indica lo siguiente:

La cerveza artesanal deberá cumplir con las variables cualitativas de sabor y aroma típicos de una cerveza entre las que se encuentran el color, olor, sabor, consistencia y apariencia junto con un nivel de carbonatación adecuado.

1.4.1. Color

Será variable desde los colores de las cervezas claras como la Pilsener hasta el negro de las cervezas Porter y Stout, pero debe ser uniforme en todo el volumen del envase que la contenga.

1.4.2. Sabor y aroma

Debe tener sabor y aroma característicos de la cerveza, con matices según el estilo de la cerveza. Cada maestro cervecero podrá incorporar ingredientes naturales con el objeto de preparar cervezas especiales.

1.4.3. Apariencia

Las cervezas artesanales pueden presentar turbidez y sedimentos característicos de la fermentación.

1.5. Requisitos Físicoquímicos

La cerveza artesanal debe cumplir los siguientes requisitos físicoquímicos mostradas en la Tabla I-4 :

Tabla 0-4. Requisitos Físicoquímicos

Requisito	Unidad	Min.	Máx.	Método de ensayo
pH		3	5	NB 339
Acidez total (% de ácido láctico)	% m/m	-	0.3	Norma Ecuatoriana INEN 2323
Alcohol en volumen	%	0,0	14,4	NB 082

Fuente: (Norma IBNORCA APNB 323001, 2001)

1.6. Requisitos Microbiológicos

La cerveza artesanal deberá cumplir con los límites microbiológicos indicados en la Tabla I-5:

Tabla 0-5. Requisitos Microbiológicos

Parámetro	Recuento total	Método de ensayo
Recuento total de bacterias aerobias mesófilas	1×10^2 UFC / ml	NB 32003 (Plate count agar con inhibidor de levadura o SDA con inhibidor de levadura)
Coliformes y microorganismos patógenos	Ausencia	NB ISO 4831
Recuento total de mohos, UFC/ml	2×10^1 UFC / ml	NB 32006

Fuente: (Norma IBNORCA APNB 323001, 2001)

1.7. Cerveza negra

Según el Código Alimentario Argentino (CAA), Capítulo XIII, artículos 1080 la cerveza negra es aquel cuyo color es igual o superior a 20 unidades EBC (European Brewery Convention).

Sin embargo, dentro de las cervezas negras existen distintos estilos que sorprenden por su suavidad en boca, o su complejidad ambas de origen británico, las reinas indiscutibles de esta familia de cervezas. Entre los estilos de cervezas negras destacan especialmente las:

- Porter
- Stout

1.7.1. Cerveza Porter

Son cervezas artesanales que presentan una fermentación denominada **ALE** que les ofrece un sabor amargo característico y un color muy oscuro. Suele ser seca y con un contenido alcohólico que oscila entre los 4 y 5.4 %.

Presentan un pronunciado color oscuro y sabor a malta tostada, ya sea en versión amarga, dulce o seca, la espuma de esta cerveza debe ser siempre firme y cremosa. La cerveza Porter podría tener un sabor amargo o dulce dependiendo de la cantidad de lúpulo agregado.

1.7.2. Características de la cerveza Porter

La **Guía de Estilos BJCP 2015** (guía de estilos de cerveza) expresa que la cerveza Porter debe tener las siguientes características mostradas en la Tabla I-6:

Tabla 0-6. Características de la Cerveza Porter según la guía BJCP 2015

APARIENCIA	Color marrón claro a oscuro, a menudo con reflejos rubí a trasluz. Buena claridad, aunque puede aproximarse a ser opaca. Espuma moderada, blanquecina a ligero color canela, con buena a justa retención.
	Moderados sabores de malta a pan, bizcocho y tostado que incluye una media a moderada cualidad torrada y a menudo significativo

<p style="text-align: center;">SABOR</p>	<p>carácter a caramelo, nuez o toffee. Puede tener otros sabores secundarios, como café, regaliz, galletas o tostado en apoyo. No debe tener un sabor torrado áspero o quemado significativo, aunque pequeñas cantidades pueden contribuir con una complejidad de chocolate amargo. Sabor a lúpulo moderado a ninguno terroso o floral. Amargor de lúpulo medio-bajo a medio variará el balance de ligeramente maltoso a ligeramente amargo. Por lo general, bastante bien atenuada, aunque puede ser un poco dulce. Diacetilo moderadamente bajo a ninguno. Ésteres frutales moderados a bajos.</p>
<p style="text-align: center;">AROMA</p>	<p>Moderado a moderadamente-bajo aroma de malta a pan suave, bizcocho y tostado, pudiendo tener una cualidad a chocolate. También puede mostrar algo de carácter a malta sin tostar en apoyo (caramelo, nuez, como a toffee y/o dulce). Puede tener hasta un nivel moderado a lúpulos florales o terrosos. Los ésteres frutales son de moderados a ninguno. Diacetilo bajo a ninguno.</p>
<p style="text-align: center;">SENSACION EN LA BOCA</p>	<p>Cuerpo medio-ligero a medio. Carbonatación moderada a moderadamente-alta. Ligera a moderada textura cremosa.</p>

IMPRESIÓN GENERAL	Una cerveza marrón de moderada intensidad con un restringido carácter tostado y amargor. Puede tener una gama de sabores tostados, generalmente sin cualidades quemadas, a menudo con un perfil de malta-chocolate-caramelo.
--------------------------	--

Fuente: Strong & England, 2015

1.8. Cerveza artesanal utilizando avena como adjunto

1.8.1. Avena

Es un género de plantas de la familia de las poáceas, en términos nutricionales, la avena destaca por ser una opción con gran aporte proteico y de fibra en comparación con otros cereales. Asimismo, posee grasas insaturadas y es un alimento rico en potasio, magnesio, calcio y vitaminas del complejo B.

Ilustración 0-6. Avena



Fuente: CGCOF - Catálogo de Plantas Medicinales, 2010

La avena (Ilustración I-6) es uno de los cereales más consumido en el mundo, y de gran valor debido a sus excelentes propiedades y componentes relacionados con la salud,

con el alto contenido de fibra dietaria, especialmente glucanos, minerales y antioxidantes. Posee una capacidad enzimática similar a la cebada cuando se encuentra malteado en comparación cuando esta descascarada, que tiene un poder enzimático muy bajo. (Valenzuela Heredia, 2014)

1.8.1.1. Propiedades nutricionales de la avena

La avena se clasifica como un cereal de grano entero que conservan las tres partes que los componen: germen, endospermo y salvado y su composición nutricional se muestra en la siguiente Tabla I-7:

Tabla 0-7. Composición Química De La Avena

AVENA (100 g)	
Porción comestible (g)	100
Agua (g)	15.8
Energía (kcal)	361
Proteínas (g)	11.7
Lípidos	7.1
Ácidos grasos saturados (g)	1.5
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	2.6
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	2.9
Colesterol (mg)	0

Hidratos de carbono (g)	59.8
Almidón (g)	59.8
Azúcares totales (g)	0
Fibra (g)	5.6
Calcio (mg)	79.6
Hierro (mg)	5.8
Yodo (µg)	6
Magnesio (mg)	129
Cinc (mg)	4.5
Sodio (mg)	8.4
Potasio (mg)	355
Fósforo (mg)	400
Selenio (µg)	7.1
Tiamina (mg)	0.52
Ribiflavina (mg)	0.14
Vitamina B ₆ (mg)	0.96

Vitamina B ₁₂ (µg)	0
Vitamina C (mg)	0
Vitamina D (µg)	0
Vitamina E (mg)	2

Fuente: (Gómez Carus et al., 2017)

1.8.2. Usos de la avena

La avena es maravillosa en una Porter o Stout. La avena aporta un “mouthfeel” suave, sedoso y una cremosidad a una Stout, que debe ser saboreado para ser entendido. (Farías Ruiz, 2019)

La avena está disponible en:

- Copos
- Entera
- Malteada

1.8.3. Avena en copos

Los copos de avena son los granos de avena que han sido aplanados en grandes rodillos industriales y tostados ligeramente y son la forma comercial más común en la que se comercializa la avena. Los copos de avena son esos mismos granos pero hervidos al vapor y aplastados con rodillos para que sean más rápidos de cocinar que los granos.

1.8.4. Cerveza Porter con avena

Es un complemento perfecto para mejorar el cuerpo, la retención de espuma y el sabor de las cervezas oscuras. Se utiliza como aditivo saborizante, potencia los sabores en la cerveza similares a una galleta y confiere una textura única con una sensación cremosa en boca. (Valenzuela Heredia, 2014)

En el pasado, las cervezas negras se elaboraron con altas proporciones de maltas de avena. En este sentido expertos cerveceros señalan que la avena suaviza el sabor de la bebida y la hace más refrescante.

Por otra parte, Angélica María Payán Aristizábal, estudiante de la Maestría en Biotecnología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, preparó una cerveza artesanal negra utilizando avena como adjunto, que promete convertirse en una bebida innovadora, además de nutritiva. La estudiante considera que la avena podría convertirse en una excelente aliada de la cerveza, pues posee proteínas, carbohidratos, vitaminas A y C, fibra y minerales. El cereal suaviza el sabor de la bebida y la hace más refrescante, según la estudiante de la Universidad Nacional. (Pulzo, 2017)

1.8.5. Beneficios de la avena en la cerveza

La avena añadida a la cerveza aporta espesantes naturales que modifican notablemente la sensación en boca de la cerveza obtenida. Añadiendo pequeñas cantidades de avena, se obtienen cervezas de gran cuerpo, muy "sedosas". (Reyes, 2020)

1.9. Método de elaboración.

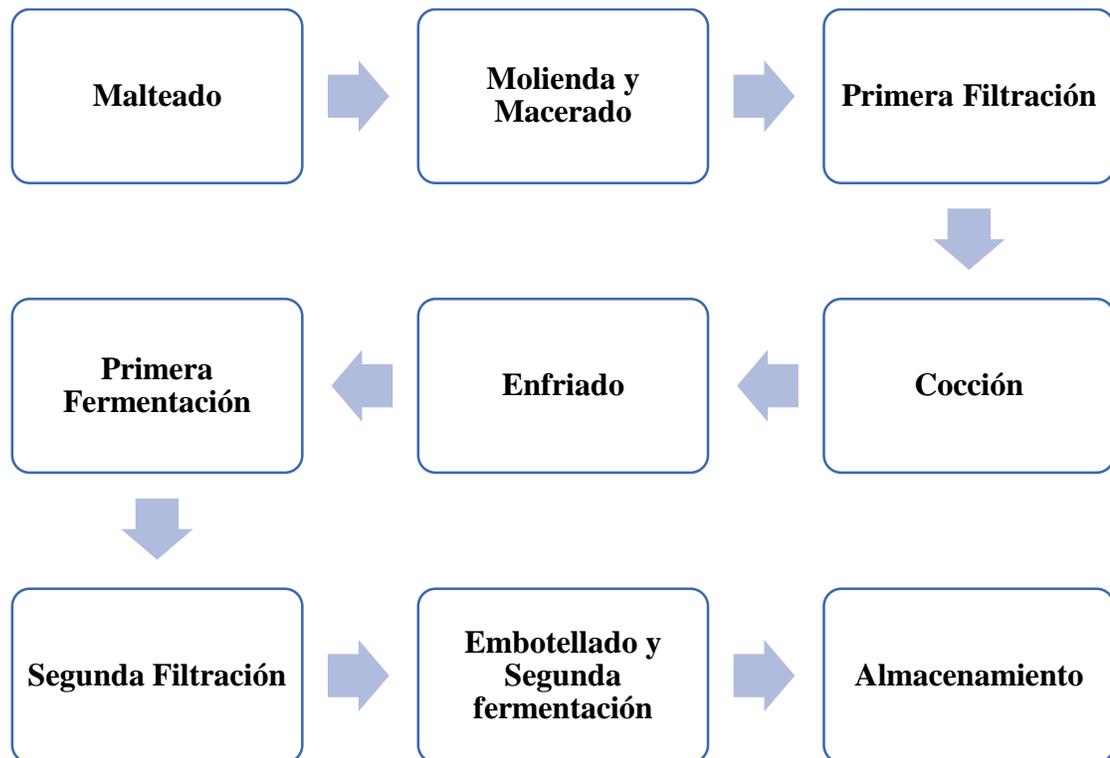
El proceso de elaboración de las cervezas artesanales se hace de forma manual o con una mínima ayuda de maquinaria, al contrario de las grandes cerveceras industriales, donde el proceso es automático y la participación humana es mínima. (Echia Morales, 2018)

1.10. Proceso De Elaboración De Cerveza

La elaboración de cerveza consta de procesos definidos y aplicados tanto a nivel industrial como a nivel artesanal, estos procesos pueden variar de acuerdo con el tipo de equipos y tecnología empleados en ellos.

A continuación se da a conocer las etapas del proceso de elaboración de cerveza, en la (Figura I-1) se muestra cada una de las etapas, con respecto al proceso propio de la investigación.

Figura 0-1. Proceso Elaboración De La Cerveza



Fuente: Elaboración Propia, 2021

1.10.1. Malteado

El malteado es el primer paso en la elaboración de la cerveza y el proceso por el cual se obtiene la materia principal, consiste en remojar la cebada para que los granos germinen. El proceso se detiene secando la cebada por medio de calor y posteriormente se tuesta para que adquiera el color que se desea para la cerveza.

1.10.2. Molienda

La molienda pretende romper el grano malteado, es importante que la molienda no sea excesiva ni tampoco queden granos enteros. Cualquiera de los dos extremos dificultará la elaboración:

- En el primer caso generará mucha harina perjudicando el filtrado.

- En el segundo caso el agua no podrá ingresar al grano, por lo que la extracción de azúcares será incompleta.

Este proceso permite que el agua del macerado disuelva fácilmente el almidón ubicado en el centro del grano y que las enzimas fluyan libremente a través del empaste, convirtiéndolo en azúcares simples o fermentables. (Ucañay Pisfil, 2021)

1.10.3. Macerado

La malta molida es posteriormente macerada; este es uno de los pasos más importantes en nuestro proceso de elaboración, donde el almidón presente en la malta se convierte en azúcar mediante procesos bioquímicos y enzimáticos naturales.

Los azúcares extraídos aumentan rápidamente al principio y en una hora se obtiene la mayor parte del extracto, aunque la mayor extracción se obtiene luego de 90 a 120 minutos. (Ferreira, 2014)

La mezcla final de este proceso recibe el nombre de mosto, una solución dulce formada, entre otras cosas por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros elementos disueltos en agua.

1.10.3.1. Extracto

Se denomina extracto a los componentes de los cereales que entran en solución con ayuda de enzimas, por consiguiente, todas las sustancias que entran en solución se denominan extracto. El extracto es una característica de calidad, la cual se mide en todo el proceso. (Patiño Yurquina, 2014)

1.10.3.2. ¿Qué contiene el extracto?

El extracto contiene:

- Azúcares Fermentables
- F.A.N (Free Amino Nitrogen) o Nitratos de amino-ácidos
- Minerales
- Vitaminas

Dentro del mosto existen otras sustancias las cuales no son fermentables ya que la levadura no los puede procesar. Estas mismas sustancias son las que le brindan el cuerpo deseado a nuestra cerveza. Estas sustancias son: azúcares no fermentables, dextrinas, proteínas solubles y otras sustancias inorgánicas. (Farías Ruiz, 2019)

1.10.3.3. Tipos de Maceración

Aunque existen múltiples métodos de maceración, en esta ocasión se centra en describir dos técnicas básicas de llevar a cabo este importante paso en la elaboración de cerveza a partir de grano.

Los dos métodos en cuestión constan de:

- Maceración por infusión simple
- Maceración escalonada

(La Redonda, 2020)

1.10.3.3.1. Maceración por infusión simple

“Este es el régimen tradicional para elaborar Ales, pero actualmente también se utiliza con éxito para fabricar Lagers.” (Huxley, 2006)

Esta es la manera más fácil. Consiste en mezclar toda la malta o malta molida con agua caliente, se produce un solo estacionamiento a la temperatura óptima de β -amilasa para promover su actividad de sacarogénica, manteniendo así la mezcla de agua y malta a una temperatura de 62-68 °C, para permitir la acción enzimática y la extracción del mosto. Para la maceración simple, el tiempo de estacionamiento es de una hora a una hora y media. (La Redonda, 2020)

1.10.3.3.2. Maceración Escalonada

Una solución popular de macerado escalonado es el macerado mencionado por primera vez por George Fix, su temperatura es de 40 °C – 60 °C – 70 °C, y cada sección intermedia reposa durante media hora. Este esquema produce mostos de excelente fermentabilidad. El tiempo a 40 °C puede mejorar la licuefacción del macerado y

promover la actividad enzimática, y la variación del tiempo de reposo a 60 °C y 70 °C puede ajustar la distribución de azúcares fermentables. (Farías Ruiz, 2019)

1.10.3.4. Temperatura y pH en la elaboración de la cerveza artesanal

Tanto la **temperatura** como el **pH** son importantes para el accionar de las enzimas. Cada una, logra su máxima acción a una temperatura y a un pH determinado, valores que llamamos óptimos.

Si deseamos cervezas más alcohólicas y secas, debemos de macerar entre 60 y 65 °C. Por otro lado, para cervezas de menor contenido de alcohol, más dulces y de mayor cuerpo debemos usar temperaturas entre 68.5 y 70 °C. A temperaturas intermedias (67 °C), se producirá como es lógico el efecto intermedio, obteniendo un resultado más equilibrado entre el cuerpo y el volumen de alcohol. (Alvarez Barriga, 2018)

En la Tabla I-8, podemos ver unos rangos óptimos de temperatura y pH que activan las diferentes enzimas.

Tabla 0-8. Condiciones Óptimas para las enzimas

Enzima	Rango óptimo de temperatura	Rango óptimo de pH	Función
Fitasa	30-52 °C	4.4-5.5	Baja el pH del mosto, actualmente no es utilizado.
Beta Glucanasa	36-45 °C	4.5-5.0	Reduce la viscosidad del mosto, y mejora la clarificación, convierte beta glucanos en carbohidratos fermentables.
Peptidasa	46-57 °C	4.6-5.2	Produce Amino Nitrógeno Libre, que es esencial para la levadura y la fermentación.

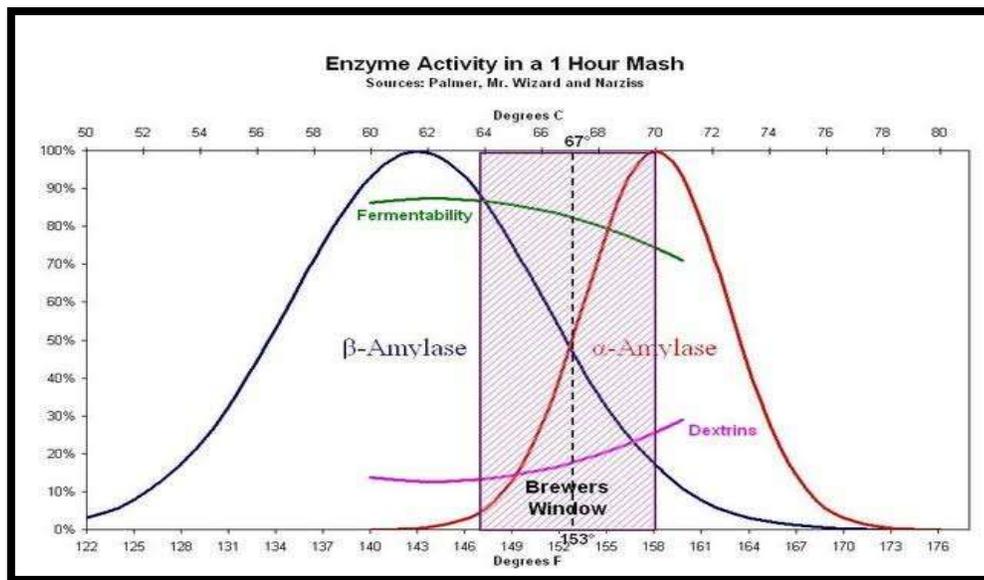
Enzima	Rango óptimo de temperatura	Rango óptimo de pH	Función
Proteasa	46-57 °C	4.6-5.2	Rompe proteínas grandes y reduce la turbidez.
Beta Amilasa	54-65 °C	5.0-5.6	Produce azúcares cortos, altamente fermentables.
Alpha Amilasa	68-75 °C	5.3-5.8	Produce azúcares de larga cadena, poco fermentables, que agregan cuerpo a la cerveza.

Fuente: (Benitez Baltazar & Morales Rivas, 2018)

En términos generales siempre habrá algo de actividad enzimática en los rangos de temperatura inferiores y superiores, inclinándola más a la derecha o la izquierda para balancear entre azúcares fermentables y no fermentables.

En la Ilustración I-7, muestra el porcentaje de actividad de sus enzimas en función de la temperatura, además muestra la actividad de ambas enzimas, y su punto de traslape máximo a 67 °C.

Ilustración 0-7. Actividad Enzimática En Diferentes Rangos De Temperatura



Fuente: (Benitez Baltazar & Morales Rivas, 2018)

1.10.4. Primera Filtración

Esta primera filtración se realiza sobre los granos de malta. La actividad se desarrolla en dos fases. Primero el filtrado del mosto y luego la operación de lavado del grano.

Para el filtrado del mosto en la mayoría de los procesos de producción de cerveza artesanal se utiliza el método de **recirculación**, que consiste en hacer pasar el mosto por la capa de granos de malta varias veces. A medida que avanza la recirculación, se acumulan impurezas en el bagazo de esta manera se retienen más impurezas.

En cuanto al lavado de los granos de malta, esta etapa es necesaria para obtener un mayor rendimiento porque el azúcar permanece en el bagazo después de la **recirculación**. (Merelo Espinar & Zúñiga Tapia, 2013)

El lavado consiste en enjuagar el lecho de grano, para ello, simplemente se agrega agua caliente a los granos de malta, a esto se le llama lavar el grano, porque el agua pasa a través del grano para extraer la mayor cantidad posible de azúcares sin extraer taninos astringentes de la cáscara del grano. La temperatura del agua de lavado es muy importante, por lo que la temperatura del agua no debe superar los 76.7 °C (170°F)

porque el tanino de la cáscara se vuelve más soluble sobre esa temperatura. El lavado se realiza lentamente para evitar romper la capa filtrante. El tiempo de lavado depende de la cantidad de granos de malta. (Palmer, 2006)

1.10.5. Cocción

La cocción se hace de forma vigorosa, permite que se evapore el agua y facilita que se desprendan compuestos que pueden dar lugar a sabores no deseados en la cerveza. Por eso es tan importante que el mosto hierva vigorosamente.

Este proceso es necesario por las siguientes cuestiones:

1. Destruir enzimas y microorganismos, esterilizando el líquido.
2. Aumentar la concentración de los azúcares por la evaporación del agua del mosto.
3. Otorgarles el amargor característico a las cervezas mediante la adición de lúpulo.
4. Coagular por acción del calor las sustancias proteicas disueltas en el mosto, que sedimentan como turbios. (Merelo Espinar & Zúñiga Tapia, 2013)
5. Evaporación de compuestos aromático indeseables, como el sulfuro de dimetilo o dimetil sulfuro (DMS).

Una vez que el mosto ha llegado a ebullición, se procede a realizar las adiciones del lúpulo en el siguiente orden según (Palmer, 2006), indican que los tiempos aproximados para conseguir las diferentes características del lúpulo son:

- **Al inicio** para otorgarle amargor al producto. Los lúpulos agregados se hierven por 45-90 minutos para isomerizar los alfa ácidos, los aceites aromáticos del lúpulo se evaporan con el hervor, dejando poco sabor a lúpulo, y nada de aroma. Por lo tanto, las variedades con alto contenido de alfa ácidos se pueden utilizar para obtener el máximo amargor sin afectar el sabor de la cerveza.

- **A la mitad** para darle el sabor, al agregar el lúpulo a la mitad del hervor, se produce un compromiso entre la isomerización de los alfa ácidos y la evaporación de los aromas, logrando sabores característicos.
- **Al final** de la cocción para brindarle el aroma característico a lúpulo que poseen las cervezas. Añadiendo lúpulo en los últimos minutos de ebullición, se perderá menos aceite aromático por evaporación, mientras que se retendrá el aroma del lúpulo.

Con la adición del lúpulo se logra prolongar su vida útil una vez embotellada, evitando la proliferación de bacterias. Una vez finalizada la cocción, el mosto se deberá filtrar para separarlo del lúpulo añadido. (Balaguer Serra, 2017)

El tiempo mínimo de cocción es de 1 hora, e incluso algunas cervezas pueden extenderse a 3 o 4 horas. Sin embargo, estos son estilos muy específicos. Por norma general el tiempo de cocción es de entre una hora y una hora y media. (FCA y F & LIPA, 2018)

En esta etapa 5 a 10 minutos antes de finalizar el hervor se realiza el “**WHIRLPOOL**” que consiste en girar lo más rápido posible para que el remolino formado provoque la aglomeración de proteínas y otras impurezas en el fondo de la olla. (Merelo Espinar & Zúñiga Tapia, 2013)

1.10.6. Enfriado

En este momento llega la necesidad de enfriar el mosto a la temperatura de fermentación.

Es importante que el proceso sea lo más rápido posible. A partir de este momento, será subyacente que el equipo esté perfectamente desinfectado y sanitizado a fin de evitar eventuales contaminaciones. Con tal objetivo, el enfriado debe demorar no más de 30 o 40 minutos pues caso contrario sería un riesgo para la proliferación de otros microorganismos. (FCA y F & LIPA, 2018)

Esto es fundamental por los siguientes motivos:

- Si el mosto descansa mucho tiempo entre 30 y 50 °C, habrá muchas posibilidades de invasión por organismos no invitados tales como bacterias o levaduras salvajes.
- También puede producirse oxidación.

1.10.7. Primera Fermentación

La fermentación se produce por la acción de la levadura sobre los azúcares fermentables obtenidos en la etapa de maceración. En esta etapa, las levaduras consumen el oxígeno disponible en el mosto para reproducirse, una vez que se agota el oxígeno, consumen azúcar y producen etanol.

En este proceso, se puede utilizar levadura de cerveza Lager fermentada a una temperatura baja de 7 a 13 °C en un tiempo de 2 a 3 semanas y levadura de cerveza Ale que fermenta a una temperatura superior de 18 a 25 °C en un tiempo más corto de 5 a 10 días, dependiendo del tipo. de la elaboración de cerveza.

Al comienzo de la fermentación, se observa una fuerte actividad, debido a que se libera una gran cantidad de CO₂, se coloca un dispositivo en el fermentador para permitir que el CO₂ escape al exterior para evitar que el fermentador explote y a su vez para evitar que el oxígeno o cualquier microorganismo ingrese desde el exterior para evitar cualquier posible contaminación. (Merelo Espinar & Zúñiga Tapia, 2013)

1.10.8. Segunda Filtración

Concluida la fermentación, se realiza el filtrado. Este proceso se realiza para eliminar la capa de residuos que se formó durante la fermentación.

Este proceso es importante ya que un buen filtrado asegura una cerveza visualmente atractiva, reteniendo los restos de levaduras, proteínas y granos restantes; no obstante, en algunos tipos de cerveza se busca dejar sedimentos como parte de las características de dichas cervezas”. (Echia Morales, 2018)

1.10.9. Embotellado y Segunda Fermentación

Después de la fermentación todavía queda algo de levadura en suspensión inactiva por falta de azúcar. (Merelo Espinar & Zúñiga Tapia, 2013)

Disponemos de dos métodos de carbonatación. La primera consiste en la adición de azúcar al final de la fermentación dejando que la levadura se someta a una segunda fermentación ahora en un recipiente hermético. Por lo que el CO₂ generado en esta ocasión quede retenido en el envase. Este método se denomina carbonatación natural. La otra carbonatación se realiza de forma artificial inyectando CO₂ comprimido en el recipiente donde desea almacenar la cerveza. (Oddone, 2018)

Si nos basamos en la estequiometría, recordemos que:



(Oddone, 2018)

Sin embargo, dado que siempre se produce algún subproducto de la fermentación, la eficiencia es del 95 % y podemos ajustar la ecuación de la siguiente manera:



(Oddone, 2018)

✓ Por cada gramo de azúcar se generan 0.463 gramos de CO₂.

Los niveles de CO₂ apropiados para cada estilo se detallan en la Tabla I-9, los niveles de carbonatación generalmente se miden en volumen de CO₂ o gramos de CO₂ por litro. En la Tabla I-10 se detalla la relación entre los volúmenes de CO₂ y la cantidad en gramos. Un volumen de CO₂ es el volumen de gas por volumen de cerveza.

Tabla 0-9. Estilos de cerveza y volúmenes de CO₂.

Volúmenes de CO₂ requeridos de acuerdo al estilo	
Ales británicas	1.5-2.0
Stout, Porter	1.7-2.3
Lagers Europeas	2.2-2.7
Ales Americanas	2.2-2.7
Trigo	3.3-4.0

Fuente: (Oddone, 2018)

Tabla 0-10. Volúmenes de CO₂ disueltos luego de la fermentación.

Temperatura	CO₂ (gramo/litro)	Volúmenes de CO₂
0	3.34	1.70
2	3.14	1.60
4	2.95	1.50
6	2.75	1.40
8	2.55	1.30
10	2.36	1.20
12	2.20	1.12
14	2.06	1.05
16	1.94	0.99

Temperatura	CO₂ (gramo/litro)	Volúmenes de CO₂
18	1.83	0.93
20	1.73	0.88
22	1.63	0.83
25	1.53	0.73
27	1.40	0.69

Fuente: (Oddone, 2018)

CAPÍTULO II

II. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción y análisis de materia prima

Las materias primas utilizadas fueron seleccionadas de acuerdo al estilo que quería producir, en este caso es el estilo de una English Porter para esta cerveza se utilizó malta Pale Ale, algunas Maltas Especiales y Hojuelas de Avena Tradicional para lograr un perfil de color y de alcohol deseado, también se utilizó dos tipos de lúpulo y por último se utilizó levadura Safale S-04.

La receta utilizada (Tabla II-1) como base para la elaboración de cerveza artesanal estilo Porter a base de malta de cebada y avena fue la siguiente:

Tabla II-1. Receta utilizada como base en la elaboración de cerveza artesanal estilo Porter

INGREDIENTES		
MALTA PALE ALE	0.39	kg
MALTAS ESPECIALES MALTA CARAHELL MALTA CARAMUNICH TIPO 2 MALTA MUNICH 1 MALTA CARAFA TIPO I MALTA CARAFA TIPO II MALTA CARAAROMA	0.27	kg
Lúpulo (CASCADE) :	0.002	kg
Lúpulo (FUGGLE):	0.003	kg
Levadura US-04:	0.003	kg
Total Malta:	0.66	kg

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Donde el 100% de maltas es 0.66 kg las cuales equivalen a 660 g de maltas (Tabla II-1), entonces, la cantidad de avena necesaria en la elaboración de cerveza artesanal y la cantidad de azúcares aportados (Tabla II-2) será:

Tabla II-2. Cantidad de Avena utilizada en la elaboración de la Cerveza Artesanal

Porcentaje de Avena	Cantidad de avena (g)	Azúcares aportados (g)
5 %	33	0.759
10%	66	1.518
15%	99	2.277
20%	132	3.036

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Por tanto:

- ✓ 5% de avena = 33 g = 0.759 g de azúcares aportados
- ✓ 10% de avena = 66 g = 1.518 g de azúcares aportados
- ✓ 15% de avena = 99 g = 2.277 g de azúcares aportados
- ✓ 20% de avena = 132 g = 3.036 g de azúcares aportados

2.1.1. Maltas

Se utilizaron los siguientes tipos de malta:

2.1.1.1. Malta Pale Ale

La Malta Pale Ale (Fotografía II-1) más cultivada y más usada en el mundo de la cerveza. Es la malta base por excelencia, aportando al mosto gran cantidad de azúcares fermentables y relativamente poco color y sabor.

Fotografía II-1. Malta Pale Ale

Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.1.1.1. Características

- Sensorial: finas notas de pan, con toques de frutos secos y miel.
- Actividad enzimática: alta

En la Tabla II-3, se presenta la ficha técnica de la Malta Pale Ale:

Tabla II-3. Ficha Técnica Malta Pale Ale

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Contenido de humedad	-	5	%
Extracto (sustancia seca)	79	-	%
Color EBC	5.5	7.5	EBC
Color (Lovibond)	2.5	3.3	Lovibond
Proteína (sustancia seca)	9	12	%
Índice de Kolbach	37	43	%

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Tiempo de sacarificación	-	20	min
Viscosidad (8.6%)	-	1.69	m Pa s
Friabilidad	78	-	%

Fuente: Weyermann, 2021

2.1.1.2. Avena

Para la elaboración de este proyecto se ocupó las hojuelas de avena MonteCristo (Fotografía II-2), la avena utilizada se encuentra libre de azúcares añadidos y sin colesterol.

La avena, se beneficia con el hervido antes de agregarla al macerado, la avena utilizada generalmente en la industria cervecera tiene cierto grado de gelatinización. Esta debe ser cocinada como lo indica el envase (pero agregando más agua) para asegurarse que los almidones serán utilizados por completo. (Palmer, 2006)

Fotografía II-2. Hojuelas de Avena MonteCristo



Fuente: Elaboración Propia, 2021

En la Tabla II-4, se presenta la tabla nutricional de la avena:

Tabla II-4. Tabla Nutricional Hojuelas de Avena

Nutrientes	Cantidad por 100 g	Cantidad por 20 g	%VD por porción 20 g (*)
Valor energético (kcal)	391.98	78.39	-
Proteína (g)	12.96	2.59	5
H. Carbono (g)	7.04	1.41	-
Grasa total (g)	6.22	1.24	2
Fibra (g)	1.39	0.27	1
Sodio (mg)	6.44	1.28	-

Fuente: MonteCristo Bolivia S.R.L., 2021

En la Tabla II-5, se presenta la cantidad de azúcar en 100 g de avena.

Tabla II-5. Azúcares Totales de la avena

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado	Límites permisibles	Referencia de los límites
Azúcares Totales	NB 38033:06	%	2.33	Sin Referencia	Sin Referencia
NB: Norma Boliviana		% porcentaje			

Fuente: Laboratorio CEANID-UAJMS, 2021

2.1.1.3. Malta CARAHELL

La malta CARAHELL (Fotografía II-3), es una malta caramelo alemana, útil para Ales y Lagers, adiciona un agradable sabor malteado y ayuda mejorar la sensación en boca de cualquier cerveza.

Fotografía II-3. Malta Caramelo Hell



Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.1.3.1. Características

- Sensorial: dulce a malta; finas notas de caramelo
- Actividad enzimática: ninguna

En la Tabla II-6, se presenta la ficha técnica de la Malta CARAHELL:

Tabla II-6. Ficha Técnica Malta Caramelo Hell

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Contenido de humedad	-	9	%
Extracto (sustancia seca)	74	-	%
Color EBC	20	30	EBC

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Color (Lovibond)	8	11.8	Lovibond

Fuente: Weyermann, 2021

2.1.1.4. Malta CaraMunich II

Esta malta (Fotografía II-4) de color caramelo-cobre proporciona un aroma y un sabor rico de malta a las cervezas lager ámbar y negras.

Aumenta de la consistencia, intensifica el aroma a malta, da sabor más pleno y completo, permite colores más intensos.

Fotografía II-4. Malta CaraMunich II



Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.1.4.1. Características

- Sensorial: aroma a caramelo pronunciado con notas de pastelería
- Actividad enzimática: ninguna

En la Tabla II-7, se presenta la ficha técnica de la Malta CaraMunich II:

Tabla II-7. Ficha Técnica Malta CaraMunich II

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Contenido de humedad	-	6.5	%
Extracto (sustancia seca)	73	-	%
Color EBC	110	130	EBC
Color (Lovibond)	41.90	49.5	Lovibond

Fuente: Weyermann, 2021

2.1.1.5. Malta Munich

La malta Munich (Fotografía II-5) potencia el típico carácter de la cerveza mediante un refuerzo en su aroma, así como también, le otorga un color fuerte a la misma.

El rico aroma a malta y el color de la malta son perfectos para estilos de cerveza de malta y colores más profundos.

Fotografía II-5. Malta Munich

Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.1.5.1. Características

- Sensorial: aroma a malta pronunciado con notas de caramelo, miel y pan.
- Actividad enzimática: media

En la Tabla II-8, se presenta la ficha técnica de la Malta Munich:

Tabla II-8. Ficha Técnica Malta Munich

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Contenido de humedad	-	4.5	%
Extracto (sustancia seca)	78	-	%
Color EBC	12	18	EBC
Color (Lovibond)	5	7.2	Lovibond
Proteína (sustancia seca)	9.5	12.5	%
Índice de Kolbach	37	46	%
Índice de Hartong 45 ° C	34	45	%
Tiempo de sacarificación	-	20	min
Viscosidad (8.6%)	-	1.69	m Pa s
Friabilidad	75	-	%

Fuente: Weyermann, 2021

2.1.1.6. Malta Carafa I

La malta Carafa I (Fotografía II-6) tiene un sabor amargo-dulce similar al chocolate, agradables características quemadas y aporta un profundo color rubí negro. Se debe usar moderadamente.

Fotografía II-6. Malta Carafa I

Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.1.6.1. Características

- Sensorial: aromático finamente tostado, notas de café, cacao y chocolate amargo.
- Actividad enzimática: ninguna

En la Tabla II-9, se presenta la ficha técnica de la Malta Carafa I:

Tabla II-9. Ficha Técnica Malta Carafa I

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Contenido de humedad	-	3.8	%
Extracto (sustancia seca)	65	-	%
Color EBC	800	1000	EBC
Color (Lovibond)	302.1	377.5	Lovibond

Fuente: Weyermann, 2021

2.1.1.7. Malta Carafa II.-

La malta Carafa II (Fotografía II-7) aporta un profundo aroma y color a las cervezas oscuras. Recomendada para cualquier cerveza oscura.

Fotografía II-7. Malta Carafa II



Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.1.7.1. Características

- Sensorial: tostado aromático; notas de café, cacao y chocolate amargo.
- Actividad enzimática: ninguna

En la Tabla II-10, se presenta la ficha técnica de la Malta Carafa II:

Tabla II-10. Ficha Técnica Malta Carafa II

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Contenido de humedad	-	3.8	%
Extracto (sustancia seca)	65	-	%
Color EBC	1050	1250	EBC
Color (Lovibond)	396.3	471.7	Lovibond

Fuente: Weyermann, 2021

2.1.1.8. Malta CaraAroma

La malta CaraAroma (Fotografía II-8) entrega un intenso sabor acaramelado, potencia el cuerpo, aumenta el aroma a malta en cervezas oscuras. Sirve para intensificar y estabilizar el sabor y el gusto de la cerveza.

Fotografía II-8. Malta CaraAroma



Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.1.8.1. Características

- Sensorial: primeros matices de aromas tostados, notas de frutos secos tostados, caramelo oscuro y frutos secos.
- Actividad enzimática: ninguna

En la Tabla II-9, se presenta la ficha técnica de la Malta CaraAroma:

Tabla II-9. Ficha Técnica Malta CaraAroma

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Contenido de humedad	-	7	%
Extracto (sustancia seca)	74	-	%
Color EBC	350	450	EBC

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Color (Lovibond)	132.4	170.1	Lovibond

Fuente: Weyermann, 2021

2.1.2. Lúpulo

Para la elaboración del proyecto se utilizaron dos tipos de lúpulo en pellets, uno para dar sabor y amargor y el otro para el aroma.

- **Para sabor y amargor** se utilizó el lúpulo Cascade (Fotografía II-9) con un nivel de alfa-ácido de 8%, esta es una de las variedades de lúpulo más populares para la elaboración de la cerveza.

En la Tabla II-11, se presenta las características del Lúpulo Cascade (pellets):

Tabla II-11. Características Lúpulo Cascade (pellets)

Análisis	Resultados
Alfa Ácidos	4-7% (peso/peso)
Cohumulonas	33-40%
Beta Ácidos	4.5-7% (peso/peso)
Aceites Esenciales	Aprox. 0.8-1.5 ml/100 g
Beta-Cariofileno (Humulen)	0.32
Farneseno	<0.4-0.8%
Linalool %	0.4-0.6%
Linalool alfa-acido	0.09-0.10

Fuente: (Alvarez Barriga, 2018)

Fotografía II-9. Lúpulo Cascade (pellets)



Fuente: Elaboración Propia, 2021

- **Para aroma** se utilizó el lúpulo Fuggle (Fotografía II-10) con un nivel de alfa-ácido de 5.9%, este es un lúpulo aromático inglés conocido desde 1861. Excelente para Ales de estilo inglés, Los aromas son más de tierra y menos dulces que los Kent Goldings.

En la Tabla II-12, se presenta las características del Lúpulo Fuggle (pellets):

Tabla II-12. Características Lúpulo Fuggle (pellets)

Análisis	Resultados
Alfa Ácidos	3.0 - 7.0% (peso/peso)
Beta Ácidos	2.0 - 4.0% (peso/peso)
Cohumulonas	27 - 33%
Aceites esenciales	0.7 – 1.4 ml /100 g
Myrcene:	24 - 28%
Linalool:	0.5 – 0.7%

Fuente: tiendacervecera.com

Fotografía II-10. Lúpulo Fuggle (pellets)



Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.1.3. Agua

Para la elaboración de cerveza artesanal se utilizó agua purificada de mesa, con ello no será necesario realizar ningún tratamiento antes de su uso.

En la Tabla II-13, se presenta los análisis organolépticos del agua utilizada en la elaboración de la cerveza artesanal:

Tabla II-13. Análisis Organolépticos

Tipo de Análisis	Unidades	Resultados
Aspecto	-	Cristalino
Sabor	-	Insípido
Olor	-	Inodoro

Fuente: Empresa de Agua de Mesa Purificada (Agua Mia), 2021

En la Tabla II-14, se presenta los análisis fisicoquímicos del agua utilizada en la elaboración de la cerveza artesanal:

Tabla II-14. Análisis Fisicoquímicos del Agua Envasada

Tipo de Análisis	Unidades	Resultados
pH	-	7.05
Cloro libre residual	mg/l	No determinado
Turbiedad	NTU	1.04
Dureza (como CaCO ₃)	mg/l	17.75
Calcio	mg/l	5
Sulfatos	mg/l	18.83
Magnesio	mg/l	1.28
Sodio	mg/l	7.00

Fuente: Empresa de Agua de Mesa Purificada (Agua Mia), 2021

En la Tabla II-15, se presenta los análisis bacteriológicos del agua utilizada en la elaboración de la cerveza artesanal:

Tabla II-15. Análisis Bacteriológico del Agua Envasada

Tipo de Análisis	Unidades	Resultados
Coliformes Totales	NMP/100 ml	No Determinado
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	No Determinado
Coliformes Termorresistentes	NMP/100 ml	No Determinado

Fuente: Empresa de Agua de Mesa Purificada (Agua Mia), 2021

2.1.4. Levadura

Para la elaboración de este proyecto se utilizó levadura Safale S-04 (Fotografía II-11), esta es una levadura de cepa inglesa comercial del tipo ale, muy conocida, seleccionada por su rápida velocidad de fermentación y la capacidad de formar un sedimento compacto en el fondo de los fermentadores, pues posee una excelente capacidad de floculación.

En la Tabla II-16 se presenta las características de la Levadura Safale S-04:

Tabla II-16. Características Levadura Safale S-04

Análisis	Resultados
% Peso seco	94.0 – 96.5
Células viables al envasado	$> 6 \times 10^9/g$
Bacterias totales*	$< 5 / ml$
Bacterias ácido acéticas*	$< 1 / ml$
Lactobacilos*:	$< 1 / ml$
Pediococcus*	$< 1 / ml$
Levaduras salvajes no Saccharomyces*	$< 1 / ml$

Fuente: Fermentis Lesaftfre For Beverages, 2021

Fotografía II-11. Levadura Safale S-04



Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.2. Descripción del método de investigación

Para elaborar el proyecto se utilizó la metodología de investigación de datos históricos.

2.2.1. Metodología de Investigación de datos históricos

Para la elaboración de la cerveza se recopiló información de fuentes secundarias para poder identificar las variables que se tomaron en cuenta en el proceso de elaboración, también se utilizó esta metodología para poder elegir los análisis al producto obtenido.

2.3. Diseño Factorial

En esta investigación se aplicó un diseño DCA (Diseño completamente al azar) empleando un total de cuatro tratamientos, con tres repeticiones.

El análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para verificar las diferencias en las medias. Básicamente, este análisis implica separar la contribución de cada fuente de variación de la variación total observada.

Requerimientos para el análisis de la varianza:

1. Normalidad.
2. Varianzas homogéneas.
3. Independencia.

Se mantiene constantes todas las variables del proceso, excepto la cantidad de Avena a utilizar. Para determinar si esta tiene un efecto significativo en el producto final.

Factor A: Porcentaje de malta de avena.

Niveles: En el factor A se empleó los siguientes niveles:

A1: 5%

A3: 15%

A2: 10%

A4: 20%

2.3.1. Tratamientos.-

Los tratamientos que se emplearon en esta investigación se detallan en la Tabla II-17, se tomó como referencia la receta mostrada en la Tabla II-1, con ella se estableció cuatro tratamientos con tres repeticiones.

Tabla II-17. Tratamientos

Tratamientos	Código	Descripción
1	T1	5% avena + 95% mezcla de cebadas malteadas.
2	T2	10% avena + 90% mezcla de cebadas malteadas.
3	T3	15% avena + 85% mezcla de cebadas malteadas.
4	T4	20% avena + 80% mezcla de cebadas malteadas.

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.3.2. Variable Respuesta

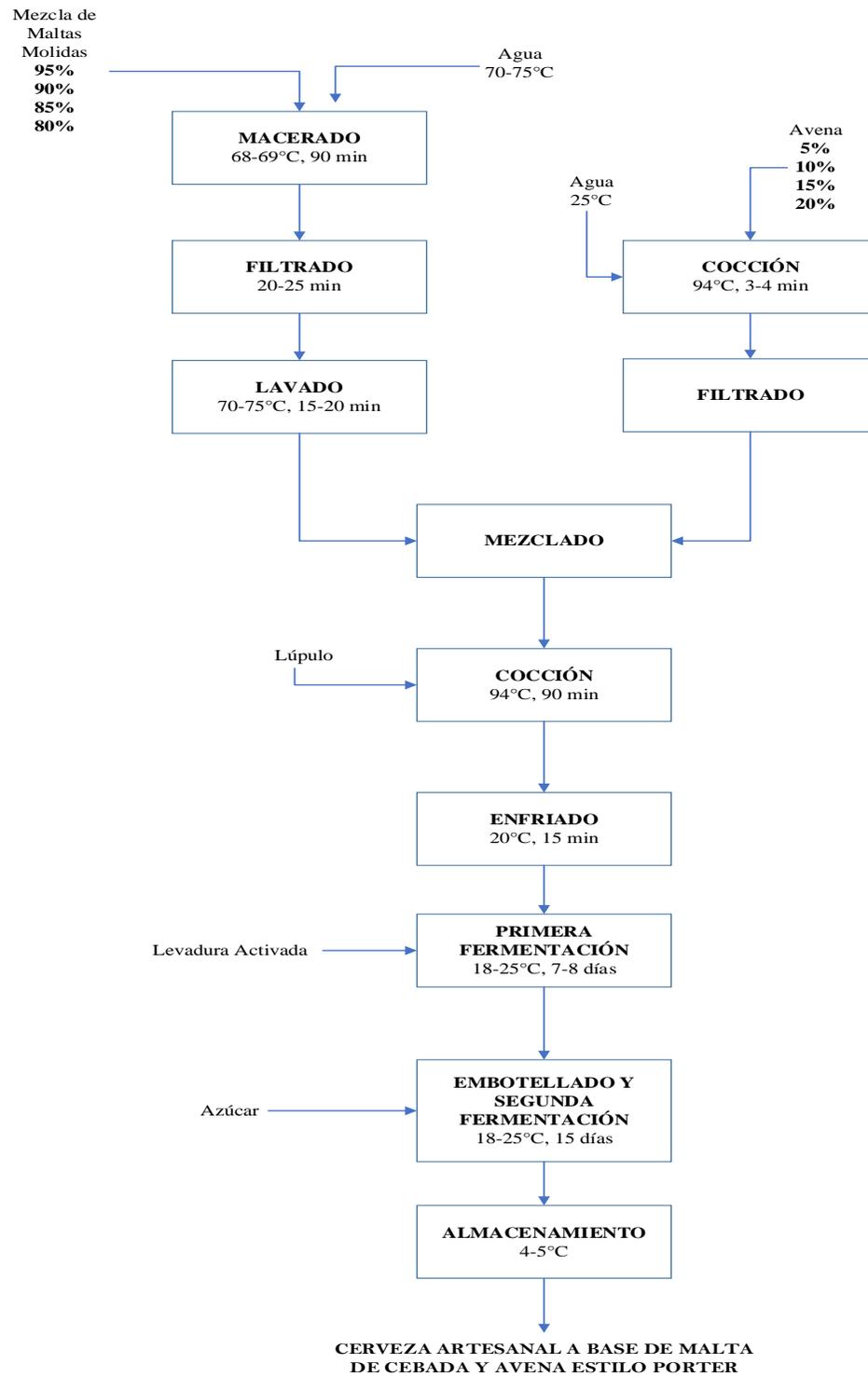
La variable respuesta que se tomó fue el % de alcohol, ya que cuanto menor es la cantidad de malta de cebada y **mayor la cantidad de avena** utilizada en la elaboración, menor es el contenido de alcohol en el producto final:

- %Alcohol

2.4. Procedimiento y técnicas empleadas

Para la elaboración de cerveza artesanal se ejecutó un diagrama de proceso (Figura II-1), posteriormente se detalló cada una de las operaciones durante el desarrollo de la investigación.

Figura II-1. Diagrama de Flujo Elaboración De Cerveza Artesanal



Fuente: Elaboración Propia, 2021

a) Molienda

La operación se realiza con un molino manual para granos marca **CORONA** (Fotografía II-12), que muele los granos de malta.

Fotografía II-12. Molido de las maltas



Fuente: Elaboración Propia, 2021

b) Macerado

El método de maceración que se utilizó fue el de maceración simple. Sobre una olla de acero inoxidable, se calienta agua a una temperatura de 70 °C, se colocan las maltas molidas (Fotografía II-13). Maceramos a una temperatura de 67-69 °C (temperatura óptima a la que trabajan las Alfa y Beta amilasas) durante 90 minutos.

Fotografía II-13. Macerado



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Mientras el proceso de maceración se llevó cabo, en otro recipiente se hierve 200-250 ml de agua para activar la levadura. Se agregó el agua hervida dentro el Matraz Erlenmeyer (previamente desinfectado), y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se adicionó 3 g de levadura cervecera y 2-4 g de azúcar (proceso sugerido por el proveedor de levadura), por último se agrega 90-150 ml de mosto al matraz Erlenmeyer.

c) Filtrado

Transcurridos los 90 minutos de maceración, se filtró el mosto. El filtrado (Fotografía II-14) se realizó sobre un colador de acero inoxidable y una tela limpia para retener la mayor parte de los residuos sólidos (granos de malta). Con la ayuda de una jarra y una espumadera se recircula el mosto, el proceso dura 15 a 20 minutos aprox.

Pasado este tiempo el mosto presentó un aspecto claro y menos turbio. Por lo que se procede a realizar el lavado de los granos de malta con 3 litros de agua a 70-75 °C. A medida que se vaya añadiendo el agua de lavado se va enviando el mosto a la olla de cocción, una vez transcurridos los 15 a 20 minutos de lavado, se procede a medir la densidad del mosto.

Posterior a ello, se procede a mezclar el caldo de Avena con el mosto final obtenido anteriormente. Para preparar el caldo de Avena se mezcló agua con la cantidad de avena requerida y se la cocinó hasta 3-5 minutos después de ebullición, se procede a colar la mezcla pasándola por un colador, para de esa forma obtener el caldo de Avena que será utilizado en la elaboración de la cerveza artesanal.

Fotografía II-14. Filtrado



Fuente: Elaboración Propia, 2021

d) Cocción

El mosto una vez filtrado se llevó a temperatura de ebullición por 90 minutos (Fotografía II-15). Durante el proceso de cocción se realizó el lupulado, el cual, se agregó en diferentes cantidades y tiempos. Las adiciones de lúpulo fueron las siguientes:

- **Inicio de Hervor 90 minutos.-** Lúpulo para amargor (Cascade 8%)
- **A los 45 minutos antes de finalizar la cocción.-** Lúpulo para sabor (Cascade 8%)
- **A los 5 minutos antes de finalizar la cocción.-** Lúpulo para aroma (Fuggle 5.9%)

La cantidad de lúpulos que se agregaron se calcularon con la finalidad de obtener 18 IBUs, con la siguiente fórmula (Ibarzabal Diaz, 2020):

$$g = \frac{\text{Litros} * CrD * IBU}{TA * \%AA * 1000}$$

Donde:

- g= Gramos de lúpulo
- IBU= International Bitterness Unit (unidad internacional de amargor)
- CrD= Corrector de densidad $D_{inicial} > 1050 \Rightarrow F_c=1$
- TA= Factor de aprovechamiento del lúpulo (%U), obtenida de la Tabla II-18
- %AA= Porcentaje de alfa ácidos

Tabla II-18. Porcentaje de Utilización del Lúpulo

Tiempo de hervor	Porcentaje de utilización (pellets)
0 a 9	6
10 a 19	15

20 a 29	19
30 a 44	24
45 a 49	27
60 a 74	30
Más de 75	34

Fuente: (Vogrig, 2004)

Se obtuvo los siguientes resultados:

- ✓ Lúpulo Cascade (amargor) para 3 litros se necesitan 1.10 gramos y se generan 10 IBUs.
- ✓ Lúpulo Cascade (sabor) para 3 litros se necesitan 0.56 gramos y se generan 4 IBUs..
- ✓ Lúpulo Fuggle (aroma) para 3 litros se necesitan 3.38 gramos y se generan 4 IBUs.

Dando un total de 18 IBUs.

Fotografía II-15. Cocción



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Posteriormente, se realizó el “Whirlpool” con la ayuda de una espumadera (esterilizada) para remover vigorosamente y se dejó que el movimiento cese, por un tiempo de 8 a 10 minutos.

e) Enfriado

El mosto esterilizado debe ser enfriado rápidamente para evitar cualquier tipo de contaminación, para ello se sumergió la olla dentro de una bañera con agua y hielo, para bajar la temperatura a 18-20 °C , por un tiempo de 10 a 15 minutos aproximadamente.

f) Fermentación

Después de enfriar y filtrar el mosto es transvasado al botellón fermentador (previamente desinfectado), posterior a ello, se agregar la levadura **ya activada**.

Se procede a cerrar el fermentador mediante un sistema (AIRLOCK CASERO), para ello se ocupó mangueras de polímero siliconado que van directamente a un vaso de vidrio al que se le añadió alcohol al 96% con el fin de evitar problemas de sobrepresión por acumulación de CO₂ además, no permitirá el ingreso de contaminantes externos al fermentador.

El botellón fermentador (Fotografía II-16) se almacenó a temperatura ambiente (18-25 °C), durante los primeros días se observó una actividad significativa en el botellón fermentador, se genera espuma marrón y se produce CO₂ de forma continua. Este proceso duró de 7 a 8 días.

Se realizó medidas diarias de la densidad del mosto (Anexo 4) durante la fermentación mediante un densímetro. Se observó que la evolución de los azúcares sigue una trayectoria descendente, lo cual confirmaba que la levadura estaba transformando el mosto, en el alcohol.

Fotografía II-16. Fermentación



Fuente: Elaboración Propia, 2021

g) Filtrado

Transcurrido el proceso de fermentación, al no presentar actividad de la levadura, y al mantenerse la densidad constante por 2 veces consecutivas, se procede a tomar una muestra del mosto para tomar la densidad final para los cálculos respectivos. (Ver anexo 4)

Posteriormente, se realizó el trasvase (Clarificación) de la cerveza del botellón fermentador primario al botellón fermentador secundario (Previamente desinfectada con alcohol). Este proceso se hizo para eliminar la capa de residuos que se formó durante la fermentación.

h) Embotellado y segunda fermentación

Para generar el CO_2 es necesario activar nuevamente las levaduras, según la Tabla I-9, la cerveza estilo Porter debe contar un volumen de CO_2 de **1.7-2.3**:

- **Cálculo de la cantidad de azúcar**

Se tomó como nivel de carbonatación 2.15 volúmenes de CO_2 (requerido).

Durante la **fermentación** alcanzó una temperatura de 25 °C. Según la Tabla I-10 tendría entonces un volumen de 0.73 de CO₂ disuelto.

***Volúmenes de CO₂ a agregar**= 2.15 (requerido)–0.73 (actual) = 1.47 volúmenes de CO₂

Según la misma Tabla I-10, este volumen de CO₂ equivale a unos **2.79** gramos CO₂ por litro.

0.463 gramos de CO₂ → 1 gramo de azúcar

$$2.79 \text{ gramos de CO}_2 \rightarrow x = \frac{2.79 * 1}{0.463} = 6.03 \text{ gramos de azúcar/litro}$$

Se agregó 6.03 gramos de azúcar (común) por litro obteniendo así **2.15 volúmenes de CO₂ en el producto final** (dentro el rango requerido por el estilo de cerveza que se elaboró).

La cerveza es envasada en botellas de vidrio ámbar (previamente desinfectadas) de 500 ml, el tapado de la cerveza se realizó con la ayuda de una enchapadora manual y tapas corona. Una vez terminado el envasado inicia la segunda fermentación.

Las botellas se dejaron a temperatura ambiente (18 a 25 °C aprox.) en un lugar con poca luz durante un periodo de 15 días para que se produzca la fermentación de los azúcares agregados y por ende la carbonatación. (Fotografía II-17)

Fotografía II-17. Embotellado



Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.5. Análisis del producto obtenido

Los análisis físico-químicos y microbiológicos se realizaron en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de Tarija-Cercado en el Laboratorio CEANID, estos fueron basados y comparados según la Norma Boliviana: NB 339:1997, NB 087:1997, NB 082:1997, NB 32005:02.

El análisis Fisicoquímico y Microbiológico se realizó al tratamiento o muestra ganadora, siendo esta el tratamiento 4 (T-4), el cual consistió en la aplicación de 20% de avena con respecto a la malta.

2.5.1. Análisis fisicoquímicos

La Tabla II-19, muestra los resultados de análisis fisicoquímicos acorde a la Norma Boliviana (NB), estando estos valores dentro del rango (no superan los valores máximos permisibles) según lo detalla el requisito de la norma, confirmando su cumplimiento. Por lo tanto, el producto elaborado a base malta de cebada y avena no presenta problemas para su posible comercialización.

Tabla II-19. Análisis Fisicoquímicos

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Límites permisibles		Resultados/Tesis
			Min.	Max.	
pH	NB 339:1997		3	5	4.42
Acidez total (% de ácido láctico)	NB 087:1997	%m/m	-	0.3	0.16
Alcohol en Volumen	NB 082:1997	°GL	0.0	14.4	4.5

Fuente: Laboratorio CEANID U.A.J.M.S, 2021

2.5.1.1. Análisis Fisicoquímicos de caracterización del producto final

En la Tabla II-20, se muestra los resultados realizados en el laboratorio de control de calidad CBN (Cervecería Boliviana Nacional) planta Tarija.

Tabla II-20. Análisis Físicoquímicos, caracterización del producto final

Cerveza Artesanal Estilo Porter A Base De Malta De Cebada Y Avena		
ANALISIS	UNIDAD	RESULTADO
Extracto Original	°P	9.83
Extracto Aparente	°P	1.9
Extracto Real	°P	3.43
Color	EBC	81.65
Amargo	IBU	21.96
Alcohol v/v	°GL	4.16

Fuente: Cervecería Boliviana Nacional (CBN), 2021

La carbonatación se realizó de forma natural, obteniendo así 2.15 de volumen de CO₂ en el producto final (Tabla II-21) según datos calculados.

Tabla II-21. Volumen de CO2

UNIDAD	RESULTADO
Volumen de CO2	2.15

Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.5.2. Análisis Microbiológico

En cuanto al análisis (Tabla II-22) previsto para la determinación coliformes y microorganismos patógenos obtuvo un valor de 1.0^1 UFC/ml, lo cual confirma su cumplimiento al no observarse desarrollo de colonias.

Tabla II-22. Análisis Microbiológico

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Referencia de límites	Límites permisibles	Resultados/Tesis
Coliformes y microorganismos patógenos	NB 32005:02	UFC/ml	Sin Referencia	Ausencia	$<1.0 \times 10^1$ (*)

(*) No se observa desarrollo de colonia

Fuente: Laboratorio CEANID U.A.J.M.S, 2021

2.6. Caracterización del producto obtenido de acuerdo a la guía BJCP.

Se realiza la caracterización del producto final de acuerdo a la guía BJCP, la misma se muestra en la Tabla II-20.

2.6.1. Atributos del producto obtenido de acuerdo a la Guía BJCP

En la Tabla II-23, se muestra la caracterización del producto obtenido de acuerdo a la guía BJCP.

Tabla II-23. Caracterización Del Producto Obtenido De Acuerdo A La Guía BJCP.

CERVEZA ARTESANAL ESTILO PORTER A BASE DE MALTA DE CEBADA Y AVENA	
Impresión general	Una cerveza con un perfil de malta chocolate-caramelo, con una gama de sabores tostados.

Aroma	Aroma de malta tostada como a café, caramelo, pan tostado y un leve aroma a chocolate. Típico de una cerveza negra.
Apariencia	Color que va de marrón claro a oscuro, espuma blanquecina a color canela, con buena retención.
Sabor	Moderados sabores de malta a pan tostado y/o café, amargor de lúpulo medio bajo. Presenta un sabor dulzón al final.
Sensación en la boca	Cerveza con bastante cuerpo y textura cremosa.

Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.6.2. Estadísticas Vitales

Los análisis realizados al producto final (Tabla II-24) resultaron cumpliendo con los rangos acorde a la guía de estilos BJCP, 2015. Estando estos valores dentro del rango, a excepción del color de la cerveza. Cabe recordar que antes de elaborar la cerveza artesanal se realizó los cálculos necesarios para que el producto final este en los rangos establecidos por la guía de estilos BJCP, es así que, se obtuvo mediante cálculos realizados un color igual a 29 SRM y una grado de amargor de 18, sin embargo, los análisis en laboratorio muestran una diferencia significativa en el color de la cerveza. De todos modos BJCP es una guía, por lo que se puede personalizar la cerveza artesanal a elaborar, variando un poco lo que dice en la Guía.

Tabla II-24. Estadísticas Vitales Cerveza Artesanal Estilo Porter

Parámetro	Unidad	Límites permisibles		Cálculos realizados antes de la elaboración	Resultados/Tesis Análisis Realizados en Laboratorio
		Min.	Max.		
Unidades de Amargor	IBU	18	35	18	21.96
Color	SRM	20	30	29	41.48
Contenido de Gas carbónico	Volumen de CO ₂	1.7	2.3	2.15	2.15
% Alcohol	°GL	4.0	5.4	4.0	4.16

Fuente: Elaboración Propia, 2021

CAPÍTULO III

III. RESULTADOS

3.1. Análisis de resultados

3.1.1. % Alcohol del producto final

En la Tabla III-1 se puede observar que el % Alcohol disminuye en el siguiente orden; T-1 (5% de avena), T-2 (10% de avena), T-3 (15% de avena) y T-4 (20% avena). Esto se debe a que en cada tratamiento se reduce la cantidad de malta de cebada y se reemplaza por avena, es decir, a mayor cantidad de avena menor % Alcohol.

Tabla III-1. % Alcohol en todos los tratamientos y sus réplicas.

%Alcohol						
Tratamientos/Replicas	I	II	III	IV	Suma	Media Tratamientos
T-1 (5% de avena)	4.53	4.40	4.40	4.53	17.87	4.47
T-2 (10% de avena)	4.27	4.27	4.27	4.40	17.20	4.30
T-3 (15% de avena)	4.27	4.00	4.13	4.00	16.40	4.10
T-4 (20% de avena)	3.73	4.13	4.13	4.00	16.00	4.00
Suma de Replicas	16.80	16.80	16.93	16.93	67.47	4.22

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.2. Estadísticos descriptivos

3.2.1. ANOVA de un factor

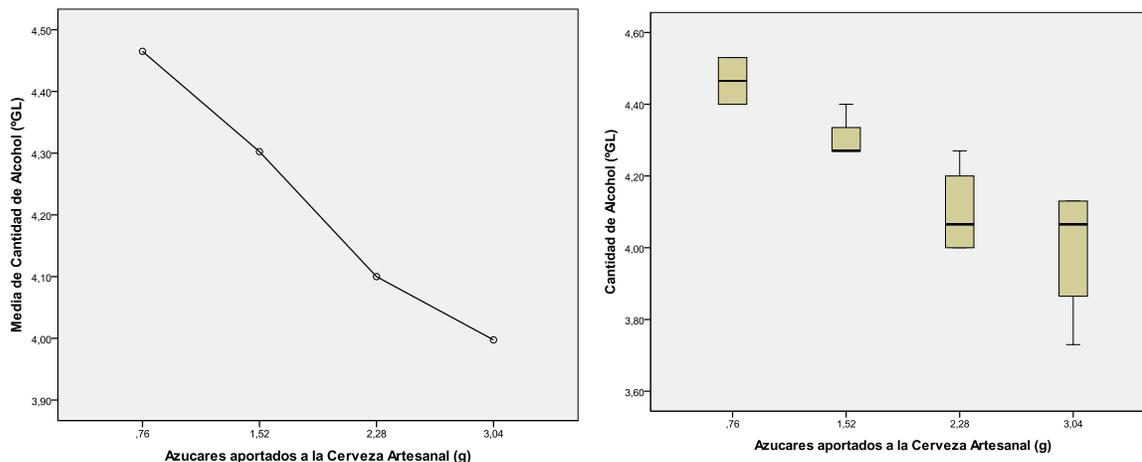
Tabla III-2. Descriptivos

Descriptivos								
Cantidad de Alcohol (°GL)								
Azúcar es aporta dos (g)	N	Media	Desviaci ón típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Míni mo	Máxi mo
					Límite inferior	Límite superior		
.76	4	4.465	.0750	.0375	4.345	4.584	4.40	4.53
1.52	4	4.302	.0650	.0325	4.199	4.405	4.27	4.40
2.28	4	4.100	.1288	.0644	3.895	4.305	4.00	4.27
3.04	4	3.997	.1885	.0942	3.697	4.297	3.73	4.13
Total	16	4.216	.2173	.0543	4.100	4.332	3.73	4.53

Fuente: Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2021

Se realizó un ANOVA de un factor (Tabla III-2) para determinar las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. En la figura III-2, se puede ver que el grado de alcohol va descendiendo. Eso se debe a que se reduce la cantidad de malta y se incrementa la avena en la elaboración de la cerveza, la cual podría estar aportando azúcares no fermentables.

Figura III-1. Media del %Alcohol vs Azúcares aportados a la cerveza artesanal .



Fuente: Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2021

El tratamiento que induce a mayor %Alcohol (FiguraIII-1) en el producto final es el T-1 (5% de avena y 95% maltas) y en orden descendiente el T-2 (10% de avena y 90% maltas),T-3 (15% de avena y 85% maltas) y T-4 (20% de avena y 80% maltas). Cuanta más avena se utiliza en la producción de cerveza, menor es el porcentaje de alcohol en el producto final, porque hay menos azúcares fermentables. Además, la mayoría de los azúcares que aporta la avena a la cerveza podrían ser azúcares no fermentables.

3.2.2. Análisis de varianza

Tabla III-3. ANOVA.

ANOVA					
Grado de Alcohol (°GL)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.523	3	.174	11.238	.001
Intra-grupos	.186	12	.016		
Total	.709	15			

Fuente: Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2021

Se realizó el análisis de varianza (Tabla III-3) a través del estadístico F de Fisher en el que se aprecia que el nivel de la significancia es menor que **0.05**.

Por tanto, existe diferencia significativa entre los Tratamientos (dentro y fuera), para averiguar qué tratamiento es superior se realizó la prueba de Tukey (Tabla III-4) con el nivel de confianza del 95 %.

Tabla III-4. HSD de Tukey.

Cantidad de Alcohol (°GL)					
HSD de Tukey ^a					
Azúcares aportados a la Cerveza Artesanal (g)		N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T-1 (20% de avena)	3.04	4	3.9975		
T-2 (15% de avena)	2.28	4	4.1000	4.100	
T-3 (10% de avena)	1.52	4		4.302	4.3025
T-4 (5% de avena)	0.76	4			4.4650
	Sig.		.659	.153	.300
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.					
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000.					

Fuente: Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2021

En la Tabla III-4, se observa que el Tratamiento 1 es superior con 4.465 °GL respecto al Tratamiento 2, por su parte, el Tratamiento 2 es superior al Tratamiento 3 y el Tratamiento 3 es superior al Tratamiento 4. Este último es el Mejor Tratamiento ya que obtuvo más azúcares **no fermentables** (por la avena añadida) y **menos azúcares fermentables** durante la elaboración, mejorando así las propiedades organolépticas del producto final.

3.2.3. Comparación de los tratamientos (T-1, T-2, T-3, T-4) con el Testigo 1 y Testigo 2

En la Tabla III-5, se presenta el porcentaje de alcohol del Testigo 1 (100% maltas) y el Testigo 2 (comercial).

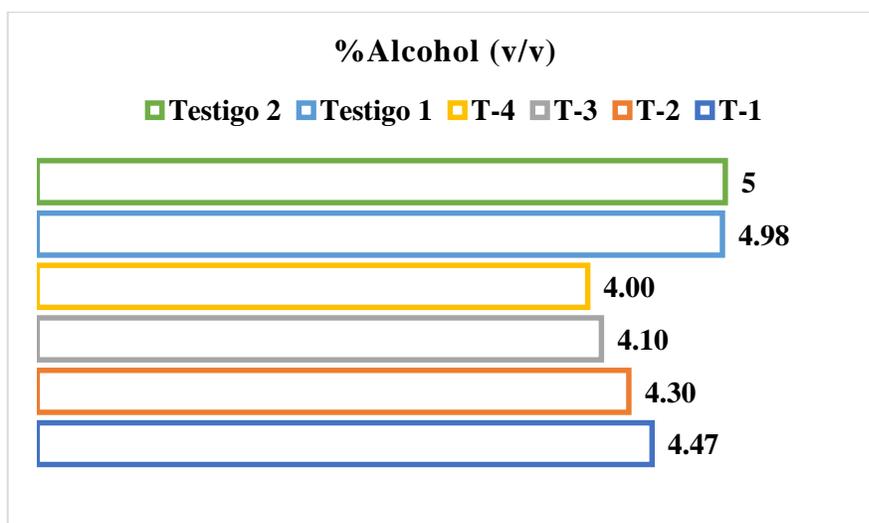
Tabla III-5. %Alcohol - Testigo 1 y Testigo 2

%Alcohol		
Cerveza	Descripción	%Alcohol
Testigo 1	Cerveza Estilo Porter elaborada con un 100 % de maltas (base+especiales).	4.98
Testigo 2		5

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Con los datos mostrados anteriormente (Tabla III-1 y Tabla III-5) se procede a realizar la siguiente comparación:

Figura III-2. Comparación De Los Tratamientos (1-2-3-4) Frente A Dos Testigos (1 y 2)



Fuente: Elaboración Propia, 2021

En la Figura III-2, se observa que el % Alcohol de los tratamientos T1-T2-T3-T4 tiene una diferencia significativa frente a los Testigos 1 y 2, el contenido de alcohol disminuyó a medida que se reducía la cantidad de malta en su elaboración, ya que esta era parcialmente sustituida por la avena.

Por otro lado, el %Alcohol de la cerveza elaborada con malta pura (Testigo 1) fue de 4.98%, poca variación frente al Testigo 2 (comercial)

3.2.4. Comparación del Tratamiento 4 (muestra ganadora) frente a los 2 Testigos

3.2.4.1. Acidez Total (como ácido láctico)

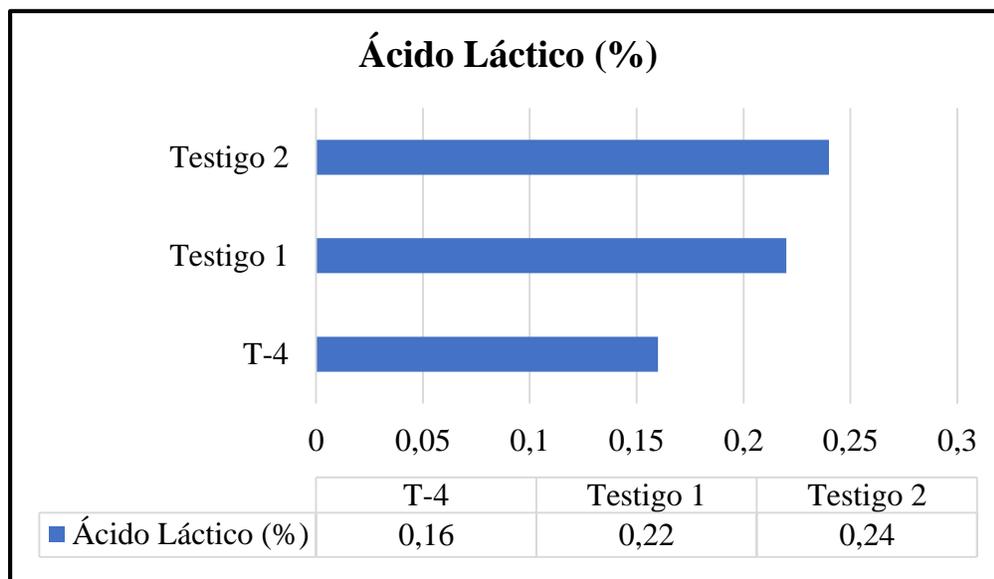
Existe una diferencia significativa entre el T-4 y los Testigos 1 y 2, como se detalla en la Tabla III-6 y la Figura III-3, en las mismas indican que el T4 (20% avena + 80% mezclas de cebadas malteadas) obtuvo un valor menor a 0.16%, a diferencia del Testigo 1 que tuvo 0.22% y Testigo 2 con una 0.24%. Sin embargo, tanto el T-4 y los Testigos 1 y 2 están dentro del rango que establece la NB-087:1997.

Tabla III-6. Acidez Total (como ácido láctico) del T-4 vs Testigo 1 y Testigo 2

Acidez Total (como ácido láctico)		
Muestras	Ácido Láctico (%)	Descripción
T-4	0.16	Elaboración 20% avena y 80% mezcla de cebadas
Testigo 1	0.22	Cerveza elaborada con 100% malta de cebada (base+especiales)
Testigo 2	0.24	Cerveza del mismo estilo COMERCIAL

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III-3. Acidez Total (como ácido láctico) del T-4 vs Testigo 1 y Testigo 2



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.2.4.2. pH del producto final

En cuanto al pH del producto final (Tabla III-7 y Figura III-4), no hay diferencia significativa entre el T-4 y los Testigos 1 y 2, así mismo, estos están dentro del rango establecido según la NB-339:1997, por lo que no hay ninguna observación en este apartado.

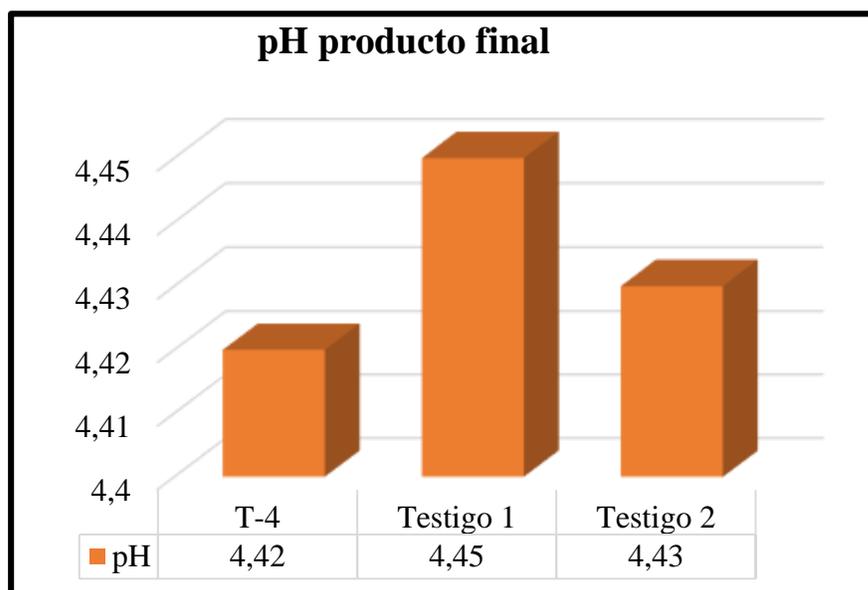
Tabla III-7. pH Final De La Cerveza

pH producto final		
Muestras	pH	Descripción
T-4	4.42	Elaboración 20% avena y 80% mezcla de cebadas
Testigo 1	4.45	Cerveza elaborada con 100% malta de cebada (base+especiales)

Testigo 2	4.43	Cerveza del mismo estilo COMERCIAL
------------------	------	--

Fuente: Elaboración Propia, 2021

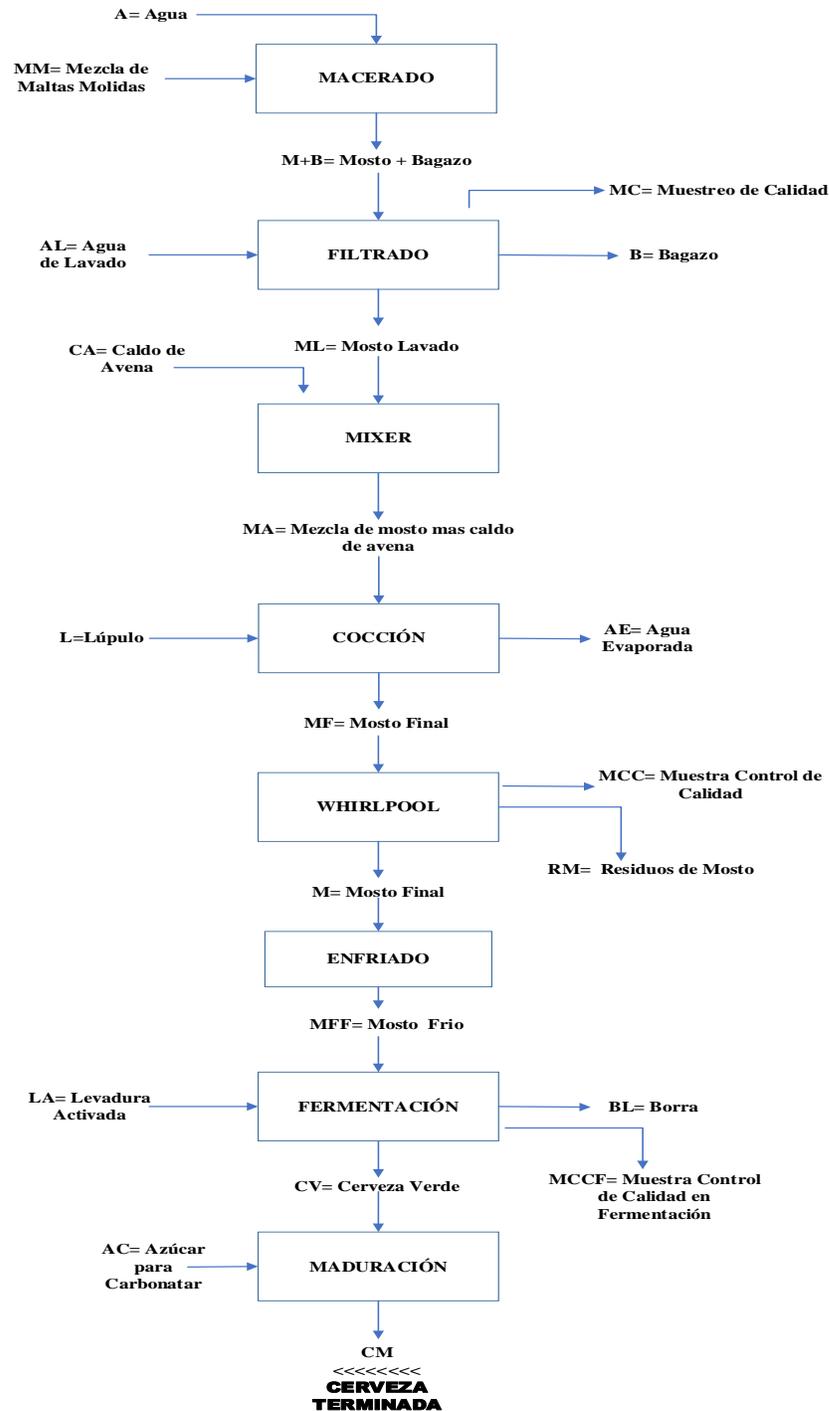
Figura III-4. pH Final De La Cerveza



Fuente: Elaboración Propia, 2021

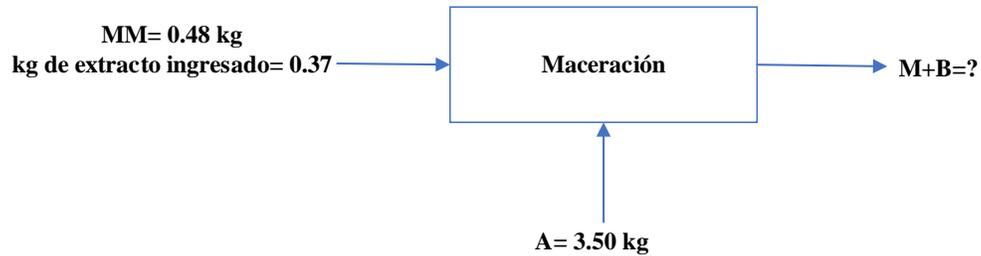
3.3. Balance de Materia

3.3.1. Balance de materia general



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.3.1.1. Balance de masa en el macerado



Datos:

A= Agua

MM= Mezcla de maltas molidas

Co= Carbohidratos iniciales de la malta (extracto)

Co= 0.37 kg

M+B= Mosto + Bagazo

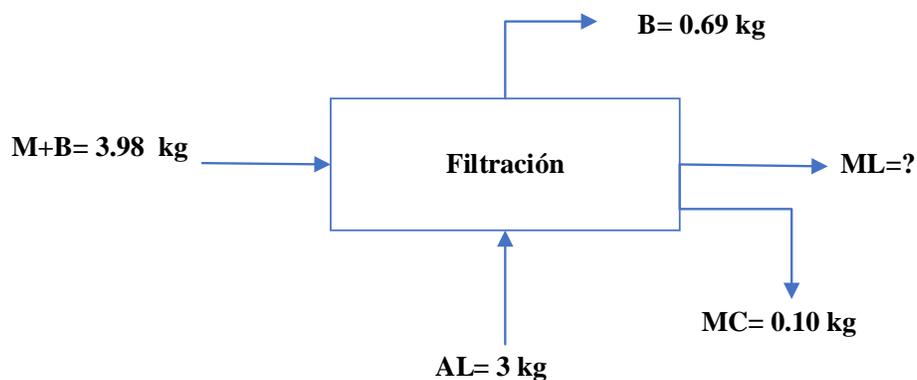
$$MM+A= (M+B)$$

$$(M+B) =MM+A$$

$$(M+B)= 0.48+3.5$$

$$(M+B)= 3.98 \text{ kg}$$

3.3.1.2. Balance de masa en el Filtrado



Datos:**AL**= Agua de lavado**M+B**= Mosto + Bagazo**B** = Bagazo**ML**= Mosto después del lavado**MC**= Muestra de Calidad**Wml**= Agua**Aml**= Azúcares fermentables**Co**= Carbohidratos iniciales de la malta (extracto) **Co= 0.37 kg****C1**= Carbohidratos sin convertir

$$\mathbf{ML=(MM+B)+AL-B-MC}$$

$$ML= 3.98 + 3 - 0.69 - 0.10$$

$$ML= 6.19 \text{ kg}$$

$$\mathbf{ML=Wml + Aml}$$

$$\mathbf{Aml= 4.72 \text{ }^\circ\text{Brix} * \frac{6190 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 292.17 \text{ g} = 0.29 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{Wml= ML-Aml}$$

$$Wml= 6.19 - 0.29$$

$$Wml= 5.9 \text{ kg}$$

3.3.1.2.1. Balance de extracto

$$\mathbf{Co=Aml + C1}$$

$$C1=Co - Aml$$

$$C1= 0.37 - 0.29$$

$$C1= 0.08 \text{ kg}$$

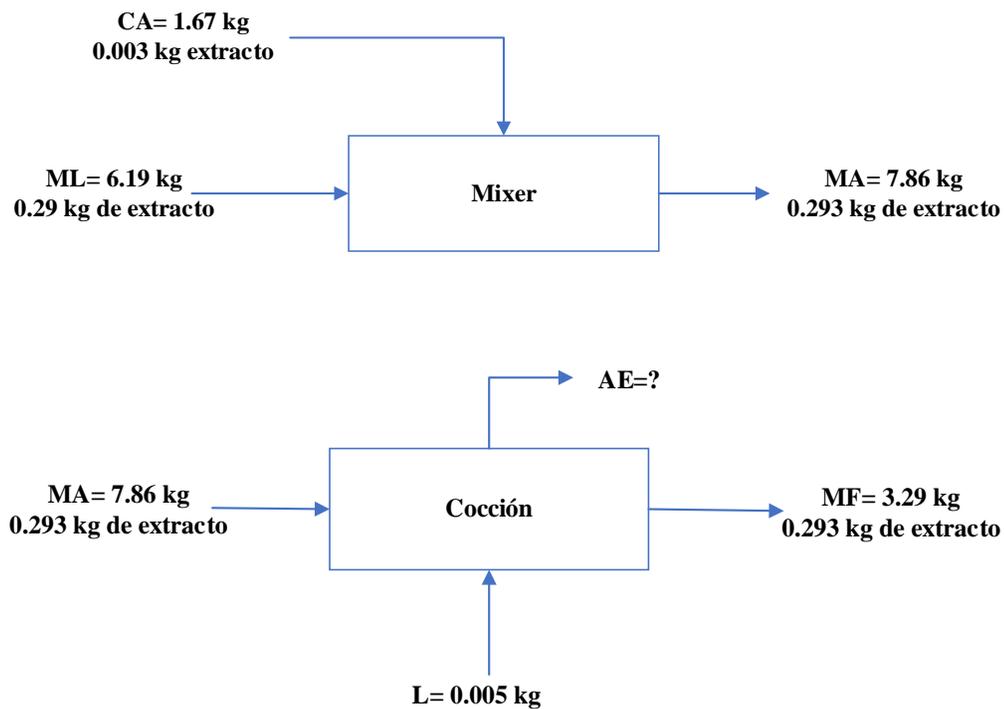
$$\% \text{ merma de extracto} = \frac{(\text{kg de extracto ingreso} - \text{kg de extracto salida})}{\text{kg de extracto ingreso}} * 100$$

$$\% \text{ merma de extracto} = \frac{0.37 - 0.29}{0.37} * 100$$

$$\% \text{ merma de extracto} = 21.62 \%$$

$$\text{Rendimiento de macerado} = 100 - 21.62 = 78.38\%$$

3.3.1.3. Balance de masa en Cocción



Datos:

MA= Mezcla de mosto más caldo de avena

ML= Mosto después del lavado

L= Lúpulo

CA= Caldo de avena

MF= Mosto Final

AE= Agua Evaporada

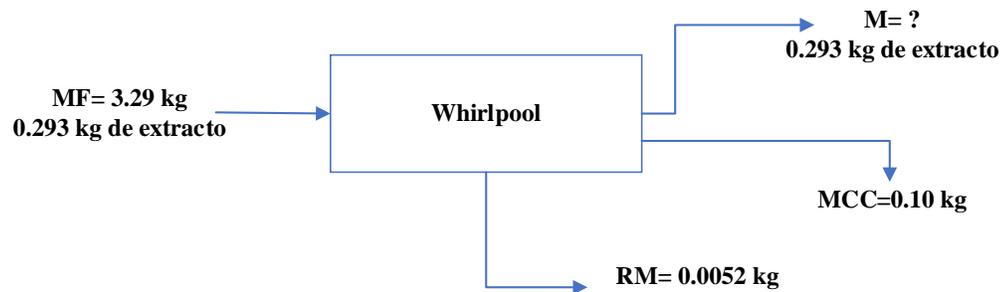
$$\mathbf{MA + L = AE + MF}$$

$$\mathbf{AE = MA + L - MF}$$

$$AE = 7.86 + 0.005 - 3.29$$

$$AE = 4.57 \text{ kg}$$

3.3.1.4. Balance en Whirlpool



M= Mosto Final

M= Mosto

RM= Residuo de mosto

MCC= Muestra control de calidad

$$\mathbf{MF = RM + MCC + M}$$

$$\mathbf{M = MF - RM - MCC}$$

$$M = 3.29 - 0.005 - 0.10$$

$$M = 3.19 \text{ kg}$$

3.3.1.5. Balance de masa en el enfriado



Datos:

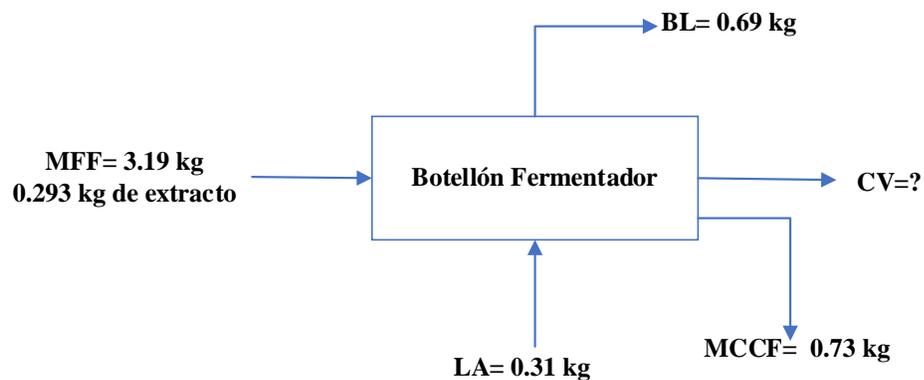
M= Mosto

MFF= Mosto Frío

$$MA = MFF$$

$$3.19 = 3.19$$

3.3.1.6. Balance de masa en el fermentador



Datos:

MFF= Mosto Frío

MCCF= Muestra de control de calidad en Fermentación

BL= Borra

CV= Cerveza Verde

LA= Levadura Activada (Levadura + agua + mosto)

Acv= Azúcares residuales

Gcv= Alcohol

$$Gcv = 3.26 \% \text{ w/w} = 0.28 \text{ kg}$$

Wcv= Agua

$$\mathbf{MFF + LA = BL + CV + MCCF}$$

$$CV = MFF + LA - BL - MCCF$$

$$CV = 3.19 + 0.31 - 0.69 - 0.73$$

$$CV = 2.08 \text{ kg}$$

$$\mathbf{Acv = 0.73 \text{ }^\circ\text{Brix} * \frac{2080 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 15.18 \text{ g} = 0.015 \text{ kg}}$$

Transformación de azúcares en alcohol = $0.293 - 0.015 = 0.278 \text{ kg}$

$$\mathbf{Wcv = CV - Acv - Gcv}$$

$$Wcv = 2.08 - 0.015 - 0.28$$

$$Wcv = 1.79 \text{ kg}$$

3.3.1.7. Balance de masa en la segunda fermentación o maduración



Datos:

CV= Cerveza Verde

AC= Azúcar para Carbonatación

CM= Cerveza Madura

$$\mathbf{CV + AC = CM}$$

$$CM = 2.08 + 0.010$$

$$CM = 2.09 \text{ kg}$$

3.3.1.8. Merma extracto total del proceso

Para observar una forma más resumida la merma de extracto durante el proceso, se puede observar la Tabla III-8:

Tabla III-8. Merma extracto total del proceso

Merma Extracto Total del Proceso de Elaboración		
	kg de extracto	% merma extracto
Merma en el Filtrado	0.09 kg	20.8 %
Total	0.09 kg	20.8 %

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.3.2. Tabla de resultados en el Balance de Masa

En la Tabla III-9, se resume el balance de masa para cada proceso involucrado en la elaboración de cerveza con sus respectivas corrientes de entrada y salida.

Tabla III-9. Resultados del Balance de Masa

MACERADO		
Entrada (kg)		Salida (kg)
Mezcla de maltas molidas (MM)	Agua (A)	Mosto + Bagazo (M+B)
0.48	3.5	3.98

Fuente: Elaboración Propia, 2021

FILTRACIÓN				
Entrada (kg)		Salida (kg)		
Mosto + Bagazo (M+B)	Agua de Lavado (AL)	Bagazo (B)	Muestreo de Calidad (MC)	Mosto Lavado (ML)
3.98	3.00	0.69	0.10	6.19

Fuente: Elaboración Propia, 2021

COCCIÓN				
Entrada (kg)			Salida (kg)	
Mosto Lavado (ML)	Lúpulo (L)	Caldo de Aveno (CA)	Agua Evaporada (AE)	Mosto Final (MF)
6.19	0.005	1.67	4.57	3.29

Fuente: Elaboración Propia, 2021

WHIRLPOOL			
Entrada (kg)	Salida (kg)		
Mosto Final (MF)	Muestra control de calidad (MCC)	Mosto Final (M)	Residuo de mosto (RM)
3.29	0.10	3.19	0.0052

Fuente: Elaboración Propia, 2021

ENFRIADO	
Entrada (kg)	Salida (kg)
Mosto (M)	Mosto Frío (MFF)
3.19	3.19

Fuente: Elaboración Propia, 2021

FERMENTACIÓN			
Entrada (kg)	Salida (kg)		
Mosto Frío (MFF)	Muestras de control de calidad (MMCF)	Borra (BL)	Cerveza Verde (CV)
3.19	0.73	0.69	2.08

Fuente: Elaboración Propia, 2021

MADURACIÓN		
Entrada (kg)		Salida (kg)
Cerveza Verde (CV)	Azúcar para Carbonatación (AC)	Cerveza Madura (CM)
2.08	0.010	2.09

Fuente: Elaboración Propia, 2021

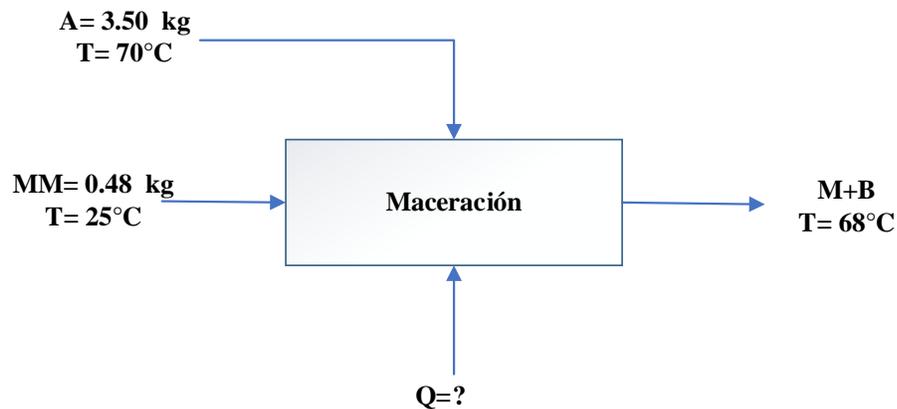
3.4. Balance de Energía

Se procede a calcular y comprender el calor necesario en el proceso principal de fabricación de cerveza.

Procesos:

- ✓ Macerado
- ✓ Cocción
- ✓ Enfriado

3.4.1. Balance de energía en el macerado



Datos:

T_m = Temperatura de macerado		T_m = 68°C
MM = Mezcla de maltas molidas	C_pmalta = 0.8 kcal/kg°C	T_M = 25°C
A = Agua caliente	C_pagua = 1 kcal/kg°C	T_A = 70°C
m_{olla} = 2.83 kg	C_polla = 0.12 kcal/kg°C	T_M = 25°C

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$Q_{ganado} = (m_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_F - T_A)) + (m_{malta} * C_{p_{malta}} * (T_F - T_M)) + (m_{olla} * C_{p_{olla}} * (T_F - T_O))$$

$$Q_{ganado} = (3.5 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (68^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C})) + (0.48 \text{ kg} * 0.8 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (68^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})) + (2.83 \text{ kg} * 0.12 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (68^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}))$$

$$Q_{ganado} = 24.11 \text{ kcal}$$

3.4.1.1. Calor necesario para mantener la temperatura de la mezcla malta-agua en 68°C por 90 minutos

3.4.1.1.1. Cálculo del número de Grashof y el número de Prandtl.

$$Gr = \frac{\beta * g * L^3 * \Delta T}{\mu^2}$$

Datos:

β = coeficiente de expansión térmica

g = aceleración de la gravedad

L = altura del cilindro vertical

h = Calor perdido por convección

A = Área del tanque

μ = viscosidad del aire

Gr = número de Grashof

✓ Calor perdido por el mosto en 90 minutos a 68°C

$$Gr = \frac{1}{273.15} * 9.8 * 0.22^3 * (68 - 25) / (15.53 * 10^{-6})^2$$

$$Gr = 6.81 * 10^7$$

Para obtener el número de Pr se acude al Manual Del Ingeniero Químico, Valiente & Noriega, 1993 (obtenido de la tabla 5.9a pág. 297), por lo tanto $Pr = 0.702$

$$Pr * Gr = 6.81 * 10^7 * 0.702$$

$$Pr * Gr = 4.78 * 10^7$$

- Para $Pr * Gr$ de 10^9 a 10^4

$$h = 1.217 * \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{0.25}$$

$$h = 1.217 * \left(\frac{68 - 25}{0.22}\right)^{0.25}$$

$$h=4.55 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{cedido}}=Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{ganado}}=h * A * (T_{\text{olla}}-T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = h * \pi * d * L * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

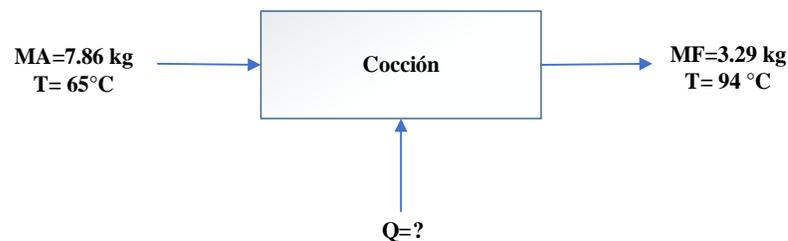
$$Q_{\text{ganado}}= 4.55 * \pi * 0.30 * 0.22 * (68 - 25)$$

$$Q_{\text{ganado}} = 40.57 \text{ kcal/h}$$

Q_{ganado} en 90 minutos

$$40.57 \text{ kcal} * \frac{90 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 60.86 \text{ kcal}$$

3.4.2. Balance de energía en la cocción



Datos:

MA= Mezcla de mosto más caldo de avena $C_{p\text{mosto}}= 0.9 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $T_{ML}= 65^\circ\text{C}$

molla= 2.83 kg $C_{p\text{olla}}= 0.12 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $T_o= 65^\circ\text{C}$

MF= Mosto Final $T_F= 94^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{ganado}} = (m_F * C_{p\text{mosto}} * (T_F - T_{ML})) + (m_{\text{olla}} * C_{p\text{olla}} * (T_F - T_o))$$

$$Q_{\text{ganado}} = (3.29 \text{ kg} * 0.9 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C} * (94^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}) + (2.83 \text{ kg} * 0.12 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C} * (94^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{ganado}} = 85.87 + 9.8$$

$$Q_{\text{ganado}} = 95.7 \text{ kcal}$$

3.4.2.1. Calor necesario para mantener la temperatura del mosto en ebullición por 90 minutos

3.4.2.2. Cálculo del número de Grashof y el número de Prandtl.

$$Gr = \frac{\beta * g * L^3 * \Delta T}{\mu^2}$$

Datos:

β = coeficiente de expansión térmica

g = aceleración de la gravedad

L = altura del cilindro vertical

h = Calor perdido por convección

A = Área del tanque

μ = viscosidad del aire

✓ Calor perdido por el mosto en 90 min a 93.7 °C

$$Gr = \frac{1}{273.15} * 9.8 * 0.22^3 * (94 - 65)$$

$$\frac{(15.53 * 10^{-6})^2}$$

$$Gr = 4.59 * 10^7$$

Para obtener el número de Pr se acude al Manual Del Ingeniero Químico, Valiente & Noriega, 1993 (obtenido de la tabla 5.9a pág. 297), por lo tanto Pr = 0.695

$$Pr * Gr = 4.59 * 10^7 * 0.695$$

$$Pr * Gr = 3.19 * 10^7$$

- Para $Pr * Gr$ de 10^9 a 10^4

$$h = 1.217 * \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{0.25}$$

$$h = 1.217 * \left(\frac{(94 - 65)}{0.22} \right)^{0.25}$$

$$h = 4.11 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{ganado}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = h * A * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = h * \pi * d * L * (T_{\text{olla}} - T_{\text{medio}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = 4.11 * \pi * 0.30 * 0.22 * (94 - 65)$$

$$Q_{\text{ganado}} = 24.70 \text{ Kcal/h}$$

Q_{perdido} en 90 minutos

$$24.70 \text{ kcal} * \frac{90 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 37.1 \text{ kcal}$$

3.4.3. Balance de energía en el enfriado



Datos:

M= Mosto Amargo

MFF= Mosto Frío

$C_{p\text{hielo}}$ = 0.499 kcal/kg $^\circ\text{C}$

$C_{p\text{olla}}$ = 0.12 kcal/kg $^\circ\text{C}$

m_{olla} = 2.82 kg

$$C_p = 0.9 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{agua}} = 79.77 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$(m_{\text{hielo}} * C_{p_{\text{hielo}}} * (0^\circ\text{C} - T_H) + (m_{\text{hielo}} * \lambda_{\text{agua}}) + (m_{\text{hielo}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{\text{MFF}} - 0^\circ\text{C})) = (m_M * C_{p_M} * (T_{\text{MFF}} - T_M)) + (m_{\text{olla}} * C_{p_{\text{olla}}} * (T_{\text{MFF}} - T_M))$$

$$(m_{\text{hielo}} * 0.499 * (0 - (-3))) + (m_{\text{hielo}} * 79.774) + (m_{\text{hielo}} * 1 * (20 - 0)) = 3.19 * 0.9 * (20 - 94) + (2.82 * 0.12 * (20 - 94))$$

$$m_{\text{hielo}} = 2.4 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = (m_M * C_{p_M} * (T_{\text{MFF}} - T_M)) + (m_{\text{olla}} * C_{p_{\text{olla}}} * (T_{\text{MFF}} - T_M))$$

$$Q_{\text{cedido}} = 3.19 * 0.9 * (20 - 94) + (2.82 * 0.12 * (20 - 94))$$

$$Q_{\text{cedido}} = -237.50 \text{ kcal}$$

3.4.4. Tabla de resultados en el Balance de Energía

En la Tabla III-10, se resume el balance de energía para cada proceso involucrado en la elaboración de cerveza artesanal:

Tabla III-10. Resultados del Balance de Energía

MACERADO	
Calor ganado	Calor necesario para mantener la temperatura de la mezcla malta-agua en 68°C por 90 minutos
24.11 kcal	60.86 kcal

Fuente: Elaboración Propia, 2021

COCCIÓN	
Calor ganado	Calor necesario para mantener la temperatura del mosto en ebullición por 90 minutos
95.70 kcal	37.10 kcal

Fuente: Elaboración Propia, 2021

ENFRIADO
Calor cedido
-237.50 kcal

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.5. Evaluación Sensorial

Las características organolépticas de las muestras de cerveza artesanal, se determinaron mediante una escala hedónica de 9 puntos, fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados, los cuales evaluaron cada una de las muestras de la cerveza. A cada uno se le entregó cuatro muestras en vasos transparentes, los parámetros evaluados fueron; color, olor, sabor y apariencia. **VER ANEXO 2**

En esta evaluación sensorial, a cada atributo se le asigna un porcentaje en función de su importancia. El atributo aroma tuvo un porcentaje de 20%, el atributo color un porcentaje de 20%, el atributo sabor un porcentaje de 40% y finalmente el atributo apariencia un porcentaje de 20%.

3.5.1. Evaluación sensorial atributo AROMA de la cerveza artesanal

En la Tabla III-11, se muestra los resultados de la evaluación sensorial de las muestras de cerveza artesanal resultantes.

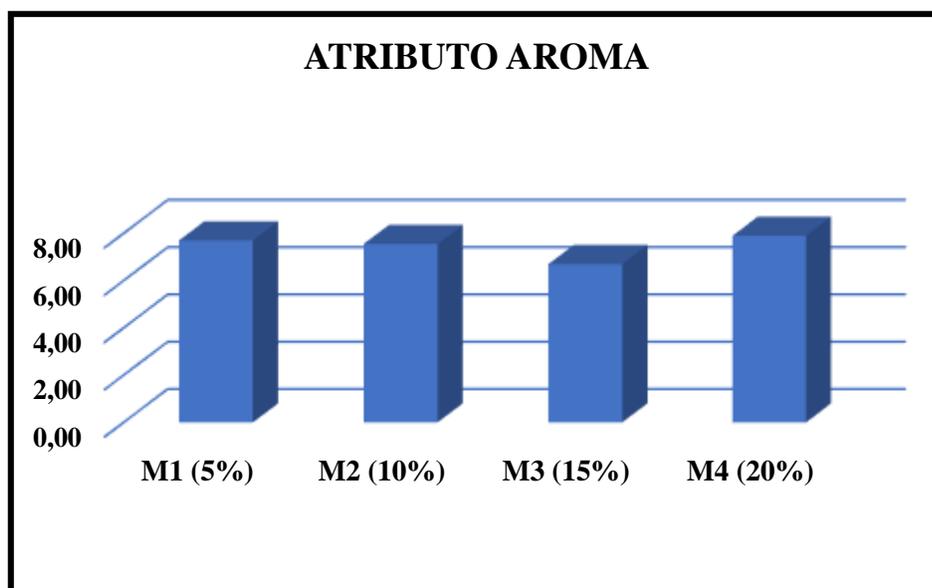
Tabla III-11. Evaluación sensorial del atributo aroma

ATRIBUTO AROMA				
Juez	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (15%)	M4 (20%)
1	9	6	8	9
2	8	7	6	8
3	7	7	9	7
4	7	8	6	8
5	9	9	5	9
6	7	9	4	9
7	8	9	7	8
8	9	9	8	8
9	9	8	8	7
10	9	9	7	7
11	8	5	8	7
12	7	7	7	6
13	7	9	6	9

14	7	8	5	8
15	7	6	8	8
16	7	6	4	9
17	8	8	7	7
18	8	7	8	8
19	7	7	7	9
20	6	7	6	7
$\sum x_i$	154	151	134	158
X_{Xi}	7.70	7.55	6.7	7.9

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III-5. Evaluación Sensorial Del Atributo Aroma



Fuente: Elaboración Propia, 2021

En la evaluación sensorial del atributo Aroma (Tabla III-11 y Figura III-5) de la cerveza artesanal, el tratamiento o muestra que obtuvo mayor puntaje fue el T-4 (20% avena), seguido del T-1 (5 % avena) y T-2 (10% avena) con los que no muestra diferencias significativas. Por otro lado, el T-3 (15% avena) es el que tiene la puntuación más baja.

3.5.2. Evaluación sensorial atributo COLOR de la cerveza artesanal

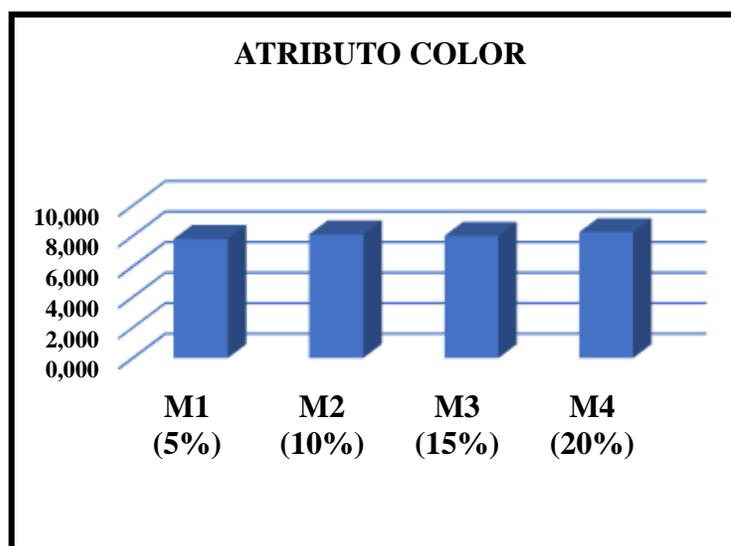
Tabla III-12. Evaluación Sensorial Del Atributo Color

ATRIBUTO COLOR				
Juez	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (15%)	M4 (20%)
1	7	9	9	9
2	8	8	8	8
3	8	8	7	7
4	7	9	9	9
5	7	8	8	9
6	8	7	8	7
7	7	8	8	8
8	8	9	8	8
9	8	7	9	9
10	7	9	7	8
11	9	9	8	9
12	9	9	9	9

13	9	8	9	9
14	7	8	7	7
15	7	7	8	7
16	8	6	8	9
17	8	8	7	7
18	7	8	7	8
19	8	9	8	9
20	9	8	8	9
$\sum x_i$	156	162	160	165
\bar{X}_{Xi}	7.80	8.10	8.00	8.25

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III-6. Evaluación Sensorial Del Atributo Color



Fuente: Elaboración Propia, 2021

En la evaluación sensorial del atributo Color (Tabla III-12 y Figura III-6), el tratamiento o muestra que obtuvo mayor puntaje fue el T-4 (20% avena), seguido del T-2 (10% avena) y T-3 (15% avena) con los que no presenta diferencias significativas. Sin embargo, el tratamiento con menor puntaje es el T-1 (5% avena).

3.5.3. Evaluación sensorial atributo APARIENCIA de la cerveza artesanal

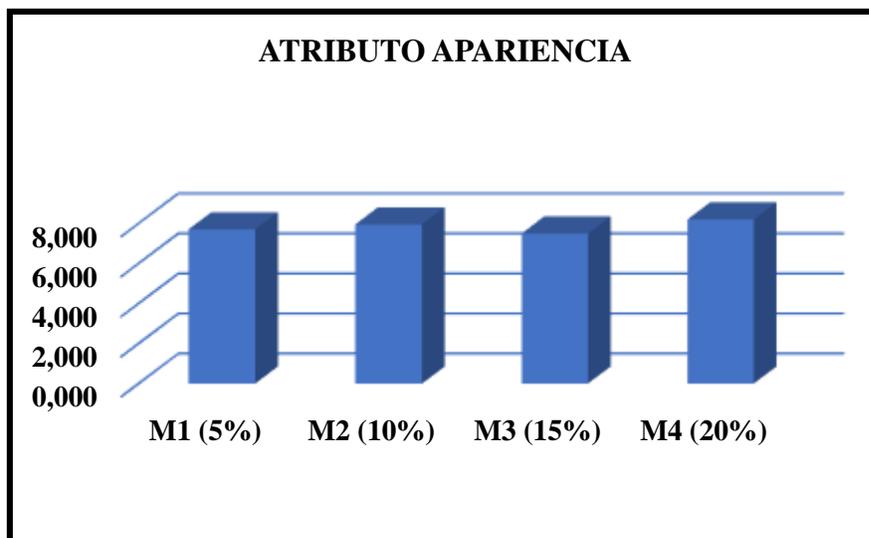
Tabla III-13. Evaluación Sensorial Del Atributo Apariencia

ATRIBUTO APARIENCIA				
Juez	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (15%)	M4 (20%)
1	7	8	6	9
2	7	7	8	8
3	9	9	7	9
4	6	7	7	7
5	6	7	7	8
6	9	9	9	9
7	7	8	8	8
8	9	9	9	9
9	9	9	8	9
10	8	8	7	8
11	9	9	9	9

12	7	7	6	8
13	9	9	8	8
14	7	8	7	8
15	8	8	8	8
16	9	8	9	9
17	7	7	7	7
18	7	8	7	7
19	8	7	6	8
20	6	7	7	8
$\sum x_i$	154	159	150	164
X_{xi}	7.70	7.95	7.50	8.20

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III-7. Evaluación Sensorial Del Atributo Apariencia



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Por otro lado, la evaluación sensorial del atributo Apariencia (Tabla III-13 y Figura III-7) el tratamiento o muestra que obtuvo mayor puntaje fue el T-4 (20% avena), seguido del T-2 (10% avena) y T-1 (5% avena) y el tratamiento con menor puntaje es el T-3 (15% avena).

3.5.4. Evaluación sensorial atributo SABOR de la cerveza artesanal

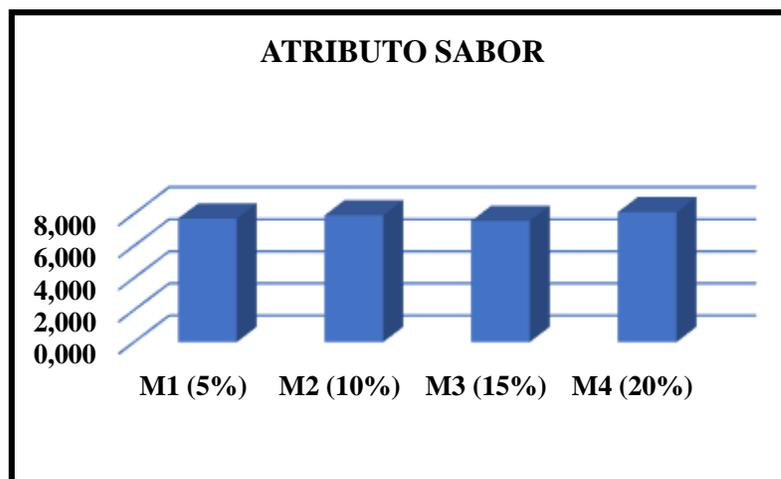
Tabla III-14. Evaluación Sensorial Del Atributo Sabor

ATRIBUTO SABOR				
Juez	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (15%)	M4 (20%)
1	8	9	9	9
2	6	7	7	8
3	7	8	7	8
4	8	8	9	9
5	9	8	9	9

6	7	9	6	7
7	6	8	7	8
8	9	7	7	8
9	7	7	8	7
10	9	8	7	8
11	7	8	7	8
12	8	7	8	7
13	9	9	7	9
14	9	9	7	9
15	9	8	9	9
16	7	8	7	8
17	7	8	7	9
18	7	7	8	7
19	7	8	7	8
20	8	7	8	7
$\sum X_i$	154	158	151	162
\bar{X}_{Xi}	7.70	7.90	7.55	8.10

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III-8. Evaluación Sensorial Del Atributo Sabor



Fuente: Elaboración Propia, 2021

En resumen, la evaluación sensorial del atributo Sabor (Tabla III-14 y Figura III-8) el tratamiento o muestra que obtuvo mayor puntaje fue el T-4 (20% avena), seguido del T-2 (10% avena) y T-1 (5% avena) y el tratamiento con menor puntaje es el T-3 (15% avena).

3.6. Aceptación del producto

De los resultados (Tabla III-15 ; Figura III-9), el tratamiento (T-4) o muestra (M4) con 20% de avena fue la prueba más aceptada con una puntuación total de 8.11. Sin embargo, la aceptabilidad fue similar para la muestra M2 (T-4, 20% de avena), sin diferencias significativas.

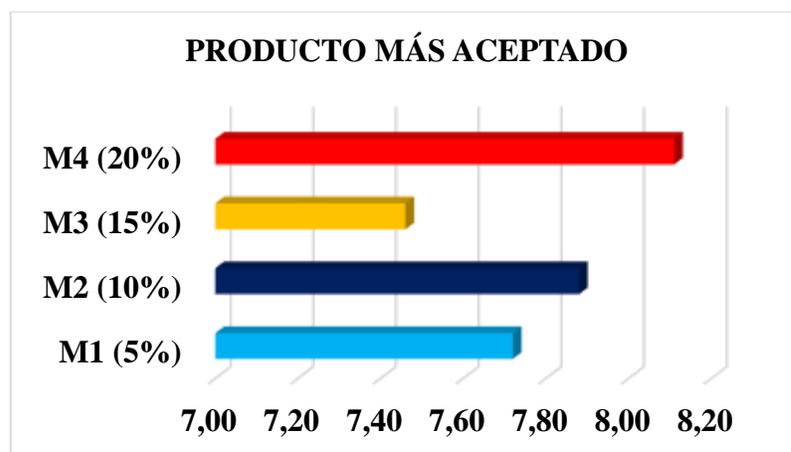
Tabla III-15. Aceptación del producto

PRODUCTO MÁS ACEPTADO				
Características	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (15%)	M4 (20%)
AROMA (20%)	1.54	1.51	1.34	1.58
COLOR (20%)	1.56	1.62	1.60	1.65
APARIENCIA (20%)	1.54	1.59	1.50	1.64
SABOR (40%)	3.08	3.16	3.02	3.24

TOTAL PUNTOS OBTENIDOS	7.72	7.88	7.46	8.11
-------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III-9. Aceptación del producto



Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.7. Costo de elaboración del proyecto

Tabla III-16. Costo de Materia Prima

Materia Prima	Cantidad	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Costo
---------------	----------	----------	----------------------	-------

Malta base (MALTA PALE ALE):	9	kg	15.5	139.5
Hojuelas Avena	6	unidades	10.5	63
Malta CARAHELL:	2	kg	17.4	34.8
Malta CARAMUNICH TIPO 2:	2	kg	18.4	36.8
Malta MUNICH 1:	1	kg	15.6	15.6
Malta Chocolate (CARAFA TIPO I):	1	kg	19	19
Malta Negra (CARAFA TIPO II):	1	kg	19	19
Malta Caramelo (CARAAROMA)	1	kg	19	19
Lúpulo (CASCADE) :	100	g	50	50
Lúpulo (Fuggle):	100	g	51	51
Levadura US-04:	6	unidades	32	192
Agua	8	unidades	16	128
Total	767.7 (Bs)			

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla III-17. Costo de Equipos y Materiales

Equipos y Materiales	Cantidad	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Costo
Botellón fermentador	17	unidades	10	170
Termómetro	1	unidades	120	120
Mangueras	15	m	1.5	22.5

Densímetro	1	unidad	175	175
pH metro digital	1	unidad	350	350
Olla de macerado de Acero Inoxidable	1	unidad	120	120
Olla de cocción de Acero Inoxidable	1	unidad	280	280
Vaso de precipitado	1	unidad	32	32
Matraz Erlenmeyer	1	unidad	55	55
Heladera	1	unidad	1900	1900
Cocina	1	unidad	380	380
Bolsa de maceración	2	unidades	22	44
Chapadora	1	unidad	430	430
Tapas corona	150	unidad	0.8	120
Botellas (500 ml)	96	unidades	3	288
Molino	1	unidad	120	120
Balde para filtrado	1	unidades	20	20
Cepillo para lavar botellas	1	unidad	25	25
Probeta (100 ml)	1	unidad	80	80
Secador de botellas	1	unidad	150	150
Espumadera de Acero Inoxidable	1	unidad	15	15
Colador Acero Inoxidable	1	unidad	20	20
Papel de aluminio	5	metros	5	25
Papel filtro	3	metros	10	30

Vasos de vidrio para fermentación	12	unidades	3.5	42
Copas de vidrio	24	unidades	6	144

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla III-18. Costos Extras

Extras	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Costo
Papel	500 hojas	0.1	50
Internet	150 horas	3	450
Impresiones	400 hojas	0.4	150
Transporte	180	1	
Mano de obra	300	20	6000
Anillados	3	45	135
Análisis de laboratorio	390		390
Total	7175 (Bs)		

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla III-19. Costo Total Del Proyecto

Descripción	Cantidad	Costo (Bs)
Materias primas	12	767.7
Materiales y equipos	26	5157.5
Extras	7	7175
Total	13100.2 (Bs)	

Fuente: Elaboración Propia, 2021

CAPÍTULO IV

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La utilización de avena, como adjunto cervecero, puede mejorar las características organolépticas de la cerveza, el resultado, un producto con sabores y aromas muy agradables, se tomó datos de la densidad inicial y final para poder calcular el grado alcohólico de nuestra cerveza, con ello se pudo observar que a mayor cantidad de avena utilizada, menor cantidad de alcohol. Puesto que, al disminuir la cantidad de malta y aumentar la cantidad de avena se reduce los azúcares fermentables, pero se obtiene más azúcares no fermentables y proteínas, los cuales dan mayor cuerpo a la cerveza.

El desarrollo de la presente investigación ha permitido establecer las siguientes conclusiones:

- ✓ La caracterización de la materia prima se realizó en base a la ficha técnica de cada insumo, los cuales son proporcionados por los proveedores, estos cumplen los requisitos según la norma boliviana APNB 323001.
- ✓ Se determinó los porcentajes de malta de cebada/avena (95/05, 90/10, 85/15, 80/20) tomando como base la receta mostrada en la Tabla II-1, el cálculo del IBU y del SRM se realizaron utilizando las fórmulas dadas en el capítulo I, los cuales se encuentran dentro el rango requerido por el estilo de cerveza que se pretende elaborar.
- ✓ El diagrama de flujo para la elaboración de cerveza artesanal estilo Porter a base de malta de cebada y avena se ha elaborado de forma detallada, especificando el tiempo y la temperatura requerida en cada etapa del proceso, todo esto para que sea comprensible para quienes no tienen experiencia en la elaboración de cerveza artesanal, ya que esta cuenta con los datos necesarios para la elaboración de cerveza artesanal utilizando como adjunto la avena.
- ✓ La elaboración de la cerveza artesanal se realizó en el Laboratorio de operaciones unitarias (LOU) de la U.A.J.M.S., de acuerdo a las cantidades establecidas de materia prima e insumos, al contar con un lugar cerrado y con

los equipos e instrumentos requeridos no hubo complicaciones durante el proceso de elaboración.

- ✓ En esta investigación se aplicó un diseño DCA (Diseño completamente al azar) empleando un total de cuatro tratamientos con tres repeticiones, siendo el factor de estudio el porcentaje de avena (5%, 10%, 15% y 20% de avena con respecto al total de la avena), a medida que se reduce la cantidad de malta de cebada y se aumenta la avena durante el proceso de elaboración de la cerveza, la cantidad de alcohol disminuye, por lo que se toma el % Alcohol como variable de respuesta.
- ✓ Se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico a la muestra ganadora en el laboratorio del CEANID - UAJMS, las mismas no superan los valores máximos permisibles según lo detalla el requisito de la Norma Boliviana (APNB 323001, 2001), por lo tanto, el producto elaborado a base de malta de cebada y avena no presenta problemas para su posible comercialización. Así como también el análisis sensorial. El análisis del color y amargor del producto final se realizó en el laboratorio de la Cervecería Boliviana (CBN), planta Tarija, en cuanto al amargor, este se encuentra dentro del rango requerido, sin embargo, existe diferencia significativa en el color de la cerveza, ya que esta no está dentro del rango establecido según la guía de estilos BJCP 2015.
- ✓ Se realizó los balances de materia y energía a partir de la masa de extracto en todas las etapas requeridas del proceso, no hubo complicaciones en esta etapa ya que se conocía la mayoría de los datos, lo que facilitó la realización de la misma. Con ella se determinó las corrientes de entrada y salida y los calores necesarios para cada etapa del proceso.
- ✓ Se realizó la caracterización del producto final de acuerdo a la guía BJCP, siendo estas la Impresión General, Apariencia, Aroma, Sabor, Sensación en Boca y Estadísticas Vitales (Densidad Final, Alcohol por Volumen, Unidades

Internacionales de Amargor y de Color), hubo una diferencia significativa en el color de la cerveza (SRM), ya que los cálculos realizados de manera manual no coinciden con los realizados en el laboratorio de la Cervecería Boliviana Nacional (CBN).

4.2.Recomendaciones

- ✓ Se recomienda utilizar el mejor tratamiento T-4 (20% de avena, 80% de mezcla de maltas) para la producción de cerveza artesanal a base de malta de cebada y avena. Ya que este tratamiento obtuvo los mejores resultados en el análisis sensorial y análisis fisicoquímicos realizados.
- ✓ Se recomienda utilizar el proceso de elaboración de cerveza artesanal propuesto en este estudio para elaborar otros estilos de cerveza artesanal.
- ✓ Antes de elaborar la cerveza artesanal se debe asegurar que el área, los recipientes que se usarán estén limpios, para ello, se debe desinfectar todos los materiales y equipos antes de ocuparlos. De esa forma se evitará la contaminación del producto antes durante y después de la elaboración, especialmente después del enfriamiento donde no hay calor y podría existir una posible contaminación por bacterias del ambiente.
- ✓ Para mejorar la calidad del producto final, es necesario trabajar con el equipo especial para la elaboración de cerveza, como el control del frío, ya que viene siendo un asunto muy serio de salud y seguridad alimentaria, simultáneamente para mantener la frescura y calidad del producto final.
- ✓ Se recomienda para futuras investigaciones realizar el diseño factorial en más etapas del proceso como por ejemplo; en la molienda, maceración, cocción, a su vez tomar como factores de estudio el tiempo y temperaturas de maceración y cantidad de lúpulo.
- ✓ Los análisis de laboratorio del producto final deben realizarse lo antes posible para obtener resultados más precisos.

- ✓ Se recomienda para un nuevo estudio utilizar estos resultados como base para explorar futuros trabajos con otro tipo de adjunto para la elaboración de este tipo de bebidas.