

# **INTRODUCCIÓN**

## **Antecedentes**

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas más antiguas y universales, con una historia que se remonta a miles de años, la cerveza ha desempeñado un papel crucial en diversas culturas a lo largo de la historia, sirviendo como una bebida ceremonial, nutritiva y socialmente significativa, (Smith J. , 2008)

Los primeros registros de la producción de cerveza datan de la antigua Mesopotamia, hace más de 5,000 años. Desde entonces, la cerveza ha evolucionado y se ha adaptado a diversas culturas y técnicas de elaboración en todo el mundo.

La cerveza artesanal, un producto que evoca una rica historia de tradición y creatividad, surge como una respuesta audaz al dominio de las cervecerías industriales. En un mundo donde la uniformidad y la producción en masa reinaban, un grupo de apasionados cerveceros decidió desafiar las normas establecidas y devolverle el alma a esta antigua bebida. Inspirados por el deseo de innovar, experimentar y rescatar técnicas ancestrales de elaboración, estos visionarios cerveceros artesanales se embarcaron en un viaje de descubrimiento, explorando ingredientes, perfeccionando recetas y reinventando estilos olvidados.

La cerveza negra, con su distintivo color oscuro u opaco, ha cautivado la atención de muchos aficionados a la cerveza. Sus sabores y aromas evocan notas de chocolate o café, características que definen su perfil sensorial y la distinguen de otros estilos.

Es innegable que la cerveza negra ocupa un lugar privilegiado entre los amantes de esta apasionante bebida. Su sabor amargo, su textura cremosa y su espuma densa son atributos que la convierten en una opción muy apreciada en la industria cervecera.

Pero más allá de su aspecto y su sabor, la cerveza negra se distingue por sus propiedades nutricionales. Un análisis comparativo entre la cerveza rubia y la cerveza negra revela diferencias significativas. La cerveza negra es más calórica y contiene mayores cantidades de potasio, fósforo y magnesio. Además, ofrece casi el doble de vitaminas, convirtiéndola en una opción nutritiva y equilibrada.

(Martínez, 2011)

Esta riqueza nutricional, combinada con su perfil de sabor único, posiciona a la cerveza negra como una de las bebidas más interesantes y versátiles del mundo cervecero.

Algunas de las cervezas negras más famosas son las Porters y las Stout. El estilo Stout se remonta al siglo XVIII en Irlanda, donde la cerveza Porter, un estilo popular en la época, era elaborada en las cervecerías locales. La Stout, que significa "fuerte" en inglés, surgió como una variación más robusta y oscura de la Porter, con un contenido alcohólico ligeramente superior y un carácter más intenso en sabor y aroma.

La Milk Stout, también conocida como Sweet Stout, es un estilo de cerveza que se deriva de la Stout tradicional. La Milk Stout ha experimentado un resurgimiento en la popularidad en los últimos años, atrayendo a una nueva generación de bebedores de cerveza con su perfil de sabor distintivo y su capacidad para innovar en un mercado cada vez más diverso. Se caracteriza por su sabor dulce y cremoso, debido a la adición de lactosa durante el proceso de elaboración. La lactosa, un tipo de azúcar no fermentable, le confiere cuerpo y suavidad a la cerveza, equilibrando así el amargor característico de las Stouts. (Garcia & López, 2020)

En cuanto a la producción de cervezas negras estilo Milk Stout, Estados Unidos ha sido un líder en la revolución de la cerveza artesanal y ha desempeñado un papel destacado en la producción de Milk Stout. La escena cervecera artesanal en Estados Unidos ha estado a la vanguardia de la producción de Milk Stout, con numerosas cervecerías experimentando y elaborando este estilo con variaciones únicas. (Jones, 2018)

Con una rica tradición cervecera, el Reino Unido ha sido un importante productor de Milk Stout. Regiones como Inglaterra e Irlanda han visto un resurgimiento en la popularidad de la Milk Stout, con cervecerías locales reviviendo este estilo clásico con nuevos ingredientes y técnicas de elaboración. (Smith, 2019)

La industria cervecera canadiense también ha seguido de cerca la tendencia global hacia las cervezas artesanales y especiales, incluida la Milk Stout. (Brown, 2020), cervecerías en todo Canadá están produciendo Milk Stout de alta calidad, con un enfoque en ingredientes locales y métodos de elaboración tradicionales

Brasil junto con México están en constante innovación en el ámbito cervecero ya que este estilo de cervezas se está volviendo tendencia entre los consumidores y amantes de la cerveza, en el ámbito nacional hay innovaciones de cervecerías artesanales como “Vicos” y “Mystica” que empezaron a elaborar cervezas negras estilo Porter y Stout por los años 2019 y 2020, actualmente en el departamento de Tarija cervecerías artesanales como “Macabra” y “Barbosa” incursionaron en la elaboración de cervezas negras pero no se cuentan con datos de producción de cervezas negras estilo Milk Stout

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- ✓ Desarrollar y caracterizar una cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao, mediante un diseño experimental factorial, evaluando el efecto del porcentaje de avena y el tiempo de fermentación sobre sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, a fin de validar su viabilidad técnica a escala laboratorio.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Identificar y seleccionar el proceso adecuado para la elaboración de cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao.
- ✓ Desarrollar un diseño experimental factorial para evaluar la influencia del porcentaje de avena y el tiempo de fermentación en el producto.
- ✓ Realizar balances de materia y energía del proceso desarrollado
- ✓ Determinar las propiedades fisicoquímicas del producto obtenido.
- ✓ Evaluar la aceptación sensorial de la cerveza elaborada y caracterizarla de acuerdo con los criterios establecidos por la guía BJCP.
- ✓ Efectuar un análisis de los resultados obtenidos.
- ✓ Caracterizar el producto de acuerdo a la guía BJCP.
- ✓ Evaluar la viabilidad técnica y económica del proceso para su posible aplicación en cervecerías artesanales.

## **Justificación del proyecto**

### **Justificación tecnológica**

La tecnología requerida para la elaboración de cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao no es compleja, ya que se basa en equipos estándar de elaboración de cerveza como ollas y fermentadores, así como en procesos tradicionales como la molienda de ingredientes y el control de temperatura durante la maceración. La adición de cascarilla de cacao se integra fácilmente en el proceso, sin requerir tecnología especializada. La investigación propuesta busca validar este proceso tecnológico específico, determinando las cantidades óptimas y el momento adecuado para agregar la cascarilla de cacao, con el objetivo de explorar nuevas dimensiones de sabor y complejidad en la cerveza resultante.

### **Justificación económica**

Elaborar una cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao representa una propuesta con potencial económico dentro del sector cervecero local. La inclusión de un subproducto agroindustrial como la cascarilla no solo permite innovar en la formulación, sino que también reduce la dependencia de insumos convencionales más costosos. Asimismo, se realizó un análisis detallado de los costos asociados a la producción en laboratorio, lo cual permite proyectar la viabilidad económica del proceso en escenarios reales de micro producción artesanal. Esta iniciativa puede generar interés comercial y abrir oportunidades de emprendimiento con bajo requerimiento de inversión inicial.

### **Justificación social**

La elaboración de cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao representa una alternativa innovadora dentro del sector productivo local, aportando diferenciación frente a las propuestas convencionales. Esta diferenciación puede dinamizar el rubro cervecero artesanal al captar nuevos nichos de consumidores interesados en productos con valor agregado. Asimismo, fomenta la valorización de subproductos agroindustriales y abre posibilidades de microemprendimiento, lo que puede traducirse en oportunidades de autoempleo y fortalecimiento de la economía local a pequeña escala.

### **Justificación ambiental**

El proceso de elaboración de la cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao se alinea con prácticas sostenibles y de bajo impacto ambiental. Al tratarse de una cerveza artesanal, la producción se realiza en una escala más pequeña en comparación con las cervezas industriales, lo que resulta en una menor huella ecológica. Además, la utilización de la cascarilla de cacao como un subproducto de la industria chocolatera reduce los desperdicios y promueve la economía circular.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### 1.1 Definición de cerveza

La cerveza es una bebida alcohólica que se obtiene mediante un proceso de fermentación controlado, en el cual se combinan ingredientes esenciales como agua, malta de cebada (o una mezcla de granos malteados), lúpulo y levadura. Este proceso comienza con la preparación del mosto, que consiste en la mezcla de agua y malta, seguida de la adición de lúpulo para aportar amargor, aroma y estabilidad microbiológica. Luego, se lleva a cabo la fermentación, donde la levadura transforma los azúcares presentes en la malta en alcohol y dióxido de carbono, dando lugar a la cerveza.

### 1.2 Características de la cerveza

La cerveza, por su proceso natural de elaboración y por las materias primas (agua pura, cereales, lúpulo y levaduras), posee características nutricionales que la hacen una bebida sana y nutritiva (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1999)

***Tabla I-1. Características Nutricionales de la Cerveza***

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



|                         |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|
| <b>Ca (mg)</b>          | 18   | 18   | 25   |
| <b>Zn (mg)</b>          | 0.07 | 0.11 | 0.04 |
| <b>Vitaminas A (mg)</b> | 0    | 0    | 0    |
| <b>Niacina (mg)</b>     | 1.61 | 1.39 | 1.62 |
| <b>Vitamina C (mg)</b>  | 0    | 0    | 0    |

**Fuente:** (Márquez & Jesús, 2015)

Se observa en la Tabla I-1, que, según el tipo de cerveza, el aporte de energía está entre 32 y 145 kilocalorías. No contiene colesterol, vitamina A y vitamina C. Según (Pennacchiotti & H, 1985), la cerveza tiene la siguiente composición promedio, acorde a la Tabla 2.

**Tabla I-2. Composición de la Cerveza**

| <b>g/ 100 g parte comestible</b> |      | <b>mg / 100 g parte comestible</b> |      |
|----------------------------------|------|------------------------------------|------|
| <b>Calorías</b>                  | 45   | Calcio                             | 3    |
| <b>Humedad</b>                   | 90,7 | Fósforo                            | 18   |
| <b>Proteínas</b>                 | 0,4  | Sodio                              | 5    |
| <b>Lípidos</b>                   | 0    | Potasio                            | 27   |
| <b>Fibra cruda</b>               | 0    | Rivoflavina                        | 0.04 |
| <b>Cenizas</b>                   | 0,14 | Ac. ascórbico                      | 0,3  |

**Fuente:** (Pennacchiotti & H, 1985)

### **1.3 Clasificación de las cervezas**

La diversidad de la cerveza es una riqueza sensorial que refleja la vastedad cultural de nuestro mundo. Cada variedad, un universo propio de aromas, sabores, colores y texturas, muchas veces lleva consigo el nombre de los pueblos que la vieron nacer. Aunque comparten una base común de ingredientes como cebada malteada, lúpulo, levadura y agua, es la combinación única de estas materias primas y el proceso de fermentación lo que distingue una cerveza de otra.

La cerveza según el tipo de levadura se clasifica en:

#### **1.3.1 Cervezas de alta fermentación**

Las cervezas de alta fermentación, conocidas como Ales, fermentan a temperaturas más cálidas y tienden a desarrollar una amplia gama de sabores y aromas debido a la actividad de las levaduras que flotan en la superficie durante el proceso de fermentación. (Garrett , 2005)

#### **1.3.2 Cervezas de alta baja fermentación**

La cerveza de baja fermentación, o Lager, se caracteriza por fermentar a temperaturas más bajas y utilizar cepas de levadura que tienden a asentarse en la parte inferior del tanque durante la fermentación, lo que resulta en un perfil de sabor limpio y crujiente. (Márquez & Jesús, 2015)

### **1.4 Propiedades identificables en la cerveza**

Para comprender la complejidad de la cerveza, es fundamental analizar las propiedades que la definen. Estas propiedades se pueden clasificar en cuatro categorías principales:

#### **1.4.1 Propiedades visuales**

##### **1.4.1.1 Color**

El color de la cerveza es una de las primeras características que se perciben y está determinado principalmente por el tipo de malta utilizada y el proceso de tostado. La escala Standard Reference Method (SRM) se utiliza para clasificar el color de la cerveza, que va desde 1 (amarillo claro) hasta 40 (marrón oscuro). Los estilos de cerveza más ligeros, como las lagers y las cervezas de trigo, suelen tener

colores SRM bajos, mientras que las cervezas más oscuras, como las porter y las stouts, tienen colores SRM más altos.

#### **1.4.1.2 Claridad**

La claridad de la cerveza se refiere a su transparencia y puede variar desde translúcida (cristalina) hasta turbia. La turbidez puede ser causada por la presencia de sedimentos, como proteínas, lúpulo o levadura, o por la formación de complejos entre proteínas y polifenoles. La claridad de la cerveza es un factor importante en su apariencia y puede influir en la percepción del sabor y aroma.

#### **1.4.1.3 Espuma**

La espuma es una parte esencial de la experiencia cervecera y se forma por la presencia de proteínas y gases disueltos en la cerveza. La altura, cremosidad, adherencia y persistencia de la espuma son aspectos importantes que se evalúan en el análisis sensorial de la cerveza. La espuma juega un papel importante en la liberación de aromas y en la sensación en la boca.

### **1.4.2 Propiedades olfativas**

#### **1.4.2.1 Aroma**

El aroma de la cerveza es una ventana a su alma y es una de las características más importantes que determinan su perfil sensorial. Los aromas de la cerveza provienen de una variedad de fuentes, incluyendo el lúpulo, la malta, la levadura y otros ingredientes añadidos. Los compuestos aromáticos del lúpulo son los principales responsables del aroma floral, cítrico y resinoso de la cerveza, mientras que los compuestos aromáticos de la malta aportan notas de caramelo, chocolate, café y pan tostado. La levadura produce una variedad de compuestos aromáticos, incluyendo ésteres, fenoles y alcoholes, que contribuyen al aroma general de la cerveza.

#### **1.4.2.2 Intensidad**

La intensidad del aroma de la cerveza se refiere a la fuerza con la que se perciben los aromas. La intensidad del aroma puede variar desde muy débil hasta muy fuerte, dependiendo de la concentración de compuestos aromáticos en la cerveza.

### **1.4.2.3 Complejidad**

La complejidad del aroma de la cerveza se refiere a la variedad de aromas diferentes que se pueden percibir. Una cerveza con un aroma complejo tendrá una amplia gama de aromas diferentes, mientras que una cerveza con un aroma simple tendrá solo unos pocos aromas perceptibles.

### **1.4.2.4 Perfil aromático**

El perfil aromático de la cerveza se refiere a la descripción de los aromas específicos que se pueden percibir. El perfil aromático de una cerveza puede incluir aromas florales, cítricos, herbales, especiados, resinosos, a caramelo, a chocolate, a café, entre otros.

## **1.4.3 Propiedades gustativas**

### **1.4.3.1 Sabor**

El sabor de la cerveza es la sinfonía en el paladar y es el resultado de la interacción de una variedad de compuestos químicos. Los sabores básicos de la cerveza incluyen dulzura, amargor, acidez y astringencia.

### **1.4.3.2 Dulzura**

La dulzura de la cerveza proviene principalmente de los azúcares fermentables presentes en la malta. La cantidad de dulzura residual en la cerveza varía dependiendo del estilo de la cerveza y del grado de atenuación.

### **1.4.3.3 Amargor**

El amargor de la cerveza proviene de los compuestos alfa-ácido del lúpulo. La cantidad de amargor en la cerveza se mide en unidades de isohumulona (IBU). Los estilos de cerveza con alto contenido de lúpulo, como las IPAs y las pale ales, suelen tener un alto contenido de IBU.

## **1.4.4 Propiedades táctiles**

### **1.4.4.1 Sensación en la boca**

El tacto en la boca. La sensación en la boca, determinada por la textura y la carbonatación, complementa la experiencia sensorial. La textura puede ser suave,

cremosa o áspera, mientras que la carbonatación, expresada en la efervescencia, aporta frescura y vivacidad.

#### **1.4.4.2 Temperatura**

El factor clave. La temperatura de servicio también juega un papel crucial en la percepción del sabor y aroma, exaltando o minimizando ciertos aspectos.

### **1.5 Unidades de medida para la caracterización de cerveza**

Para evaluar las propiedades identificables de la cerveza de manera objetiva y científica, se utilizan diversas unidades de medida y fórmulas. Estas herramientas permiten cuantificar las características físicas y químicas de la cerveza, proporcionando información valiosa sobre su composición, proceso de elaboración y calidad final.

#### **1.5.1 Atenuación**

La atenuación de la cerveza indica la proporción de azúcares fermentados durante el proceso de fermentación.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

##### ***Ecuación 1-I***

$$\text{Atenuación} = \frac{100 \cdot (DI - DF)}{DI - 1}$$

Donde

DI = Densidad Inicial

DF = Densidad final

Un valor alto de atenuación (%) indica que la levadura ha fermentado una mayor cantidad de azúcares, lo que resulta en una cerveza más seca y con un mayor contenido de alcohol. Por el contrario, un valor bajo de atenuación (%) indica una cerveza con mayor contenido de azúcares residuales, lo que puede traducirse en una cerveza más dulce y con un menor contenido de alcohol.

#### **1.5.2 Alcohol**

El alcohol que contiene una cerveza puede ser determinado mediante el análisis químico utilizado en las grandes plantas industriales. Este análisis la mayoría de

las veces consiste en una titulación a la llama donde varios reactivos están involucrados. El fabricante artesanal, en oposición a ello, rara vez dispone de los equipos y productos para realizar dicho ensayo, por lo que se vale de cálculos matemáticos para hacer una estimación a partir de la disminución de la densidad del mosto. Para realizar la estimación mencionada se utiliza la siguiente ecuación empírica. (Gonzales, 2015)

#### ***Ecuación I-2***

$$\text{Alcohol} = \frac{1000 * (DI - DF)}{7,4}$$

Donde

DI = Densidad Inicial.

DF = Densidad Final.

7,4 = Constante.

### **1.5.3 Amargor**

Las IBU (International Bitterness Units) miden la intensidad del amargor proveniente del lúpulo en la cerveza.

En las grandes fábricas cerveceras, la medición de las IBU se realiza directamente en el producto terminado mediante complejos análisis químicos que utilizan espectrofotómetros o cromatógrafos. Ahora bien, en elaboraciones artesanales y caseras resulta más fácil y económico realizar una estimación numérica previa a la fermentación que permita conocer un valor aproximado del porcentaje de iso-alfa-ácidos que contendrá la cerveza. Varios autores han desarrollado sus propias fórmulas para estimar o predecir las IBU de una cerveza, pero infortunadamente nunca han alcanzado un consenso en cuanto al empleo de un único método. Dichas formulas con frecuencia resultan bastante complicadas. Sin embargo, para efectos de la presente obra, se proponen las recomendadas por Michael Hall debido a su relativa simpleza y pertinencia. (Gonzales, 2015)

Para lúpulos amargos, los cuales son agregados desde el inicio de la cocción:

### *Ecuación I-3*

$$IBU = \frac{18,7 * \text{Onzas de lúpulo} * \%AA}{\text{galones de cerveza}}$$

Donde %AA es el porcentaje de alfa-ácidos

Para lúpulos que son agregados en la fase intermedia de la cocción:

### *Ecuación I-4*

$$IBU = \frac{7,5 * \text{Onzas de lúpulo} * \%AA}{\text{galones de cerveza}}$$

Para lúpulos aromáticos, los cuales son adicionados al final de la cocción.

$$IBU = 0$$

*Tabla I-3. Escalas de amargor en IBU*

| IBU        | Calificación            |
|------------|-------------------------|
| 5-10       | Poco amargo             |
| 10-40      | Amargo                  |
| 40-60      | Muy amargo              |
| 60-100     | Extremadamente amargo   |
| Mas de 100 | Excepcionalmente amargo |

**Fuente:** (Gonzales, 2015)

### **1.5.4 Grados Plato**

Miden la concentración de azúcares fermentables en la cerveza antes de la fermentación. Esta unidad es crucial para determinar la densidad original del mosto y estimar el contenido de alcohol final.

Se pueden calcular mediante la siguiente formula

### *Ecuación I-5*

$$^{\circ} \text{Plató} = 259 - \left( \frac{259}{G.E} \right) \text{ donde G.E es la gravedad específica}$$

### 1.5.5 Color

El color de la cerveza depende de las maltas que se usen para su elaboración, por un lado, están las maltas base que aportan color amarillo claro y las maltas coloreadas que dan cuerpo y color adicional. El color de estas últimas depende de la temperatura de secado, a más calor, se obtienen colores más oscuros.

La primera escala para medir el color de la cerveza es la que se conoce como escala Lovibond. El método consiste en comparar el color del líquido con unos patrones de vidrio coloreado y el resultado se exprese en grados Lovibond (°L) que van del 0 al 20

Debido a que las personas tienen diferentes percepciones de los colores, se utilizan métodos y escalas de medición más precisos, como SRM (Standard Reference Method) o EBC (European Brewing Convention), para asignar diferentes colores a los valores de estas unidades. (Picón Sánchez, 2020)

Para calcular el color de la cerveza lo primero que se hace es determinar la unidad de color de cada una de las maltas (MCU) usadas en la receta con la siguiente fórmula:

#### *Ecuación I-6 Escala MCU*

$$MCU = \frac{\text{Cantidad de malta (libras)} * L}{\text{Volumen de mosto (galones)}}$$

Se suman todos los MCU obtenidos para cada malta y se obtiene el SRM usando la siguiente relación:

#### *Ecuación I-7 Escala SRM*

$$SRM = 1,4922 * (MCU)^{0,6859}$$

Para convertir a escala EBC se utiliza la siguiente relación:

#### *Ecuación I-8 Escala EBC*

$$EBC = 2,94 * (MCU)^{0,6859}$$



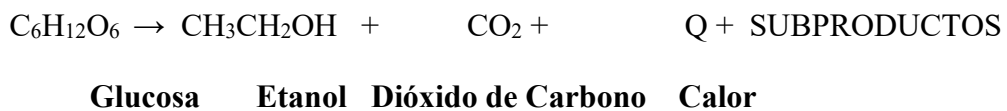
### 1.5.6 Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso biológico que se produce en ausencia de oxígeno (anaeróbico) y está protagonizado por levaduras, unos microorganismos unicelulares. En este proceso, las levaduras transforman azúcares (como la glucosa, la fructosa o la sacarosa) en etanol (alcohol etílico) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol, cuya fórmula química es: **CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH**, dióxido de carbono **CO<sub>2</sub>** en forma de gas y unas moléculas de **ATP**, que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico.

Por tanto, podemos plantear la fermentación como el proceso en el cual un microorganismo transforma la glucosa en etanol y una serie de componentes con cualidades sensoriales especiales (olor y sabor), liberando CO<sub>2</sub> y calor en el proceso.

#### *Ecuación I-9. Fermentación Alcohólica*



### 1.6 Requisitos generales

La Norma Cerveza “Código de prácticas de higiene para la cerveza artesanal” establece los requisitos mínimos que se deben cumplir para garantizar la calidad y seguridad de la cerveza artesanal en Bolivia. Estos requisitos abarcan las instalaciones y equipos, el control de materias primas, el proceso de elaboración, el envasado y etiquetado, el almacenamiento y distribución, el control de calidad. (IBNORCA, Cerveza - Código de prácticas de higiene para la cerveza artesanal, 2017)

Algunos requisitos generales son:

- Contar con instalaciones y equipos adecuados y en buen estado.
- Utilizar materias primas de calidad alimentaria y libres de contaminantes.

- Seguir buenas prácticas de manufactura durante el proceso de elaboración.
- Envasar la cerveza en recipientes limpios y secos, y etiquetarla correctamente.
- Almacenar y distribuir la cerveza en condiciones adecuadas.
- Implementar un sistema de control de calidad para garantizar la calidad y seguridad del producto.

### 1.6.1 Requisitos fisicoquímicos

La cerveza artesanal deberá cumplir los siguientes requisitos fisicoquímicos mostradas en la Tabla I-4 :

**Tabla I-4. Requisitos Fisicoquímicos**

| 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:** (IBNORCA, NB 323001, 2016)

### 1.6.2 Requisitos microbiológicos

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

**Tabla I-5. Requisitos Microbiológicos**

| Parámetro                                      | Recuento total           | Método de ensayo                                                                         |
|------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recuento total de bacterias aerobias mesófilas | $1 \times 10^2$ UFC / ml | NB 32003<br>(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                | $2 \times 10^1$ UFC / ml | NB 32006                                                                                 |

**Fuente:** (IBNORCA, NB 323001, 2016)

## 1.7 Proceso de elaboración de cerveza

La fabricación de cerveza sigue una serie de procesos que se aplican tanto en la producción industrial como en la artesanal. La variación en estos procesos depende del equipo y la tecnología empleados en cada caso.

En la figura I-1 se dará a conocer las etapas del proceso de elaboración de cerveza con respecto al proceso propio de la investigación

**Figura I-1 Proceso de elaboración de cerveza**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

### 1.7.1 Molienda

La molienda de la malta es el proceso de triturar los granos de malta para romper su estructura y exponer el almidón contenido en su interior. Esto es crucial en la elaboración de cerveza porque el almidón es el componente principal que se convertirá en azúcares fermentables durante la etapa de maceración.

Una molienda adecuada es fundamental por varias razones:

- **Eficiencia de extracción**

Al romper los granos de malta en pedazos más pequeños, se aumenta la superficie de contacto entre el almidón y las enzimas durante la maceración, lo que permite una extracción más completa de los azúcares fermentables.

- **Consistencia en la maceración**

Una molienda uniforme ayuda a garantizar una distribución homogénea de los granos en el lecho de maceración, lo que promueve una temperatura y pH consistentes durante todo el proceso y evita puntos calientes o fríos que podrían afectar la conversión del almidón en azúcares.

- **Filtración adecuada**

Los granos molidos correctamente permiten una filtración eficiente durante la clarificación del mosto, evitando la obstrucción de los filtros y mejorando el rendimiento del proceso.

- **Perfil de sabor**

La molienda puede afectar el perfil de sabor de la cerveza final. Un molido más fino puede liberar compuestos de sabor y aroma de la malta de manera más efectiva, mientras que un molido más grueso puede producir una cerveza con características diferentes.

### **1.7.2 Macerado**

Tras moler la malta, procedemos a su maceración, un paso crucial en nuestro proceso de elaboración. Durante este proceso, el almidón presente en la malta se convierte en azúcar mediante procesos naturales de bioquímica y enzimas.

Los azúcares se extraen rápidamente al principio, alcanzando la mayor parte del extracto en aproximadamente una hora, aunque la extracción óptima se logra después de 90 a 120 minutos (Ferreyra, 2014, pág. 49)

El resultado final de esta etapa es el mosto, una solución dulce compuesta, entre otros componentes, por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros elementos disueltos en agua.

### **1.7.3 Extracto**

El extracto en el contexto cervecero se refiere a los componentes de los cereales que entran en solución mediante la actividad enzimática durante el proceso de maceración. Constituye una medida fundamental de la cantidad y calidad de los materiales fermentables presentes en el mosto, y por ende, es una característica esencial en la producción cervecera que se evalúa a lo largo de todo el proceso (Yurquina, 2014).

#### **1.7.3.1 Contenido del extracto**

##### **1.7.3.1.1 Azúcares fermentables**

Principalmente maltosa, glucosa y otros oligosacáridos, que sirven como sustrato para la fermentación alcohólica durante el proceso de producción de la cerveza.

##### **1.7.3.1.2 F.A.N (Nitrógeno Aminoacídico Libre) o Nitratos de aminoácidos**

Son compuestos nitrogenados, principalmente aminoácidos libres, que se disuelven en el mosto y pueden afectar significativamente el perfil de sabor y aroma de la cerveza final. Además, estos compuestos sirven como nutrientes para las levaduras durante la fermentación.

##### **1.7.3.1.3 Minerales y vitaminas**

Elementos como el potasio, el fósforo, el magnesio y ciertas vitaminas presentes en el mosto, son esenciales para el metabolismo de las levaduras y, en consecuencia, para el correcto desarrollo del proceso de fermentación.

Además de los componentes fermentables, el mosto también contiene una variedad de sustancias no fermentables que contribuyen al cuerpo, sabor y estabilidad de la cerveza final. Estos incluyen dextrinas, proteínas solubles, compuestos fenólicos, y otros elementos inorgánicos que influyen en las propiedades organolépticas y físico-químicas de la cerveza (Ruiz, 2019)

#### **1.7.4 Tipos de maceración**

A partir de este momento, la maceración puede ser realizada de dos maneras diferentes; maceración simple, aplicando solo un rango de temperatura o maceración escalonada, aplicado varios rangos de forma selectiva.

#### **1.7.4.1 Maceración simple**

En la maceración simple de la cerveza, la mezcla de agua y granos de malta se somete a un control estricto de temperatura. Es esencial mantener esta temperatura dentro de un rango específico, típicamente entre 65°C y 68°C, y sostenerla durante un período de tiempo determinado, generalmente alrededor de una hora. Este rango de temperatura es óptimo para activar las enzimas amilolíticas presentes en la malta y promover la conversión eficiente de almidones en azúcares fermentables.

Al finalizar la maceración, el grano agotado se retira de la mezcla. Este proceso asegura que se haya extraído la mayor cantidad posible de azúcares y otros compuestos solubles de los granos de malta, dejando el líquido dulce y rico en azúcares conocido como mosto. Este mosto es entonces transferido al siguiente paso del proceso de elaboración de la cerveza, que generalmente implica hervir y agregar lúpulo antes de la fermentación.

#### **1.7.4.2 Maceración escalonada**

La maceración escalonada consiste en realizar la maceración en varias etapas, a través de las cuales someten la mezcla a rangos de temperaturas específicos para activar así de manera selectiva las diversas enzimas involucradas en el proceso.

Gama de enzimas capaces de ser manipuladas para una maceración óptima

##### **1.7.4.2.1 Proteasas**

Ejerce su mayor acción dentro del rango 45 a 57 °C. Se recomienda mantener esta temperatura por unos 15 o 30 minutos. De esta manera se rompen las grandes cadenas de proteínas que producen turbiedad y se libera nitrógeno asimilable por la levadura.

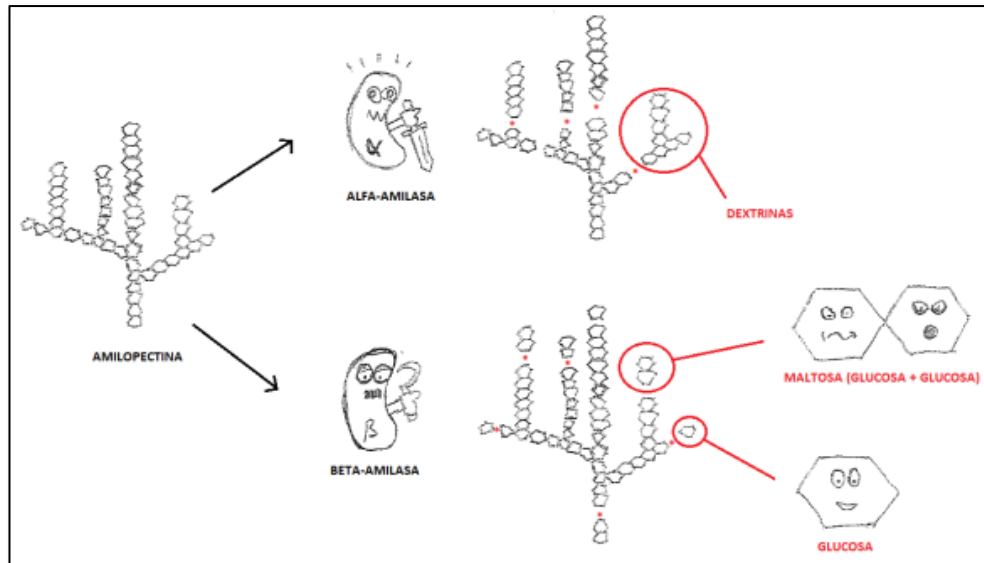
##### **1.7.4.2.2 Beta amilasas (amilasas $\beta$ )**

Con un óptimo de temperatura entre 60 y 65 °C, degrada las cadenas de almidón secuencialmente desde sus extremos libres hasta los puntos de ramificación. En el proceso se liberan grandes cantidades de moléculas de azúcar fermentable (maltosa). El tiempo recomendado para la acción de las beta-amilasas es de aproximadamente 30 minutos.

#### 1.7.4.2.3 Alfa amilasas (amilasas $\alpha$ )

Rompe al azar cadenas interiores de la molécula de almidón. No es altamente productora de azúcares fermentables, pero sí contribuye con la beta-amilasa produciendo nuevos puntos para que ésta ejerza su acción. Posee una temperatura óptima de 67 a 75 °C, y requiere un tiempo de acción entre 45 y 60 minutos.

**Figura I-2 Influencia de las enzimas**



**Fuente:** (Las cuatro palancas del macerado, 2017)

#### 1.7.5 Influencia del pH y la temperatura

La temperatura y el pH juegan un papel crucial en la maceración de la cerveza, ya que afectan directamente la actividad de las enzimas presentes en la malta. Cada enzima tiene un rango óptimo de temperatura y pH en el cual funciona de manera más eficiente para convertir los almidones en azúcares fermentables. Por lo tanto, controlar estos parámetros es esencial para lograr los resultados deseados en la cerveza final.

Para obtener cervezas con un contenido de alcohol más alto y un perfil más seco, se recomienda una maceración a temperaturas más bajas, típicamente entre 60°C y 65°C. En este rango, las enzimas amilolíticas son más activas, lo que favorece una mayor conversión de almidones en azúcares fermentables simples, resultando en

una fermentación más completa y una cerveza con un contenido de alcohol más elevado y menos dulce residual.

Por otro lado, si se busca una cerveza con un contenido de alcohol más bajo, más dulce y con mayor cuerpo, se debe realizar la maceración a temperaturas más altas, generalmente entre 68.5°C y 70°C. En este intervalo, las enzimas proteolíticas son más activas, lo que promueve una mayor extracción de proteínas y dextrinas de la malta, dando como resultado una cerveza con una sensación de cuerpo y dulzor más pronunciada.

A temperaturas intermedias, alrededor de 67°C, se logra un equilibrio entre la actividad de las enzimas amilolíticas y proteolíticas, lo que produce una cerveza con un perfil más equilibrado en términos de cuerpo y contenido de alcohol.

El control cuidadoso de la temperatura y el pH durante la maceración es esencial para obtener los perfiles de sabor deseados y asegurar la calidad consistente de la cerveza.

En la siguiente tabla se muestra las condiciones óptimas y recomendadas para las enzimas

***Tabla I-6 Condiciones óptimas y recomendadas para las enzimas***

| <b>Enzima</b>         | <b>Rango óptimo de temperatura</b> | <b>Rango óptimo de pH</b> | <b>Función</b>                                             |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Fitasa</b>         | 30-52 °C                           | 4.4-5.5                   | Baja el pH del mosto, actualmente no es utilizado.         |
| <b>Beta Glucanasa</b> | 36-45 °C                           | 4.5-5.0                   | Reduce la viscosidad del mosto, y mejora la clarificación, |

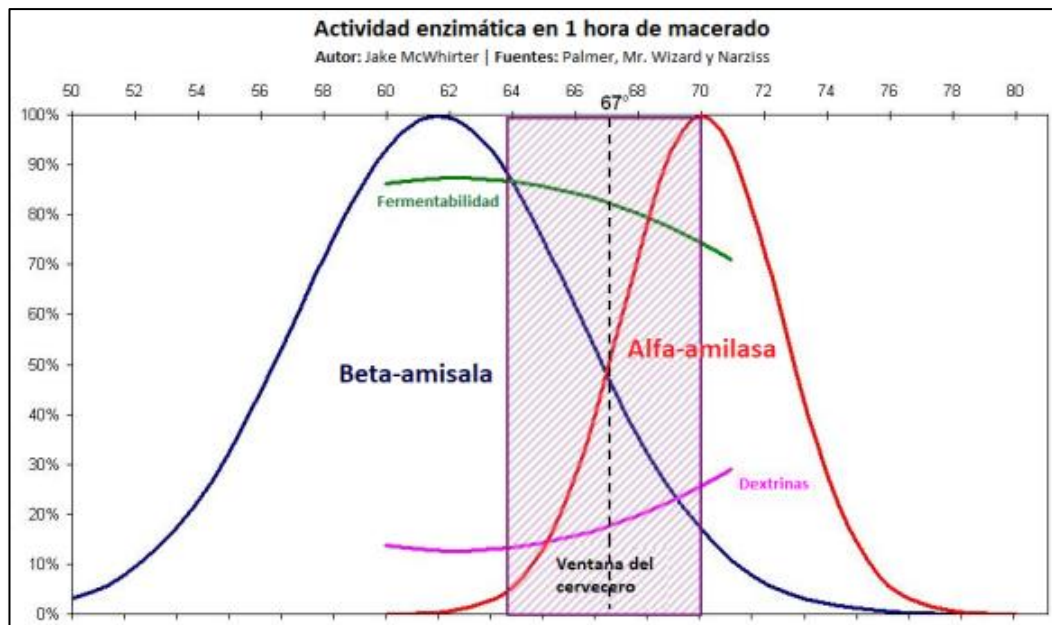


|                      |          |         |                                                                                    |
|----------------------|----------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                      |          |         | convierte beta                                                                     |
| <b>Peptidasa</b>     | 46-57 °C | 4.6-5.2 | Produce Amino Nitrógeno Libre, que es esencial para la levadura y la fermentación. |
| <b>Proteasa</b>      | 46-57 °C | 4.6-5.2 | Rompe proteínas grandes y reduce la turbidez.                                      |
| <b>Beta Amilasa</b>  | 54-65 °C | 5.0-5.6 | Produce azúcares cortos, altamente fermentables.                                   |
| <b>Alpha Amilasa</b> | 68-75 °C | 5.3-5.8 | Produce azúcares de larga cadena, poco fermentables, agregan cuerpo a la cerveza.  |

**Fuente:** (Baltazar & Morales Rivas, 2018)

En esta ilustración se 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.

**Figura I-3 Actividad enzimática**



**Fuente:** (Baltazar & Morales Rivas, 2018)

En la figura I-3 se 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.

#### 1.7.6 Primera filtración

Durante la etapa inicial de filtración en la elaboración de cerveza, se lleva a cabo un proceso crucial sobre los granos de malta. Esta actividad se desarrolla en dos fases distintas: primero, se procede con el filtrado del mosto, seguido por la operación de lavado del grano.

En la mayoría de los procesos de producción de cerveza artesanal, el filtrado del mosto se realiza mediante el método de recirculación. Este método implica hacer pasar repetidamente el mosto a través de la capa de granos de malta. Con cada paso de la recirculación, las impurezas se acumulan en el bagazo, lo que resulta en una retención más efectiva de dichas impurezas.

El siguiente paso es el lavado de los granos de malta, una etapa necesaria para optimizar el rendimiento del proceso. Después de la recirculación, parte del azúcar aún permanece en el bagazo, y el lavado se encarga de extraer la mayor cantidad

posible de estos azúcares sin arrastrar taninos astringentes de la cáscara del grano. Para ello, se añade agua caliente a los granos de malta, en un proceso conocido como "lavar el grano". Es crucial mantener la temperatura del agua de lavado por debajo de los 76.7°C (170°F), ya que, por encima de esta temperatura, los taninos de la cáscara del grano se vuelven más solubles, lo que podría afectar negativamente al sabor de la cerveza final.

El proceso de lavado se lleva a cabo lentamente para evitar romper la capa filtrante. La duración del lavado depende de la cantidad de granos de malta utilizados en la maceración, asegurando así una extracción completa y eficiente de los azúcares sin comprometer la calidad del mosto.

Este proceso de filtración y lavado meticuloso es fundamental para garantizar la pureza y la calidad del mosto, sentando así las bases para una cerveza de excelente sabor y textura. ( Merelo Espinar, Juan Gabriel , & Tapia, 2013)

#### **1.7.6.1 Filtrado por presión**

Este método implica el uso de presión para forzar el mosto a través de una cama de granos de malta. Se puede utilizar una bomba para aplicar presión al mosto, lo que acelera el proceso de filtración y ayuda a obtener un filtrado más claro y rápido.

#### **1.7.8 Cocción**

Durante la fase de cocción en la elaboración de cerveza, se lleva a cabo un proceso vigoroso que implica la ebullición del mosto. Este proceso tiene múltiples propósitos, que incluyen la destrucción de enzimas y microorganismos, lo que esteriliza el líquido, y la concentración de azúcares por evaporación del agua del mosto. Además, durante la ebullición se añade lúpulo, lo que proporciona el amargor característico a la cerveza y coagula las sustancias proteicas disueltas en el mosto, las cuales sedimentan como turbios.

La ebullición también desempeña un papel crucial en la evaporación de compuestos aromáticos no deseados, como el sulfuro de dimetilo o dimetil sulfuro (DMS), que pueden afectar negativamente el aroma y el sabor de la cerveza. ( Merelo Espinar, Juan Gabriel , & Tapia, 2013)

La adición de lúpulo durante la ebullición se realiza en diferentes momentos para lograr distintas características en la cerveza final. Al principio de la ebullición, se añade lúpulo para otorgar amargor al producto. Durante este tiempo, los alfa ácidos del lúpulo se isomerizan, mientras que los aceites aromáticos se evaporan en gran medida. En el punto medio de la ebullición, se agrega más lúpulo para aportar sabor, logrando un equilibrio entre la isomerización de los alfa ácidos y la retención de los aromas característicos del lúpulo. Finalmente, al final de la cocción, se añade lúpulo para brindar el aroma distintivo que poseen muchas cervezas, minimizando la evaporación de los aceites aromáticos. (Palmer, 2006)

La adición de lúpulo también contribuye a prolongar la vida útil de la cerveza embotellada al evitar la proliferación de bacterias. (Serra, 2017)

Una vez finalizada la ebullición, el mosto se filtra para separarlo del lúpulo añadido. El tiempo mínimo de cocción es de aproximadamente una hora, aunque algunos estilos de cerveza específicos pueden requerir períodos de cocción más largos, llegando incluso a 3 o 4 horas. Por norma general, el tiempo de cocción oscila entre una hora y hora y media. (LIPA, 2020)

En los minutos finales de la ebullición, se lleva a cabo una técnica llamada "WHIRLPOOL", que consiste en girar el líquido a alta velocidad para crear un remolino que aglomera las proteínas y otras impurezas en el fondo del recipiente. ( Merele Espinar, Juan Gabriel , & Tapia, 2013)

#### **1.7.9 Clarificación**

La clarificación de la cerveza es el proceso mediante el cual se eliminan las partículas sólidas en suspensión y las impurezas del líquido, con el fin de producir una cerveza más transparente y cristalina. Esta etapa es crucial tanto desde el punto de vista estético como de calidad del producto final.

Es importante clarificar la cerveza por varias razones:

- **Aspecto visual**

Una cerveza clara y brillante es más atractiva para el consumidor. La clarificación mejora la presentación del producto, lo que puede influir positivamente en la percepción de calidad por parte del cliente.

- **Estabilidad**

La eliminación de partículas sólidas y compuestos en suspensión contribuye a mejorar la estabilidad de la cerveza. Una cerveza clara tiende a ser más estable en términos de sabor y textura, lo que asegura una experiencia sensorial consistente para el consumidor.

- **Sabor**

Las partículas sólidas en suspensión pueden afectar negativamente al sabor de la cerveza, proporcionando sabores no deseados o amargores indeseados. La clarificación ayuda a eliminar estas impurezas, lo que contribuye a un perfil de sabor más limpio y equilibrado.

- **Procesos posteriores**

Una cerveza clara facilita los procesos de embotellado y almacenamiento, ya que reduce la necesidad de filtración adicional y minimiza el riesgo de obstrucción de equipos.

#### **1.7.9.5 Tipos de clarificantes**

##### **1.7.9.5.1 Irish Moss**

Conocido también como musgo irlandés, es un carraganato elaborado a partir de un alga que prolifera en la costa atlántica de Irlanda. Actúa aglutinando y precipitando las proteínas suspendidas.

Es un clarificante de olla, ya que es agregado durante la etapa de la cocción, generalmente en los últimos 15 minutos. Su dosis de uso está en el rango de los 0,10 a 0,15 gramos por litro de mosto. Como muchos clarificantes, actúa enlazándose a las cargas positivas de las moléculas proteicas produciendo su precipitación.

Aunque es utilizado ampliamente en elaboraciones cerveceras y vinícolas, no es exclusivo de este ámbito y desde hace muchos años lo emplea la industria de alimentos como agente espesante

#### **1.7.9.5.2 Isinglass**

El Isinglass es un colágeno obtenido a partir de la vejiga natatoria de ciertos peces, por lo que también se le conoce como colapez. Su mayor efectividad reside en la precipitación de las células de levadura. Está enmarcado dentro del grupo de los clarificantes de fermentador, ya que debe ser agregado al final del proceso fermentativo, típicamente en el fermentador secundario. Algunos fabricantes apuestan a la forma granulada de este clarificante alegando que la calidad de la presentación líquida es bastante susceptible a la acción de la temperatura. Su dosis de uso habitual es de 0,05 a 0,07 gramos por cada litro de mosto.

#### **1.7.10 Enfriado y segunda filtración**

Llegado este punto, surge la necesidad imperante de enfriar el mosto a la temperatura óptima de fermentación. Es crucial que este proceso se lleve a cabo con la mayor rapidez posible. A partir de este momento, se torna imperativo que el equipo esté meticulosamente desinfectado y sanitizado para prevenir cualquier posibilidad de contaminación. Con este fin, el enfriado no debería exceder los 30 o 40 minutos, ya que, de lo contrario, podría constituir un riesgo para la proliferación de otros microorganismos no deseados

La importancia de este procedimiento radica en los siguientes motivos:

- Si el mosto permanece por mucho tiempo en un rango de temperatura entre 30 y 50 °C, se incrementan considerablemente las probabilidades de invasión por organismos indeseados, tales como bacterias o levaduras salvajes.
- Además, existe el riesgo de que se produzca oxidación, lo que podría afectar negativamente la calidad y estabilidad del producto final.

Pasada la etapa de enfriado del mosto se debe proceder a una filtración del mosto frío para eliminar materia vegetal que pueda haber quedado al fondo del recipiente para que llegue a la etapa de fermentación sin contenido de sólidos

### **1.7.11 Fermentación primaria**

Durante la fermentación primaria, las levaduras consumen los azúcares presentes en el mosto y los convierten en alcohol y dióxido de carbono. Este proceso se lleva a cabo en un ambiente anaeróbico, es decir, sin la presencia de oxígeno, y es facilitado por la actividad de las levaduras, que metabolizan los azúcares mediante un proceso de fermentación

La duración y temperatura de la fermentación primaria pueden variar según el tipo de cerveza y las preferencias del cervecero, pero en términos generales, la fermentación primaria suele durar alrededor de una semana a varias semanas. La temperatura óptima de fermentación también varía según el estilo de la cerveza, pero suele estar en el rango de 18 a 22°C para las fermentaciones ale y entre 8 a 12°C para las fermentaciones lager. (Bamforth, 2009)

La fermentación primaria es una etapa crucial en la producción de cerveza, ya que es durante este proceso que se desarrollan los sabores y aromas característicos de la cerveza. Además de producir alcohol y dióxido de carbono, las levaduras también generan una variedad de compuestos aromáticos y flavorizantes, como ésteres y fenoles, que contribuyen a la complejidad y el carácter de la cerveza final. (Bamforth, 2009)

Durante la fermentación, se libera dióxido de carbono como subproducto del proceso de fermentación, lo que contribuye a la carbonatación natural de la cerveza. Este dióxido de carbono puede escapar a través del airlock o válvula de fermentación, permitiendo que la presión en el fermentador se mantenga en niveles seguros.

Es importante destacar que estos son solo lineamientos generales y que el tiempo y la temperatura de fermentación pueden variar dependiendo del estilo específico de cerveza y las preferencias del cervecero. Además, es esencial seguir las prácticas de higiene adecuadas y controlar regularmente el progreso de la fermentación para obtener resultados óptimos

### **1.7.12 Tercera filtración**

La filtración después de la fermentación de la cerveza es un paso crítico en el proceso de producción con múltiples propósitos. En primer lugar, ayuda a clarificar el líquido eliminando las partículas sólidas en suspensión, lo que resulta en una cerveza más clara y brillante visualmente. Además, esta clarificación contribuye a la estabilización de la cerveza, reduciendo la probabilidad de cambios no deseados en su sabor, aroma o apariencia durante el almacenamiento y transporte. Al eliminar las impurezas y sedimentos, la filtración mejora el sabor y la frescura de la cerveza, permitiendo que los sabores y aromas deseados se destaquen más claramente.

### **1.7.13 Carbonatación**

Los cerveceros artesanales suelen emplear dos métodos clásicos de carbonatación para dar a sus productos el típico contenido de gas carbónico. El primero consiste en inducir una breve fermentación en la botella mediante el agregado de azúcar. El segundo, más complejo y técnico, se basa en la disolución de CO<sub>2</sub> directamente en el seno de la cerveza utilizando cilindros presurizados. Al finalizar la fermentación, la cerveza ya ha perdido casi completamente el gas generado, por lo que debe ser restituido para que el producto ofrezca su espuma característica.

#### **1.7.13.1 Por adición de azúcar (Prim Ming)**

En el ámbito artesanal, la adición de azúcar, también llamada "cebado" o "carbonatación natural", es el método más popular para carbonatar la cerveza. El azúcar puede añadirse a todo el lote de una vez antes del embotellado o directamente a cada botella durante el llenado. Es esencial que este proceso se realice en frío, ya que a bajas temperaturas se retiene más CO<sub>2</sub>. (Gonzales, 2015)

La cantidad de gas carbónico disuelto en una cerveza se expresa comúnmente en "Volúmenes de CO<sub>2</sub>". Cada unidad numérica de volumen de CO<sub>2</sub> equivale a 1 litro de gas disuelto en un litro de cerveza bajo condiciones normales de temperatura (0 °C) y presión (1 atmósfera).

Para lograr una carbonatación adecuada, es fundamental saber cuánto azúcar agregar para alcanzar la cantidad precisa de gas deseada. Una carbonatación



insuficiente puede resultar en una cerveza deslucida, mientras que un exceso puede causar desbordamientos al servirla e incluso explosiones de botellas.

Determinar la cantidad de azúcar a agregar requiere conocer tres datos básicos:

- La cantidad de gas deseada en la cerveza final o en el estilo que se está elaborando.
- La temperatura máxima alcanzada durante la fermentación.
- La cantidad de gas residual en la cerveza.

Conocer la concentración de gas deseada y la temperatura máxima de fermentación permite establecer un rango de referencia para la carbonatación. Por otro lado, conocer la cantidad de gas residual en la cerveza ayuda a evitar exceder la concentración deseada.

***Tabla I-7 Contenido de CO<sub>2</sub> según el Estilo***

| <b>Estilo de Cerveza</b>        | <b>Volúmenes CO<sub>2</sub></b> |
|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Ales británicas</b>          | <b>1.5 - 2.0</b>                |
| <b>Porter, stout</b>            | <b>1.7 - 2.3</b>                |
| <b>Ales belgas</b>              | <b>1.9 - 2.4</b>                |
| <b>Lagers europeas</b>          | <b>2.2 - 2.7</b>                |
| <b>Ales y lager americanas</b>  | <b>2.2 - 2.7</b>                |
| <b>Lambic</b>                   | <b>2.4 - 2.8</b>                |
| <b>Lambic de frutas</b>         | <b>3.0 - 4.5</b>                |
| <b>Cerveza de trigo alemana</b> | <b>3.3 - 4.5</b>                |

**Fuente:** (Gonzales, 2015)

**Tabla I-8 CO<sub>2</sub> residual según temperatura de fermentación**

| <b>Temperatura °C</b> | <b>Gas residual Vol. CO<sub>2</sub></b> | <b>Temperatura °C</b> | <b>Gas residual Vol. CO<sub>2</sub></b> |
|-----------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| <b>1</b>              | 1,65                                    | <b>16</b>             | 0,98                                    |
| <b>2</b>              | 1,59                                    | <b>17</b>             | 0,94                                    |
| <b>3</b>              | 1,54                                    | <b>18</b>             | 0,92                                    |
| <b>4</b>              | 1,48                                    | <b>19</b>             | 0,89                                    |
| <b>5</b>              | 1,43                                    | <b>20</b>             | 0,86                                    |
| <b>6</b>              | 1,38                                    | <b>21</b>             | 0,84                                    |
| <b>7</b>              | 1,33                                    | <b>22</b>             | 0,81                                    |
| <b>8</b>              | 1,29                                    | <b>23</b>             | 0,79                                    |
| <b>9</b>              | 1,24                                    | <b>24</b>             | 0,77                                    |
| <b>10</b>             | 1,20                                    | <b>25</b>             | 0,76                                    |
| <b>11</b>             | 1,16                                    | <b>26</b>             | 0,74                                    |
| <b>12</b>             | 1,12                                    | <b>27</b>             | 0,73                                    |
| <b>13</b>             | 1,08                                    | <b>28</b>             | 0,72                                    |
| <b>14</b>             | 1,04                                    | <b>29</b>             | 0,71                                    |
| <b>15</b>             | 1,01                                    | <b>30</b>             | 0,70                                    |

**Fuente:** (Gonzales, 2015)

**Vol.CO<sub>2</sub> a adicionar = Vol.CO<sub>2</sub> deseados - Vol.CO<sub>2</sub> residuales**

Mediante cálculos que incluyen el peso molecular del CO<sub>2</sub> y su volumen molar, los químicos han determinado el volumen de gas producido por cada gramo de azúcar.

**1 gramo de azúcar = 0,23 volúmenes de CO<sub>2</sub>**

#### **1.7.13.2 Fuentes de azúcar para carbonatar**

- **Azúcar común o sacarosa**

Es el azúcar más comúnmente utilizado debido a su fácil acceso y bajo costo. Se obtiene principalmente de la caña de azúcar (en América del Sur) y de la remolacha azucarera (en Europa). Su alta pureza garantiza que todo su peso se convierta en alcohol durante la fermentación.

- **Jarabe de maíz o glucosa**

Ampliamente utilizado en Estados Unidos, se deriva del maíz y posee un potencial de fermentación del 100%. Sin embargo, su versión moderna, el jarabe de maíz de alta fructosa, rara vez se utiliza debido a su dulzor excesivo.

- **Miel**

Presenta una composición de azúcares variable, por lo que se recomienda realizar pruebas antes de usarla. Se compone principalmente de glucosa, aunque también contiene sacarosa, maltosa y otros azúcares.

- **Azúcares semirrefinados**

Incluyen el azúcar moreno, azúcar candi y la melaza, con un grado de pureza de hasta el 97% de sacarosa. Su alto contenido de impurezas puede requerir hasta un 80% más de peso para una fermentación satisfactoria.

- **Extractos de malta**

Pueden ser granulados o líquidos y requieren un aumento del 30% o 40% en peso, respectivamente. Sin embargo, los resultados pueden ser impredecibles.

- **Mosto (Krausening)**

Ideal para los que siguen la ley alemana de pureza, consiste en inocular la cerveza con un poco de mosto reservado para este propósito, garantizando que no se altere el sabor de la cerveza.

- **Jugos de frutas**

Se pueden usar para agregar azúcar y aroma. Es importante elegir frutas con alto contenido de azúcar y preferiblemente zumos naturales para evitar inhibir la fermentación.

- **Tabletas de carbonatación**

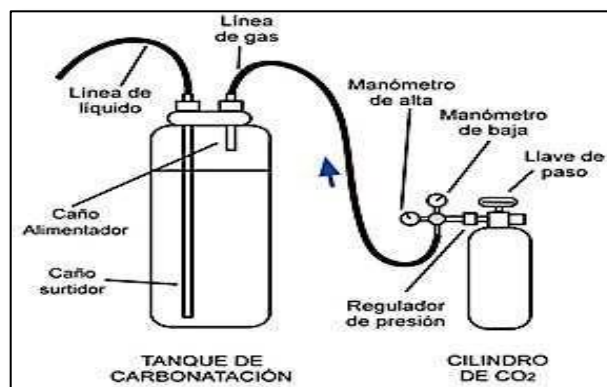
Son comprimidos de sacarosa y glucosa que facilitan el proceso de carbonatación.

### 1.7.13.3 Por disolución de CO<sup>2</sup> (Kegging)

El equipo de carbonatación del fabricante artesanal incluye un tanque receptor para la cerveza, un cilindro de gas carbónico y un regulador de presión

A continuación, en la figura I-4 se mostrará el sistema de carbonatación por disolución de CO<sub>2</sub>

*Figura I-4 Sistema de carbonatación clásico*



**Fuente:** (Gonzales, 2015)

Debido a la alta presión del CO<sub>2</sub> en el cilindro, se fuerza su paso hacia el tanque de carbonatación, donde se disuelve gradualmente en la cerveza con el tiempo. Este proceso es lento y depende de la presión, temperatura, duración y área de contacto gas-líquido.

#### **1.7.14 Maduración y embotellado**

La maduración, también conocida como lagering, es un proceso crucial en la elaboración cervecera. Consiste en someter la cerveza recién elaborada, también llamada cerveza verde, a un período de reposo para equilibrar su sabor y refinar sus atributos. Durante este proceso, se eliminan compuestos como el diacetilo, el sulfuro de hidrógeno y algunos aldehídos que pueden dar aspereza a la cerveza.

La maduración puede realizarse a temperatura ambiente, conocida como maduración en "caliente", durante unos pocos días, o en frío (0-4 °C) durante 3 ó 4 semanas, e incluso meses en algunos casos. En la elaboración industrial, la maduración se lleva a cabo en grandes tanques de acero inoxidable con temperatura controlada, después de finalizar la fermentación. En la elaboración artesanal, es común hacerla en el fermentador secundario o directamente en la botella durante el embotellado.

A menudo, la maduración se asocia con la fermentación secundaria, durante la cual la levadura produce carbonatación y elimina sustancias volátiles indeseables.

Este proceso es esencial para las cervezas de baja fermentación, ya que adquieren un carácter más profundo con el tiempo. Por otro lado, las cervezas de alta fermentación, especialmente aquellas que experimentan una segunda fermentación en la botella, suelen requerir un tiempo de maduración más corto.

Al pensar en el envasado de la cerveza debe considerarse que, por ser una bebida gaseosa, resulta imperativo colocarla en el recipiente correcto para ese tipo de producto. Éste debe tener una conformación tal que resista altas presiones, así como guardar una hermeticidad perfecta, la cual impida fugas del gas.

### **1.8 Materia prima empleada en la elaboración de cerveza artesanal**

#### **1.8.1 Cebada**

La cebada (Ilustración I-1) es un cereal fundamental en la producción de cerveza, desplegando un papel central en el proceso cervecero gracias a sus propiedades específicas. Esta planta perteneciente a la familia de las Poáceas se ha cultivado desde tiempos antiguos, siendo uno de los granos más importantes en la historia de la humanidad.

*Ilustración I-1 Espiga de una variedad de cebada*



**Fuente:** (Cano, 2015)

Para que la cebada sea apta para la elaboración de cerveza, deberá cumplir con una serie de características clave que influirán en el sabor, aroma y calidad del producto final. Entre estas características se encuentran:

- **Contenido de almidón**

La cebada cervecera debe tener un alto contenido de almidón, ya que este compuesto es fundamental para la fermentación durante el proceso de elaboración de la cerveza.

- **Bajo contenido de proteínas**

Un exceso de proteínas en la cebada puede causar problemas durante la fermentación, como la formación de sedimentos no deseados. Por lo tanto, la cebada destinada a la producción de cerveza debe tener un bajo contenido de proteínas.

- **Granos uniformes**

La uniformidad en el tamaño y forma de los granos de cebada es importante para garantizar una malta homogénea y una extracción eficiente de azúcares durante el proceso de maceración.

- **Contenido de azúcares fermentables**

Los azúcares son esenciales para la fermentación, ya que son convertidos por las levaduras en alcohol y dióxido de carbono. Por lo tanto, la cebada cervecera debe

tener un contenido adecuado de azúcares fermentables, como la glucosa y la maltosa.

- **Bajo contenido de humedad**

Un exceso de humedad en la cebada puede provocar la proliferación de hongos y bacterias no deseados, así como dificultades en el proceso de malteado. Por lo tanto, es importante que la cebada tenga un bajo contenido de humedad para garantizar su calidad y conservación.

### **1.8.2 Malta de cebada**

La malta de cebada es el corazón y alma de la cerveza. Proviene de granos de cebada que han pasado por un proceso de malteado, en el cual se activan enzimas que convierten los almidones presentes en el grano en azúcares fermentables. Estos azúcares son esenciales para la fermentación por parte de la levadura, lo que genera el contenido alcohólico y la carbonatación característicos de la cerveza.

Sin la malta de cebada, la cerveza perdería gran parte de su identidad y carácter. La malta no solo proporciona los azúcares necesarios para la fermentación, sino que también influye en el perfil de sabor y aroma de la cerveza, así como en su color y cuerpo. Los compuestos aromáticos, pigmentos y proteínas presentes en la malta contribuyen a estas características sensoriales, creando una amplia gama de estilos y sabores en la cerveza.

#### ***Ilustración I-2 Malta de cebada***



**Fuente:** (Gourmet, 2019)

### **1.8.2.1 Malta base**

Las maltas base son el cimiento de cada receta cervecera. Son cruciales por su aporte enzimático, fundamental para la conversión del almidón en azúcares fermentables durante la elaboración de la cerveza. Constituyen la parte más significativa de la malta total utilizada en la producción de esta bebida. Elaboradas principalmente a partir de cebada malteada, se someten a un proceso final de secado sin tostar o con un ligero tostado, conservando así las enzimas esenciales para hidrolizar el almidón durante el proceso de fabricación. De esta manera, las maltas base no solo proporcionan los azúcares necesarios para la fermentación, sino que también garantizan la actividad enzimática crucial para obtener una cerveza de calidad.

### **1.8.2.2 Maltas especiales**

Las maltas especiales son variantes de malta que se utilizan en la elaboración de cerveza para agregar características específicas al producto final. A diferencia de las maltas base, que proporcionan principalmente azúcares fermentables y sirven como base para la cerveza, las maltas especiales se destacan por su capacidad para influir en el sabor, aroma, color y cuerpo de la cerveza.

Estas maltas se producen mediante procesos de malteado que pueden incluir etapas adicionales de tostado, ahumado, caramelización o torrefacción, lo que les confiere una amplia gama de perfiles de sabor y color. Dependiendo del método de procesamiento y del tipo de grano utilizado (cebada, trigo, centeno, etc.), las maltas especiales pueden ofrecer notas de caramelo, tostado, chocolate, café, frutas secas, especias, entre otros sabores y aromas.

### **1.8.3 Lúpulo**

El lúpulo (Ilustración I-3) es una planta trepadora que pertenece a la familia (Cannabaceae) y cuyo nombre científico es (*Humulus lupulus*). Es ampliamente utilizado en la industria cervecera debido a sus flores, conocidas como conos de lúpulo, que aportan amargor, aroma y estabilidad a la cerveza.



### *Ilustración I-3 Lúpulo*



**Fuente:** (Núñez, 2021)

#### **1.8.3.1 Lúpulo amargo**

Este tipo de lúpulo se utiliza principalmente para aportar amargor a la cerveza. Contiene altos niveles de ácidos alfa, que son los compuestos responsables del amargor en la cerveza. El lúpulo amargo se añade durante el proceso de ebullición del mosto para extraer los ácidos alfa y equilibrar el dulzor de los azúcares presentes en la cerveza.

#### **1.8.3.1 Lúpulo aromático**

Este tipo de lúpulo se utiliza principalmente para aportar aroma y sabor a la cerveza. Contiene altos niveles de aceites esenciales, que proporcionan una amplia variedad de aromas y sabores, como notas florales, cítricas, herbales, especiadas o afrutadas. El lúpulo aromático se agrega al final del proceso de ebullición o durante la etapa de fermentación para preservar sus aceites esenciales y maximizar su aroma en la cerveza final.

#### **1.8.4 Levadura cervecera**

La levadura cervecera es un tipo de microorganismo unicelular que desempeña un papel crucial en la elaboración de la cerveza. Se utiliza para fermentar los azúcares presentes en el mosto (el líquido obtenido tras la maceración de la malta) y transformarlos en alcohol y dióxido de carbono, lo que da como resultado la cerveza.

#### **1.8.4.1 *Saccharomyces cerevisiae***

Esta es la levadura más comúnmente utilizada en la elaboración de cerveza y se conoce como levadura de alta fermentación. Es responsable de fermentar la mayoría de los estilos de cerveza ale, como las Pale Ale, Stout, Porter y Belgian Ale. *Saccharomyces cerevisiae* también se utiliza en la fermentación de vinos y otros productos fermentados.

#### **1.8.4.2 *Saccharomyces pastorianus***

También conocida como levadura de baja fermentación, esta especie se utiliza principalmente en la producción de cervezas tipo lager, como la Pilsner, la Märzen y la Bock. A diferencia de la levadura de alta fermentación, esta levadura trabaja a temperaturas más bajas y produce menos compuestos aromáticos durante la fermentación.

#### **1.8.5 Agua**

El agua es el ingrediente más abundante en la cerveza, representando aproximadamente el 90-95% del volumen total del producto terminado. Esencialmente, el agua es el medio en el que se llevan a cabo todos los procesos de elaboración de la cerveza, desde la maceración de la malta hasta la fermentación y la carbonatación.

La calidad del agua utilizada en la elaboración de la cerveza es de suma importancia, ya que afecta significativamente el sabor, la claridad y la estabilidad del producto final. El agua utilizada en la producción cervecera debe cumplir con ciertos estándares de pureza y composición química para garantizar la calidad y consistencia de la cerveza.

Según la Norma Bolivia 512 el agua debe cumplir los siguientes requisitos físicos y organolépticos mostradas en la Tabla I-9:

**Tabla I-9 Requisitos físico-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              | Ninguno                | Deben ser aceptables                                                                                        |
| Turbiedad                 | 5 UNT                  | UNT = unidades nefelométricas de turbiedad                                                                  |
| Sólidos totales disueltos | 1000 mg/L (**)         |                                                                                                             |

**Fuente:** (IBNORCA, NB 512, 2004)

### 1.8.6 Adjuntos cerveceros

Los adjuntos cerveceros son ingredientes adicionales utilizados en la elaboración de la cerveza junto con la malta de cebada principal. Pueden ser cereales, azúcares, frutas, hierbas o especias. Sus ventajas son diversas: ajustan el sabor y cuerpo de la cerveza, permiten experimentar con una amplia variedad de estilos y sabores, y pueden reducir los costos de producción

Algunos de los adjuntos cerveceros más utilizados son:

|           |                    |           |
|-----------|--------------------|-----------|
| • Arroz   | • Maíz             | • Avena   |
| • Trigo   | • Azúcar           | • Frutas  |
| • Hierbas | • Cascara de cacao | • Centeno |

#### 1.8.6.1 Avena como adjunto cervecero

La avena es un cereal ampliamente utilizado como adjunto en la elaboración de cerveza, particularmente en estilos como las Stouts, las Porters y las Hazy IPAs. La avena aporta una serie de características deseables a la cerveza, incluyendo:

- **Cuerpo y suavidad**

La avena contiene una gran cantidad de proteínas y betaglucanos que contribuyen a una textura suave y cremosa en la cerveza. Esto puede mejorar la sensación en boca y la retención de espuma, especialmente en estilos más robustos como las Stouts y las Porters.

- **Sabor**

La avena puede agregar sabores sutiles a la cerveza, como notas avenosas o de nueces, que complementan y realzan los perfiles de sabor de ciertos estilos.

- **Estabilidad de la espuma**

Los betaglucanos presentes en la avena ayudan a estabilizar la espuma, lo que resulta en una cabeza más duradera y cremosa en la cerveza final.

- **Mejora de la claridad**

Aunque la avena puede contribuir a una mayor turbidez en la cerveza, cuando se utiliza correctamente en cantidades moderadas, puede mejorar la claridad al ayudar a retener las partículas en suspensión y evitar la precipitación prematura de la levadura.

En cuanto al tipo de avena utilizada, la más común en la elaboración de cerveza es la avena laminada o enrollada, conocida como avena en hojuelas (Ilustración I-4). Este tipo de avena ha sido procesada para que sea más fácil de manejar durante la maceración y la cocción.

***Ilustración I-4 Avena en hojuelas***



**Fuente:** (Lurie, 2024)

También se pueden utilizar otros tipos de avena, como la avena en copos gruesos o finos, la avena cruda y la avena tostada, dependiendo del efecto deseado en la cerveza. En general, la avena laminada es la opción más común debido a su disponibilidad y facilidad de uso en el proceso cervecero.

### **1.8.6.2 Cascara de cacao como adjunto cervecero**

La cáscara de cacao es un ingrediente utilizado como adjunto cervecero en la elaboración de cerveza. Se obtiene de las semillas del árbol de cacao después de que se han retirado los granos utilizados para hacer chocolate. La cáscara de cacao aporta una serie de ventajas a la cerveza:

- **Aromas y sabores**

La cáscara de cacao agrega aromas y sabores distintivos a la cerveza, que pueden incluir notas de chocolate, cacao, café, frutos secos y tostados. Estos sabores complementan y realzan los perfiles de sabor de ciertos estilos de cerveza, como las Stouts, las Porters y las Brown Ales.

- **Textura y cuerpo**

La cáscara de cacao puede contribuir a una textura más suave y sedosa en la cerveza, similar a la sensación en boca del chocolate. Esto puede mejorar la experiencia de beber la cerveza y agregar complejidad al cuerpo del producto final.

- **Color**

Dependiendo de la cantidad utilizada, la cáscara de cacao puede agregar tonos oscuros y ricos al color de la cerveza, lo que puede ser deseable en estilos más oscuros como las Stouts y las Porters.

- **Adición de antioxidantes y nutrientes**

La cáscara de cacao contiene una variedad de antioxidantes y nutrientes beneficiosos para la salud, como polifenoles y minerales, que pueden aportar beneficios adicionales a la cerveza y a quienes la consumen.

**Tabla I-10 Composición general de la cascarilla de cacao**

| <b>Componente</b>                     | <b>Rango</b>       |
|---------------------------------------|--------------------|
| <b>Fibra dietética (celulosa)</b>     | 19,7 – 26,1        |
| <b>Fibra dietética (hemicelulosa)</b> | 8,7 – 12,8         |
| <b>Fibra dietética (lignina)</b>      | 14 – 28            |
| <b>Pectina</b>                        | 6 – 12,6           |
| <b>Proteínas</b>                      | 7 – 10             |
| <b>Grasas (lípidos)</b>               | 1,5 – 2            |
| <b>Carbohidratos totales</b>          | 32 – 47            |
| <b>Cenizas</b>                        | 6,4 – 8,4          |
| <b>Potasio</b>                        | 2,8 – 3,8          |
| <b>Calcio, magnesio y fósforo</b>     | Cantidades menores |

**Fuente:** (BMC, 2014)

En la tabla I-11 se describen los compuestos bioactivos de la cascarilla de cacao

**Tabla I-11 Compuestos bioactivos de la cascarilla de cacao**

| <b>Compuesto</b>        | <b>Valor aproximado</b> |
|-------------------------|-------------------------|
| <b>Fenoles totales</b>  | 4,6 – 6,9 g GAE/100 g   |
| <b>Fenoles solubles</b> | 2,1 – 57 mg GAE/g       |
| <b>Epicatequina</b>     | 6 mg/g                  |
| <b>Catequina</b>        | 4,6 mg/g                |

|                                                      |                   |
|------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Proantocianidinas (B1 y B2)</b>                   | Identificados     |
| <b>Ácidos fenólicos (galato, clorogénico, etc.)</b>  | Identificados     |
| <b>Teobromina</b>                                    | 12,8 mg/g         |
| <b>Cafeína</b>                                       | 6,1 mg/g          |
| <b>Actividad antioxidante (FRAP)</b>                 | 332 – 522 µg TE/g |
| <b>Actividad antioxidante (DPPH EC<sub>50</sub>)</b> | 65 – 74 µg/mL     |

**Fuente:** (Medicine, 2022)

### 1.8.6.3 Lactosa como adjunto cervecero

La lactosa, un azúcar no fermentable derivado de la leche, se utiliza como adjunto cervecero en la elaboración de ciertos estilos de cerveza. Su incorporación aporta características únicas que enriquecen el perfil del producto final:

- **Aporte de dulzor**

La lactosa añade un dulzor residual a la cerveza, ya que no puede ser fermentada por la levadura cervecera. Este dulzor equilibrado es especialmente deseado en estilos como Milk Stouts o Sweet Stouts.

- **Textura y cuerpo**

La lactosa contribuye a una textura más cremosa y un cuerpo más robusto en la cerveza, generando una sensación en boca suave y aterciopelada que mejora la experiencia sensorial.

- **Interacción con proteínas y espuma**

La lactosa puede interactuar con proteínas residuales de la malta, influyendo en la estabilidad de la espuma y en la percepción sensorial. Aunque no incrementa directamente la retención de espuma, su efecto en la viscosidad puede tener un impacto positivo en este aspecto.

**Tabla I-12 Caracterización bioquímica y organoléptica de la lactosa**

| Aspecto             | Descripción                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre químico      | $\beta$ -D-galactopiranosil- (1→4) -D-glucosa                                     |
| Fórmula molecular   | C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (monohidrato)                     |
| Fermentabilidad     | No fermentable por <i>S. cerevisiae</i>                                           |
| Motivo bioquímico   | <i>S. cerevisiae</i> carece de $\beta$ -galactosidasa                             |
| Poder edulcorante   | Bajo (0,2–0,4 comparado con sacarosa)                                             |
| Impacto sensorial   | Dulzor residual, cuerpo cremoso, sensación aterciopelada                          |
| Interacción técnica | Aumenta densidad y cuerpo, no incrementa alcohol; puede cristalizar si sobredosis |

**Fuente:**

### 1.9 Sanitización e higiene

La elaboración de cerveza, como todo proceso fermentativo, requiere condiciones estrictas de higiene para preservar la calidad del producto final. Aunque la cerveza presenta un medio ácido y reductor que limita el desarrollo de microorganismos patógenos, ciertas bacterias y hongos pueden generar alteraciones sensoriales importantes.

Entre los contaminantes más comunes se encuentran lactobacilos y pediococos, causantes de alteraciones no deseadas en el aroma y sabor, además de generar turbidez y pérdida de cuerpo. También puede presentarse acetobacter, responsable del avinagramiento. Estas alteraciones, frecuentes tanto en cervezas industriales como artesanales, suelen ser consecuencia de una higienización insuficiente,



particularmente en las etapas posteriores a la cocción, como el enfriamiento, fermentación y embotellado.

La higienización se divide en dos operaciones clave:

**Lavado**, que elimina restos visibles mediante detergentes o disolventes.

**Sanitización**, que reduce la carga microbiana activa, utilizando agentes como cloro, yodo, amonio cuaternario, etanol o ácido peracético.

Se recomienda una asepsia casi total posterior a la cocción, ya que el mosto esterilizado es altamente susceptible a la contaminación. Equipos como enfriadores, fermentadores y mangueras deben ser tratados con especial cuidado.

El tiempo, temperatura y concentración del agente son determinantes para su efectividad. Por ejemplo, el etanol actúa en pocos minutos, mientras que los hipocloritos requieren mayor tiempo de contacto. Además, deben eliminarse residuos de azúcares y almidones, principales fuentes de proliferación microbiana, mediante acciones mecánicas o térmicas que favorezcan la limpieza.

Una correcta sanitización no solo garantiza estabilidad microbiológica, sino que previene pérdidas irreversibles del producto final.

En la tabla I-13 y I-14 se presentan los agentes para el lavado y sanitización de equipos.

***Tabla I-13 Lavado de equipos, utensilios y zona de trabajo***

| EQUIPO                          | LAVADO         |               |                 |                |                    |                      |
|---------------------------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------------|
|                                 | Agua corriente | Soda caustica | Ácido fosfórico | Fosfato sódico | Bicarbonato sódico | Lavaplatos domestico |
| Macerador                       | ✓              | ✓             | x               | ✓              | ✓                  | ✓                    |
| Olla de cocción                 | ✓              | ✓             | xx              | x              | x                  | ✓                    |
| Enfriador de mosto              | ✓              | ✓✓            | xx              | ✓              | ✓                  | ✓                    |
| Fermentador de Acero inoxidable | ✓              | ✓             | xx              | ✓              | ✓                  | ✓                    |
| Fermentador plástico            | ✓              | ✓✓            | ✓               | ✓              | ✓                  | ✓                    |

|                      |   |    |    |   |   |   |
|----------------------|---|----|----|---|---|---|
| Carbonatador         | ✓ | ✓  | x  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Botellas Nuevas      | x | x  | x  | x | x | x |
| Botellas recuperadas | ✓ | ✓✓ | ✓  | x | x | x |
| Tapas corona         | x | x  | xx | x | x | x |
| Utensilios de madera | ✓ | ✓  | ✓  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Utensilios plásticos | ✓ | ✓✓ | ✓  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Utensilios de metal  | ✓ | ✓  | xx | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mesa de trabajo      | ✓ | x  | x  | ✓ | ✓ | ✓ |
| Pisos y paredes      | ✓ | ✓  | x  | ✓ | ✓ | x |
| Depósitos calcáreos  | x | x  | ✓✓ | x | x | x |

(✓ Recomendado; ✓✓ Muy recomendado; x No recomendado; xx Debe evitarse)

**Fuente:** (Gonzales, 2015)

***Tabla I-14 Sanitización de equipos, utensilios y zona de trabajo***

| EQUIPO                          | SANITIZACION  |           |               |                    |                   |        |
|---------------------------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|-------------------|--------|
|                                 | Agua caliente | Yodoformo | Lejía (cloro) | Amonio cuaternario | Dióxido de azufre | Etanol |
| Macerador                       | x             | x         | x             | x                  | x                 | x      |
| Olla de cocción                 | x             | x         | x             | x                  | x                 | x      |
| Enfriador de mosto              | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |
| Fermentador de Acero inoxidable | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |
| Fermentador plástico            | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |
| Carbonatador                    | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |
| Botellas Nuevas                 | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |
| Botellas recuperadas            | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |
| Tapas corona                    | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |
| Utensilios de madera            | ✓             | ✓         | x             | ✓                  | ✓                 | ✓      |

|                      |   |   |   |   |   |   |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|
| Utensilios plásticos | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| Utensilios de metal  | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mesa de trabajo      | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| Pisos y paredes      | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | x |
| Depósitos calcáreos  | x | x | x | x | x | x |

(✓ Recomendado; ✓✓ Muy recomendado; x No recomendado; xx Debe evitarse)

**Fuente:** (Gonzales, 2015)

# **CAPÍTULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**

## 2.1 Descripción y análisis de materia prima

Las materias primas fueron seleccionadas de acuerdo al estilo de cerveza a producir, en este caso es un estilo Milk Stout o conocido como Sweet Stout, para las cuales se usaron malta Pale Ale y malta Biscuit como bases fermentables, las maltas especiales añadieron color y sabores de caramelo, chocolate y café, mientras que las hojuelas de avena mejoraron la textura y el cuerpo.

### 2.1.1 Maltas

Se utilizaron los siguientes tipos de maltas

#### 2.1.1.1 Malta Pale Ale

La malta Pale Ale (Fotografía II-1) es la más utilizada y cultivada a nivel mundial en la producción de cerveza. Se considera la malta base por excelencia, ya que proporciona al mosto una gran cantidad de azúcares fermentables, con un impacto reducido en el color y el sabor.

*Fotografía II-1 Malta Pale Ale*



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

- **Actividad enzimática:** Alta actividad amilolítica, facilitando la conversión de almidones en azúcares fermentables, y presencia de beta-glucanasa y proteasas que mejoran la filtrabilidad y estabilidad de la cerveza.

***Tabla II-1 Ficha técnica Malta Pale Ale***

| Parámetro         | Malta Pale Ale - UMA Malta                              |
|-------------------|---------------------------------------------------------|
| Aroma             | Maltoso, con notas a pan y bizcocho                     |
| Sabor             | Suave dulzor maltoso, con ligeras notas a nuez          |
| Color             | 6-8 °Lovibond (aproximadamente 12-16 EBC)               |
| Uso recomendado   | Hasta el 100% de la mezcla de granos                    |
| Estilos sugeridos | Pale Ales, IPAs, Bitters, cervezas de alta fermentación |

**Fuente:** (SILO CERVECERO, 2024)

#### **2.1.1.2 Malta Biscuit**

La malta Biscuit (Fotografía II-2) es una malta de sabor tostado que se utiliza principalmente para enriquecer el perfil de sabor de las cervezas. Aporta al mosto un carácter a pan y nuez, con un color ámbar a marrón claro, y un cuerpo medio, sin afectar significativamente la fermentación debido a su actividad enzimática moderada.

***Fotografía II-2 Malta Biscuit***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

- **Actividad enzimática:** Tiene una actividad enzimática moderada, debido a su mayor tostado. Su capacidad para convertir almidones es más baja que la de maltas menos tostadas, pero sigue contribuyendo al perfil de sabor sin afectar demasiado la fermentación.

***Tabla II-2 Ficha técnica Malta Biscuit***

| <b>Parámetro</b>         | <b>Malta Biscuit-BA Malt</b>               |
|--------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Aroma</b>             | Pan, bizcocho, nueces                      |
| <b>Sabor</b>             | Notas tostadas, galleta                    |
| <b>Color</b>             | 20° Lovibond                               |
| <b>Uso recomendado</b>   | Hasta 15% en la receta                     |
| <b>Estilos sugeridos</b> | Brown Ale, Scottish Ale, Dark Lager, Stout |

**Fuente:** (SILO CERVECERO, 2024)

#### **2.1.1.2 Malta Chocolate**

La malta Chocolate (Fotografía II-3) es una malta tostada que se utiliza para dar color oscuro y sabores intensos a la cerveza. Aporta al mosto notas de chocolate, café y un leve toque a nuez, además de un color marrón oscuro o casi negro. Su actividad enzimática es baja debido a su fuerte tostado, por lo que generalmente se usa en pequeñas cantidades para complementar otras maltas.

*Fotografía II-3 Malta Chocolate*



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

- **Actividad enzimática:** Debido a su fuerte tostado, la actividad enzimática de la malta Chocolate es baja, lo que limita su capacidad para convertir almidones. Generalmente se usa en pequeñas cantidades para complementar otras maltas y no influir significativamente en la fermentación.

*Tabla II-3 Ficha técnica Malta Chocolate*

| Parámetro         | Malta Chocolate - BA Malt                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------|
| Aroma             | Rico tostado, con notas a café.                         |
| Sabor             | Sabores tostados profundos con matices de cacao y café. |
| Color             | 300-350 °Lovibond.                                      |
| Uso recomendado   | se recomienda usar en el rango de 1–15%.                |
| Estilos sugeridos | Porter y Stout                                          |

**Fuente:** (SILO CERVECERO, 2024)



### 2.1.1.3 Malta Negra

La malta Negra (Fotografía II-4) es una malta altamente tostada, utilizada principalmente para aportar color oscuro y sabores intensos a la cerveza. Es común en la elaboración de estilos como stouts y porters.

*Fotografía II-4 Malta Negra*



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

- **Actividad enzimática:** Su actividad enzimática es muy baja debido a su alto grado de tostado. Se usa en pequeñas cantidades para evitar interferir en la fermentación y generalmente se combina con maltas de mayor actividad enzimática.

*Tabla II-4 Ficha técnica Malta Negra*

| Parámetro       | Malta Negra - BA Malt                                                                                                     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aroma           | Rico tostado, con notas a café.                                                                                           |
| Sabor           | Sabores tostados profundos con matices de cacao y café.                                                                   |
| Color           | 450-500 °Lovibond (aproximadamente 1200-1300 EBC).                                                                        |
| Uso recomendado | Se utiliza en todos los estilos para ajustar el color y aportar astringencia. En Porter y Stout, se recomienda usar en el |

|                          |                                                                                                          |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | rango de 1–10%.                                                                                          |
| <b>Estilos sugeridos</b> | Porter, Stout y otras cervezas oscuras que buscan perfiles de sabor tostado y notas de chocolate o café. |

**Fuente:** (SILO CERVECERO, 2024)

**2.1.1.4 Cebada Tostada**

La cebada tostada (Fotografía II-5) es una variedad de cebada que se somete a un proceso de tostado para desarrollar sabores más intensos y un color más oscuro. Se utiliza para añadir complejidad a cervezas de color oscuro.

*Fotografía II-5 Cebada Tostada*



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

- **Actividad enzimática:** La actividad enzimática de la cebada tostada es baja, debido a su fuerte tostado. Se utiliza en pequeñas cantidades para aportar sabor y color sin afectar significativamente la fermentación.

*Tabla II-5 Ficha técnica Cebada Tostada*

| Parámetro    | Cebada Tostada                  |
|--------------|---------------------------------|
| <b>Aroma</b> | Rico tostado, con notas a café. |
| <b>Sabor</b> | Notas ahumadas                  |

|                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| <b>Color</b>             | Aproximadamente 1000-1400 EBC  |
| <b>Uso recomendado</b>   | Hasta 10% en la receta         |
| <b>Estilos sugeridos</b> | Stouts, Porters y Ales oscuras |

**Fuente:** (Cocinista , 2024)

#### 2.1.1.5 Malta Caramelo 120

La malta Caramelo 120 (Fotografía II-6) es una malta de tipo cristalizada que se utiliza para aportar color, cuerpo y un sabor dulce y afrutado a la cerveza. Es especialmente popular en cervezas de estilo amber, brown y algunas cervezas de trigo.

*Fotografía II-6 Malta Caramelo 120*



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

- **Actividad enzimática:** La actividad enzimática de la malta Caramelo 120 es nula o muy baja, ya que es una malta cristalizada. Su función principal es mejorar el perfil de sabor y el color de la cerveza.

**Tabla II-6 Ficha técnica Malta Caramelo 120**

| Parámetro         | Malta Caramelo 120 - BA Malt                                                                                    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aroma             | Notas a frutas secas y pasas.                                                                                   |
| Sabor             | Aporta sabores a frutas secas y pasas.                                                                          |
| Color             | 100-120 °Lovibond.                                                                                              |
| Uso recomendado   | Se utiliza en cervezas amber y rojas (3-15%), cervezas bocks (10-15%), darks (7-15%) y porter y stout (10-15%). |
| Estilos sugeridos | Amber Ale, Bock, Dark Ale, Porter, Stout.                                                                       |

**Fuente:** (SILO CERVECERO, 2024)

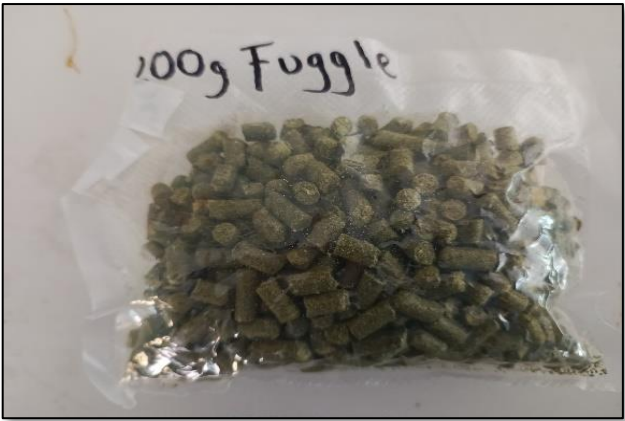
**2.1.2 Lúpulo**

Se utilizó el siguiente tipo de lúpulo

**2.1.2.1 Lúpulo Fuggle**

Para denotar más los aromas se utilizo el lúpulo Fuggle (Fotografía II-7) 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.

**Fotografía II-7 Lúpulo Fuggle**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla II-7 Características Lúpulo Fuggle (pellets)**

| Parámetro   | Lúpulo Fuggle - Hopsteiner                                         |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| Origen      | Inglaterra                                                         |
| Uso         | Aporta aroma y sabor, ideal para diversas clases de Ales inglesas. |
| Sustituto   | Styrian Golding                                                    |
| Alfa Ácidos | 5,5%                                                               |
| Beta Ácidos | 3%                                                                 |

**Fuente:** (SILO CERVECERO, 2024)

### 2.1.3 Adjuntos cerveceros

#### 2.1.3.1 Cascarilla de cacao

Las cascarillas de cacao orgánico se utilizan para agregar un sabor a cacao-chocolate muy suave y un aroma de cacao-chocolate muy pronunciado a cualquier cerveza. Se pueden usar en ebullición o agregar a primarios o secundarios de manera similar al dry hopping.

**Fotografía II-8 Cascarilla de cacao**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla II-8 Características de la cascarilla de cacao**

| <b>Componente</b>                     | <b>Rango</b>       |
|---------------------------------------|--------------------|
| <b>Fibra dietética (celulosa)</b>     | 19,7 – 26,1        |
| <b>Fibra dietética (hemicelulosa)</b> | 8,7 – 12,8         |
| <b>Fibra dietética (lignina)</b>      | 14 – 28            |
| <b>Pectina</b>                        | 6 – 12,6           |
| <b>Proteínas</b>                      | 7 – 10             |
| <b>Grasas (lípidos)</b>               | 1,5 – 2            |
| <b>Carbohidratos totales</b>          | 32 – 47            |
| <b>Cenizas</b>                        | 6,4 – 8,4          |
| <b>Potasio</b>                        | 2,8 – 3,8          |
| <b>Calcio, magnesio y fósforo</b>     | Cantidades menores |

**Fuente:** (BMC, 2014)

#### **2.1.3.2 Avena en hojuelas**

La avena se usa en cerveza para aportar cuerpo, sedosidad y mejorar la espuma. Puede encontrarse en hojuelas, malteada o cruda. Su sabor es suave, con ligeras notas a nuez. Se usa en estilos como Oatmeal Stout, NEIPA y Witbier, generalmente hasta un 20% del total de granos.

**Fotografía II-9 Avena en hojuelas**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla II-9 Características Avena en hojuelas**

| Parámetro                       | Avena instantánea             |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Origen                          | La Paz - Bolivia              |
| Ingredientes                    | 100% avena laminada precocida |
| Proteínas (por cada 100 g)      | 12,5 g                        |
| Grasas totales (por cada 100 g) | 7 g                           |
| Azúcares (por cada 100 g)       | 1 g                           |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

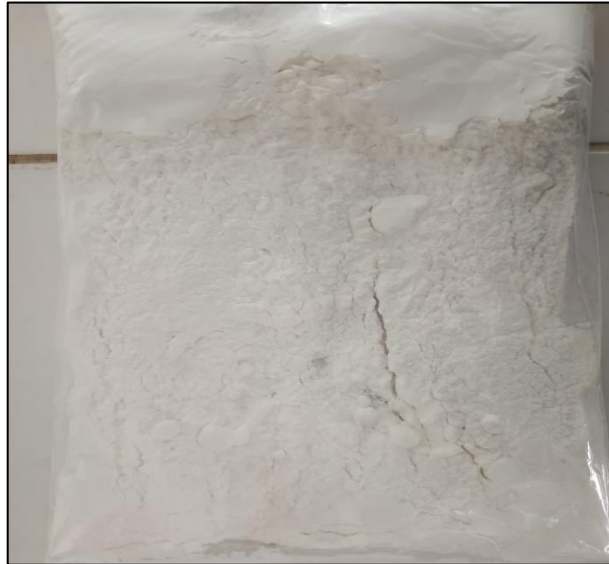
### 2.1.3.3 Lactosa

La lactosa es un azúcar no fermentable que se utiliza en la elaboración de ciertas cervezas para aportar dulzor y cuerpo adicional. Al no ser fermentada por las levaduras cerveceras, permanece en la bebida final, proporcionando una textura más cremosa y un sabor ligeramente dulce. Este ingrediente es común en estilos



como las Milk Stout, también conocidas como Sweet Stout, donde la lactosa contribuye a una sensación en boca más suave y rica.

***Fotografía II-10 Lactosa***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

***Tabla II-10 Características Lactosa***

| Parámetro    | Lactosa                           |
|--------------|-----------------------------------|
| Nombre común | Lactosa (azúcar de la leche)      |
| Presentación | Polvo blanco, cristalino          |
| Solubilidad  | Alta solubilidad en agua caliente |
| Origen       | Leche de vaca                     |

(SILO CERVECERO, 2024)

#### **2.1.4 Levadura**

##### **2.1.4.1 Levadura SafeAle US-05**

Levadura seca de fermentación tipo Ale. Sirve para estilos americanos o cuando se desee aromas neutros a levadura.



Levadura ale americana, que produce cervezas bien balanceadas, con baja concentración de diacetilo y un paladar final limpio y fresco. Forma una capa superficial y se caracteriza por permanecer en suspensión durante la fermentación.

**Fotografía II-11 Levadura SafeAle US-05**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla II-11 Características Levadura SafeAle US-05**

| Parámetro               | Levadura SafeAle US-05                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descripción             | Levadura American Ale para la elaboración de cervezas neutras y equilibradas, limpias y crujientes. Forma una espuma firme y posee la habilidad de mantenerse en suspensión durante la fermentación. |
| Ingredientes            | Levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ), emulsionante E491.                                                                                                                                     |
| Atenuación aparente     | 78-82%.                                                                                                                                                                                              |
| Tiempo de sedimentación | Medio.                                                                                                                                                                                               |
| Tolerancia al alcohol   | 9-11%.                                                                                                                                                                                               |
| Esteres totales         | Bajos.                                                                                                                                                                                               |

|                             |                                                        |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Alcoholes superiores</b> | Medio.                                                 |
| <b>Expresión fenólica</b>   | Negativa (POF-).                                       |
| <b>Dosis recomendada</b>    | 50 a 80 g/hl, idealmente a 18-26 °C (64,4-78,8 °F).    |
| <b>Presentaciones</b>       | Disponible en envases de 11,5 g, 100 g, 500 g y 10 kg. |

**Fuente:** (Lesaffre, 2024)

## 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 y el tiempo de fermentación. Para determinar si esta tiene un efecto significativo en el producto final.

Factor A: Porcentaje de avena.

Factor B: Tiempo de fermentación en días

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

|                |                |
|----------------|----------------|
| <b>A1: 10%</b> | <b>A3: 20%</b> |
|----------------|----------------|

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

|              |              |
|--------------|--------------|
| <b>B1: 6</b> | <b>B3: 8</b> |
|--------------|--------------|

### 2.3.1 Tratamientos

Tomando en cuenta las consideraciones previamente descritas, se planteará un diseño factorial de  $2^2$ , es decir con dos variables y dos niveles, así mismo, se considera necesario la ejecución de tres repeticiones para una mejor evaluación de la relación entre variables.

Nº de variables = 2; Niveles = 2; Nº de experimentos =  $2^2 = 4$

Como se realizarán tres repeticiones, el número total de experimentos determinado es:

Nº de experimentos =  $4 * 3 = 12$  experimentos

Los experimentos a realizarse incluyen todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores.

( + ) = nivel o valor alto

( - ) = nivel o valor bajo

Los tratamientos que se emplearon en esta investigación se detallan en la Tabla II-10, se tomó como referencia la receta mostrada en la Tabla II-1, con ella se estableció cuatro tratamientos con tres repeticiones.

***Tabla II-12 Tratamientos***

| Número de Tratamientos | Código | Concentración de avena | Tiempo de fermentación (días) | Grado alcohólico (°GL) |
|------------------------|--------|------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 1                      | C-1    | -                      | -                             | X1                     |
| 2                      | C-2    | +                      | +                             | X2                     |
| 3                      | C-3    | -                      | +                             | X3                     |
| 4                      | C-4    | +                      | -                             | X4                     |

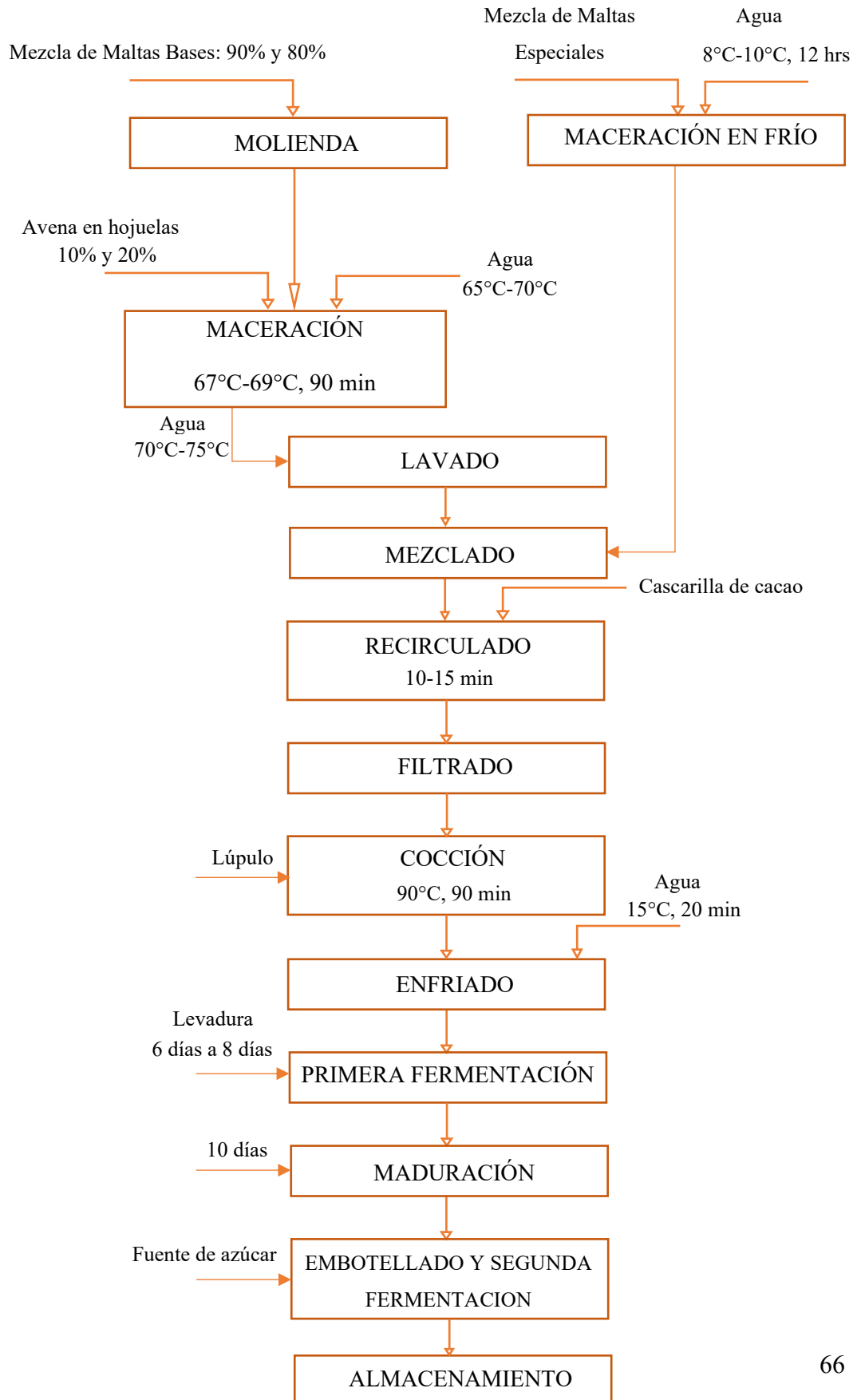
**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

### **2.3.2 Variable respuesta**

La variable respuesta que se tomó fue el grado alcohólico (°GL), 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.

## 2.4 Procedimiento y técnicas empleadas

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



#### **2.4.1 Molienda**

Se dio inicio al proceso con la molienda de los granos de malta, tanto las maltas base como las especiales, utilizando un molino manual marca Victoria (Fotografía II-12).

***Fotografía II-12 Molienda***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

#### **2.4.2 Maceración en frío**

Todas las maltas especiales, previamente molidas, fueron sometidas a una maceración en frío en una olla de acero quirúrgico durante 24 horas (Fotografía II-13). Este procedimiento se realizó considerando que las maltas especiales no tienen un gran aporte enzimático, pero sí permiten concentrar mejor sus sabores, aromas y el color característico que aportan al producto final. Para esta etapa se emplearon 3 litros de agua purificada de mesa de la marca Agua Rica.

***Fotografía II-13 Maceración en frío***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

### 2.4.3 Maceración

Se utilizó el método de maceración simple, el cual consistió en calentar 15 litros de agua en una olla de acero quirúrgico hasta alcanzar los 70 °C. Luego, se incorporaron las maltas base junto con la avena (Fotografía II-14), manteniendo la temperatura entre 67 y 69 °C, rango óptimo para la acción enzimática de las alfa-amilasas y beta-amilasas. La maceración tuvo una duración de 60 minutos y, para conservar la temperatura lo más constante posible durante ese tiempo, la olla se mantuvo tapada y se encendía la llama nuevamente en caso de que la temperatura descendiera.

Para evitar que los granos obstruyeran la válvula de salida de la olla a pesar de contar con un filtro, se colocó una tela de lienzo adicional como medida de refuerzo, asegurando así un flujo continuo del mosto hacia las siguientes etapas del proceso.

***Fotografía II-14 Maceración***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

Al finalizar la maceración, se aplicó la prueba de yodo (Fotografía II-15) para verificar si el proceso fue exitoso. Para ello, se tomó una muestra del mosto y se le agregó una solución de yodo. Esta prueba permite identificar la presencia de almidón no convertido: si el yodo reacciona con el almidón, la mezcla adquiere un color azul oscuro o negro. En cambio, si no hay cambio de color o permanece en tonos marrón o ámbar, se confirma que el almidón fue completamente transformado en azúcares. En este caso, la prueba resultó negativa para almidón, lo cual indicó que la maceración se desarrolló correctamente.

***Fotografía II-15 Prueba de yodo***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

#### **2.4.4 Lavado**

Para llevar a cabo el lavado del mosto, se utilizó un colador de acero inoxidable del mismo diámetro que la olla. Con su ayuda, se levantó cuidadosamente el lienzo que contenía toda la malta y se colocó sobre el colador (Fotografía II-16), de manera que la mezcla de granos quedara suspendida. Una vez en posición, se procedió a verter 3 litros de agua caliente entre 70 y 75 °C sobre la capa de granos, permitiendo así que el agua pasara a través del lienzo y el lecho de malta. Este proceso facilitó la extracción de los azúcares residuales y permitió la recuperación del mosto.

***Fotografía II-16 Lavado***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)



#### 2.4.5 Mezclado

Una vez finalizado el lavado y retirada la malta base, se procedió a incorporar el macerado en frío que se había reservado previamente (Fotografía II-17). Este se encontraba frío y listo para ser mezclado con el mosto obtenido tras la maceración y el lavado. Para facilitar la incorporación, se utilizó nuevamente el colador de acero inoxidable, permitiendo una integración eficiente del macerado en frío con el mosto caliente,

*Fotografía II-17 Mezclado*



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

#### 2.4.6 Recirculado

Tras el mezclado, se realizó el recirculado del mosto durante un periodo de 10 a 15 minutos. En esta etapa se añadió la cascarilla de cacao (Fotografía II-18), y con la ayuda de una jarra se hacía circular el mosto directamente sobre esta, permitiendo una mayor extracción de compuestos aromáticos, sabor y color. A medida que avanzaba el recirculado, el mosto fue adquiriendo un tono progresivamente más oscuro, pasando de marrón a negro.

*Fotografía II-18 Recirculado*



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

### 2.4.7 Filtrado

En esta etapa se realizó la separación de la cascarilla de cacao del mosto de cerveza, el cual ya presentaba su característico color negro. El proceso de retirada fue sencillo, ya que la olla utilizada contaba con un filtro incorporado directamente en la válvula de salida, lo que hizo innecesario el uso del colador de acero inoxidable.

Al concluir la etapa de recirculado con la cascarilla de cacao se llegaron a los siguientes cálculos de SRM:

Volumen de mosto = 15,7 L

Sabemos que 1 galón = 3,78541 litros

Volumen en galones =  $\frac{15,7}{3,78541} = 4,147$  galones

**Tabla II-13 Conversión de cantidades de malta a libras**

| Malta          | Cantidad (kg) | Cantidad (lb) | °Lovibond |
|----------------|---------------|---------------|-----------|
| Pale Ale       | 4,4 kg        | 9,7 lb        | 7         |
| Biscuit        | 0,5 kg        | 1,10 lb       | 20        |
| Caramelo 120   | 0,3 kg        | 0,66 lb       | 110       |
| Malta Negra    | 0,15 kg       | 0,33 lb       | 475       |
| Cebada tostada | 0,1 kg        | 0,22 lb       | 609,14    |
| Chocolate      | 0,4 kg        | 0,88 lb       | 325       |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

Cálculo de MCU por cada malta:

$$MCU = \frac{\text{Cantidad de malta (libras)} * L}{\text{Volumen de mosto (galones)}}$$

*Tabla II-14 Cálculo de MCU por cada malta*

| Malta          | Cálculo                         | MCU   |
|----------------|---------------------------------|-------|
| Pale Ale       | $(9.7 \times 7) / 4.147$        | 16.39 |
| Biscuit        | $(1.102 \times 20) / 4.147$     | 5.32  |
| Caramelo 120   | $(0.661 \times 110) / 4.147$    | 17.52 |
| Malta Negra    | $(0.331 \times 475) / 4.147$    | 37.94 |
| Cebada tostada | $(0.220 \times 609.14) / 4.147$ | 32.29 |
| Chocolate      | $(0.882 \times 325) / 4.147$    | 69.06 |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**MCU total:**

$$MCU = 16,39 + 5,32 + 17,52 + 37,94 + 32,29 + 69,06 = 178,52$$

**Cálculo de SRM (Standard Reference Method)**

$$SRM = 1,4922 * (MCU)^{0,6859}$$

$$SRM = 1,4922 * (178,52)^{0,6859}$$

$$SRM = 52,28$$

#### 2.4.8 Cocción

El mosto fue llevado a hervor durante un total de 90 minutos (Fotografía II-19). En los primeros 15 minutos se añadió la lactosa, agitándola vigorosamente con una cuchara de madera previamente esterilizada para evitar la formación de grumos y asegurar su correcta disolución. Luego, al minuto 60 de cocción, se realizó una única adición de lúpulo Fuggles, elegido por su perfil más aromático que amargo. Finalmente, 10 minutos antes de concluir la cocción, se efectuó el

Whirlpool, un agitado energético con la espátula de madera para concentrar las partículas sólidas en el centro del fondo de la olla. Este movimiento se mantuvo hasta finalizar el tiempo total de cocción.

La cantidad de lúpulo (10 g) que se agregó se calculó con la finalidad de obtener 5 a 10 IBUs, con la siguiente fórmula (Gonzales, 2015).

$$IBU = \frac{7,5 * \text{Onzas de lúpulo} * \%AA}{\text{galones de cerveza}}$$

Conversión de lúpulo:

$$10g = 0,3527 \text{ onzas}$$

Conversión de volumen

$$11 \text{ litros} = 2,906 \text{ galones}$$

$$IBU = \frac{7,5 * 0,3527 * \%5,5}{2,906} = 5,01$$

***Fotografía II-19 Cocción***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

#### **2.4.9 Enfriado**

Se procedió a realizar un enfriado rápido del mosto, utilizando un serpentín enfriador de acero inoxidable conectado a la red de agua mediante mangueras. Tanto el serpentín como las mangueras fueron previamente esterilizados, ya que entraban en contacto directo con el mosto (Fotografía II-20) y era fundamental

evitar cualquier tipo de contaminación. El enfriado tomó aproximadamente entre 15 y 20 minutos, hasta que el mosto alcanzó la temperatura ambiente.

***Fotografía II-20 Enfriado***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**2.4.10 Primera fermentación**

Una vez que el mosto alcanzó la temperatura ambiente adecuada, se procedió a trasvasarlo al botellón fermentador los 11 litros de mosto, el cual había sido previamente sanitizado cuidadosamente para evitar cualquier tipo de contaminación. Antes de cerrar el fermentador, se añadió la levadura, la cual había sido previamente activada utilizando mosto de cerveza a temperatura ambiente.

El tanque fue sellado con su tapa y equipado con un airlock (trampa de aire) lleno con agua destilada (Fotografía II-21), que permitió la salida del dióxido de carbono generado durante la fermentación, impidiendo al mismo tiempo el ingreso de contaminantes externos. Para el control térmico durante el proceso, se utilizó un termostato, asegurando que la temperatura se mantuviera dentro del rango adecuado.

El botellón fermentador fue sometido a una temperatura de fermentación que osciló entre los 18 °C y 26 °C. La fermentación se desarrolló durante un periodo de 6 a 8 días. En los primeros días se observó la formación de una espuma marrón densa en la parte superior del mosto, lo cual fue una señal positiva del inicio activo del proceso. Además, a lo largo de los días, las mediciones de densidad

mostraron una tendencia descendente, iniciando en 1,070 y terminando en 1,022, lo que indicaba que los azúcares del mosto estaban siendo transformados en alcohol, confirmando así que la fermentación se estaba llevando a cabo correctamente.

#### ***Fotografía II-21 Fermentación***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

#### **2.4.11 Maduración**

Finalizado el proceso de fermentación y tras constatar que la levadura ya no presentaba actividad lo cual se verificó al observar una densidad constante durante dos días consecutivos se tomó la medición del grado alcohólico con un alcoholímetro lo que indicó 6,3 % ABV, luego se procedió a la etapa de maduración.

Se optó por realizar una maduración en frío, una técnica utilizada para mejorar la claridad, estabilidad y perfil sensorial de la cerveza. Esta etapa permite que los sedimentos remanentes y las partículas en suspensión se asienten, al mismo tiempo que se reducen compuestos indeseados como el diacetilo y otros subproductos de la fermentación, afinando así el sabor final.

La cerveza fue colocada en un freezer durante un periodo de 10 días, manteniéndose a una temperatura controlada entre 5 y 7 °C. Esta maduración en frío favoreció la limpieza del producto.

#### **2.4.12 Embotellado y segunda fermentación**

Una vez concluido el proceso de maduración en frío, se procedió al embotellado de la cerveza. Para generar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de manera natural, fue necesario añadir una fuente de azúcar en forma de almíbar al botellón fermentador antes del sellado de las botellas. Esta adición permite que la levadura residual inicie una segunda fermentación dentro de cada botella, liberando CO<sub>2</sub> que queda disuelto en la cerveza y da lugar a su característica carbonatación.

##### **2.4.12.1 Cálculo de la cantidad de azúcar necesaria:**

Para generar el CO<sub>2</sub> es necesario activar nuevamente las levaduras, según la Tabla I-7, la cerveza estilo Stout debe contar un volumen de CO<sub>2</sub> de 1,7 a 2,3

Se tomo como nivel de carbonatación el límite que es 2,3 volúmenes de CO<sub>2</sub> deseados

Durante la fermentación se alcanzó una temperatura de 25 °C. Según la Tabla I-8 tendría un volumen de 0,76 de CO<sub>2</sub> residuales.

Para el cálculo tenemos:

$$\text{Vol.CO}_2 \text{ a adicionar} = \text{Vol.CO}_2 \text{ deseados} - \text{Vol.CO}_2 \text{ residuales}$$

$$\text{Vol.CO}_2 \text{ a adicionar} = 2,3 \text{ Vol.CO}_2 \text{ deseados} - 0,76 \text{ Vol.CO}_2 \text{ residuales}$$

$$\text{Vol.CO}_2 \text{ a adicionar} = 1,54$$

Usando la relación de la Tabla I-8 tenemos que:

$$1 \text{ gramo de azúcar} = 0,23 \text{ volúmenes de CO}_2$$

Entonces: Si 1 gramo de azúcar = 0,23 volúmenes de CO<sub>2</sub>

$$X \text{ gramos de azúcar} = 1,54 \text{ volúmenes de CO}_2$$

$$x = \frac{1,54 \text{ volúmenes de CO}_2 * 1 \text{ gramo de azúcar}}{0,23 \text{ volúmenes de CO}_2} = 6,69 \text{ gramos/litro}$$

Se agregó 6.69 gramos de azúcar común (solución de almíbar) por litro obteniendo así 2,3 volúmenes de CO<sub>2</sub> en el producto final.

La cerveza fue embotellada en botellas de 300 mililitros color ámbar, previamente sanitizadas cuidadosamente, al igual que las tapas de base corona utilizadas para el sellado. Para facilitar el trasvase del fermentador a las botellas, se utilizó una bomba manual tipo dispensador de botellón, lo cual permitió un llenado más práctico y controlado. Posteriormente, el envasado se completó utilizando una tapadora de botellas tipo mariposa, asegurando un cierre hermético en cada unidad.

Una vez embotellado el producto (Fotografía II-22), las botellas fueron almacenadas a temperatura ambiente, entre 18 y 25 °C, en un lugar protegido de la luz solar directa. Este periodo de reposo, que duró aproximadamente dos semanas, permitió que se llevara a cabo la segunda fermentación dentro de la botella, asegurando así una buena carbonatación natural de la cerveza.

***Fotografía II-22 Embotellado y segunda fermentación***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

#### **2.4.13 Almacenamiento**

Una vez finalizada la segunda fermentación en botella, las cervezas estuvieron listas para su almacenamiento. Para preservar sus características y garantizar una adecuada conservación, se guardaron en un freezer cuya temperatura no superaba los 10 °C. A partir de este punto, la cerveza quedó en condiciones óptimas para su consumo.



## 2.5 Análisis del producto obtenido

Los análisis físico-químicos y microbiológicos fueron llevados a cabo en el laboratorio CEANID de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (Tarija-Cercado), tomando como referencia de comparación las Norma Boliviana: NB 087:97, NB 082:97, NB 339:97 y NB 31006:09.

Los análisis se realizaron sobre la muestra correspondiente al tratamiento 2 (C-2), seleccionada como la más destacada del proceso experimental. Este tratamiento se caracterizó por la incorporación del 20 % de avena en relación a la cantidad total de malta utilizada y mayor tiempo de fermentación.

### 2.5.1 Análisis Físicoquímicos

La Tabla II-15 presenta los parámetros establecidos para el análisis físicoquímico del producto, conforme a los lineamientos de la Norma Boliviana (NB). Aunque el valor de la acidez total salió dentro de los límites permisibles los demás parámetros analizados cumplen con la normativa y los límites permisibles.

**Tabla II-15 Análisis Físicoquímicos**

| Parámetro                         | Técnica y/o método de ensayo | Unidad | Límites permisibles |      | Resultados Experimentales |
|-----------------------------------|------------------------------|--------|---------------------|------|---------------------------|
|                                   |                              |        | Min.                | Max. |                           |
| pH                                | NB 339:97                    |        | 3                   | 5    | 4,04                      |
| Acidez total (% de ácido láctico) | NB 087:97                    | g/100g | -                   | 0,3  | 3,60                      |
| Alcohol en Volumen                | NB 087:97                    | % v/v  | 0,0                 | 14,4 | 8                         |

**Fuente:** Laboratorio CEANID U.A.J.M.S, 2025

### 2.5.2 Análisis fisicoquímicos de caracterización de producto final

En la Tabla II-16, se muestra los resultados realizados en el laboratorio de control de calidad CBN (Cervecería Boliviana Nacional) planta Tarija.

**Tabla II-16 Análisis fisicoquímicos del producto final**

| <b>Cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao</b> |                   |                  |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|
| <b>ANALISIS</b>                                                    | <b>UNIDAD</b>     | <b>RESULTADO</b> |
| Alcohol                                                            | (%v/v)            | 6,30             |
| Densidad                                                           | g/cm <sup>3</sup> | 1,022            |
| Alcohol                                                            | (%w/w)            | 4,86             |
| Extracto real                                                      | (%w/w)            | 8,28             |
| Extracto aparente                                                  | (%w/w)            | 6,10             |
| Extracto original                                                  | % Plato           | 17,43            |
| Grado real de fermentación                                         | %                 | 54,81            |
| pH                                                                 | 0-14              | 4,20             |

Fuente: Cervecería Boliviana Nacional (CBN), 2025

La carbonatación se realizó de manera natural obteniéndose 2,3 volúmenes de CO<sub>2</sub> en el producto final (Tabla II-17) según datos obtenidos.

**Tabla II-17 Volumen de CO<sub>2</sub>**

| <b>UNIDAD</b>              | <b>RESULTADO</b> |
|----------------------------|------------------|
| Volumen de CO <sub>2</sub> | 2,3              |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

### 2.5.3 Análisis microbiológicos

**Tabla II-18 Análisis microbiológicos**

| Parámetro                                    | Técnica<br>y/o<br>método de<br>ensayo | Unidad | Referencia<br>de límites | Límites<br>permisibles | Resultados<br>experimentales |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|--------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
| Coliformes y<br>microorganismos<br>patógenos | NB<br>31006:09                        | UFC/ml | Sin<br>referencia        | Sin<br>referencia      | $< 1,0 \times 10^1 (*)$      |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

### 2.6 Caracterización del producto obtenido según la guía BJCP

Se realizó la caracterización del producto final de acuerdo a la guía BJCP, teniendo como referencia la Tabla II-16.

#### 2.6.1 Atributos del producto obtenido de acuerdo a la guía BJCP

**Tabla II-19 Caracterización del Producto obtenido de acuerdo a la guía BJCP.**

| CERVEZA ARTESANAL ESTILO MILK STOUT CON CASCARILLA DE CACAO |                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Impresión general</b>                                    | Una stout muy oscura, dulce, de cuerpo pleno, ligeramente tostada que recuerda a café con crema o espresso endulzado                                                                     |
| <b>Aroma</b>                                                | Leve aroma a grano tostado, a veces con notas a café o chocolate. A menudo está presente una impresión de dulzor que recuerda a la crema. Puede estar presente un aroma a frutas de bajo |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | a moderadamente alto. Diacetilo bajo es opcional. Un bajo aroma a lúpulo floral o terroso es opcional                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Apariencia</b>        | Color de marrón muy oscuro a negro. Traslúcida, si no es opaca. Espuma cremosa de canela a marrón.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Sabor</b>             | Dominan en el paladar sabores oscuros, rostizados, a café o chocolate. Ésteres afrutados de bajos a moderados. Amargor moderado. Dulzor de medio a alto, que proporciona un contrapunto al carácter rostizado y al amargor, y que permanece hasta el final. El balance entre los granos o maltas oscuras y el dulzor puede variar de bastante dulce a moderadamente seco y algo rostizado. Diacetilo bajo es opcional. Un bajo sabor a lúpulo floral o terroso es opcional. |
| <b>Sensación en boca</b> | Cuerpo de medio pleno a pleno y cremoso. Carbonatación de baja a moderada. Un alto dulzor residual proveniente de azúcares no fermentados realza la sensación plena en boca                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

**Fuente:** (PROGRAM, 2021)

### 2.6.2 Estadísticas Vitales

La Tabla II-20 muestra los parámetros establecidos por la Guía BJCP para cervezas estilo Milk Stout, permitiendo orientar la formulación y evaluación del producto. Estos valores incluyen el nivel de amargor (IBU), densidad original (OG) y final (FG), color (SRM) y contenido alcohólico (ABV), sirviendo como referencia para asegurar que la cerveza elaborada se mantenga dentro del perfil sensorial y técnico esperado para el estilo.

***Tabla II-20 Estadísticas Vitales Guía BJCP***

| <b>Parámetro</b> | <b>Valor</b>  |
|------------------|---------------|
| <b>IBU</b>       | 20 – 40       |
| <b>OG</b>        | 1.044 – 1.060 |
| <b>FG</b>        | 1.012 – 1.024 |
| <b>SRM</b>       | 30 – 40       |
| <b>ABV</b>       | 4.0 – 6.0%    |

**Fuente:** (PROGRAM, 2021)

***Tabla II-21 Estadísticas Vitales del producto obtenido***

| <b>Parámetro</b> | <b>Valor</b> |
|------------------|--------------|
| <b>IBU</b>       | 5,01         |
| <b>OG</b>        | 1,070        |
| <b>FG</b>        | 1,022        |
| <b>SRM</b>       | 52,28        |
| <b>ABV</b>       | 6,3 %        |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

Los análisis realizados al producto final (Tabla II-16) mostraron que los valores obtenidos se mantienen dentro de ciertos parámetros establecidos por la Guía de Estilos BJCP 2021, con excepción del color y del nivel de amargor. Si bien antes de la elaboración se realizaron los cálculos estimados para aproximarse a los rangos del estilo Milk Stout, el resultado final arrojó un valor de **52.28 SRM** y un grado de amargor de **5,01 IBUs**, lo cual representa una diferencia importante respecto a los valores típicos recomendados. Sin embargo, es importante destacar que la BJCP constituye una guía de referencia, y que la personalización de la cerveza es válida dentro de los procesos artesanales, permitiendo que el productor ajuste el perfil sensorial final de acuerdo a sus objetivos y preferencias.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS**

### 3.1 Análisis de resultados

#### 3.1.1 % Alcohol del producto final

En la Tabla III-1 se presentan los resultados del porcentaje de alcohol (% v/v) obtenidos para cada tratamiento y sus respectivas réplicas. Se observa que el tratamiento C-3 (10% de avena, 8 días de fermentación) presentó el mayor promedio de alcohol con 6,48%, seguido por el tratamiento C-1 (10% de avena, 6 días) con 6,36%. El tratamiento C-2 (20% de avena, 8 días) mostró una media de 6,27%, mientras que el valor más bajo correspondió al tratamiento C-4 (20% de avena, 6 días) con 6,10%.

Estos resultados reflejan que, a menor concentración de avena y mayor tiempo de fermentación, el grado alcohólico tiende a incrementarse, mientras que un mayor porcentaje de avena y un tiempo más corto se asocian a valores más bajos de alcohol.

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

| % Alcohol (v/v)          |       |       |       |      |        |                    |
|--------------------------|-------|-------|-------|------|--------|--------------------|
| Tratamientos/Replicas    | T-I   | R-1   | R-2   | R-3  | Suma   | Media Tratamientos |
| C-1 (10% avena – 6 días) | 6,42  | 6,35  | 6,32  | 6,36 | 25,45  | <b>6,36</b>        |
| C-2 (20% avena – 8 días) | 6,30  | 6,30  | 6,23  | 6,27 | 25,1   | <b>6,27</b>        |
| C-3 (10% avena – 8 días) | 6,5   | 6,48  | 6,46  | 6,47 | 25,9   | <b>6,48</b>        |
| C-4 (20% avena – 6 días) | 6,1   | 6,12  | 6,08  | 6,10 | 24,4   | <b>6,1</b>         |
| Suma replicas            | 25,32 | 25,25 | 25,06 | 25,2 | 100,85 | <b>25,21</b>       |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)



### 3.2 Estadísticos descriptivos

#### 3.2.1 Análisis de varianza

En la Tabla III-2 se muestra los resultados del análisis de varianza de efectos inter-sujetos sobre la variable dependiente alcohol. Se evidencia que tanto la concentración de avena (ConcA) como el tiempo de fermentación influyen significativamente sobre el grado alcohólico ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, la interacción entre ambos factores no resultó significativa ( $p = 0,175$ ), indicando que sus efectos son independientes.

**Tabla III-2 Análisis de varianza**

| Pruebas de efectos inter-sujetos                        |                               |    |                  |            |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|----|------------------|------------|------|
| Variable dependiente: Alcohol                           |                               |    |                  |            |      |
| Origen                                                  | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F          | Sig. |
| Modelo corregido                                        | ,215 <sup>a</sup>             | 3  | ,072             | 132,533    | ,000 |
| Intersección                                            | 475,524                       | 1  | 475,524          | 877891,015 | ,000 |
| ConcA                                                   | ,150                          | 1  | ,150             | 276,246    | ,000 |
| Tiempo                                                  | ,065                          | 1  | ,065             | 119,138    | ,000 |
| ConcA * Tiempo                                          | ,001                          | 1  | ,001             | 2,215      | ,175 |
| Error                                                   | ,004                          | 8  | ,001             |            |      |
| Total                                                   | 475,744                       | 12 |                  |            |      |
| Total corregido                                         | ,220                          | 11 |                  |            |      |
| a. R al cuadrado = ,980 (R al cuadrado ajustada = ,973) |                               |    |                  |            |      |

**Fuente:** Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2025

#### 3.2.2 Anova del modelo de regresión

La Tabla III-3 de ANOVA indica que el modelo estadístico utilizado para predecir el grado alcohólico es altamente significativo ( $p < 0,001$ ), con un valor de  $F = 174,172$ . El coeficiente de determinación ( $R^2 = 0,980$ ) refleja una excelente capacidad explicativa del modelo, es decir, el 98% de la variación del alcohol puede explicarse por las variables concentración de avena y tiempo.

**Tabla III-3 Anova**

| ANOVA <sup>a</sup>                         |           |                   |    |                  |         |                   |
|--------------------------------------------|-----------|-------------------|----|------------------|---------|-------------------|
| Modelo                                     |           | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F       | Sig.              |
| 1                                          | Regresión | ,214              | 2  | ,107             | 174,172 | ,000 <sup>b</sup> |
|                                            | Residuo   | ,006              | 9  | ,001             |         |                   |
|                                            | Total     | ,220              | 11 |                  |         |                   |
| a. Variable dependiente: Alcohol           |           |                   |    |                  |         |                   |
| b. Predictores: (Constante), Tiempo, ConcA |           |                   |    |                  |         |                   |

**Fuente:** Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2025

### 3.2.3 Coeficientes del modelo de regresión

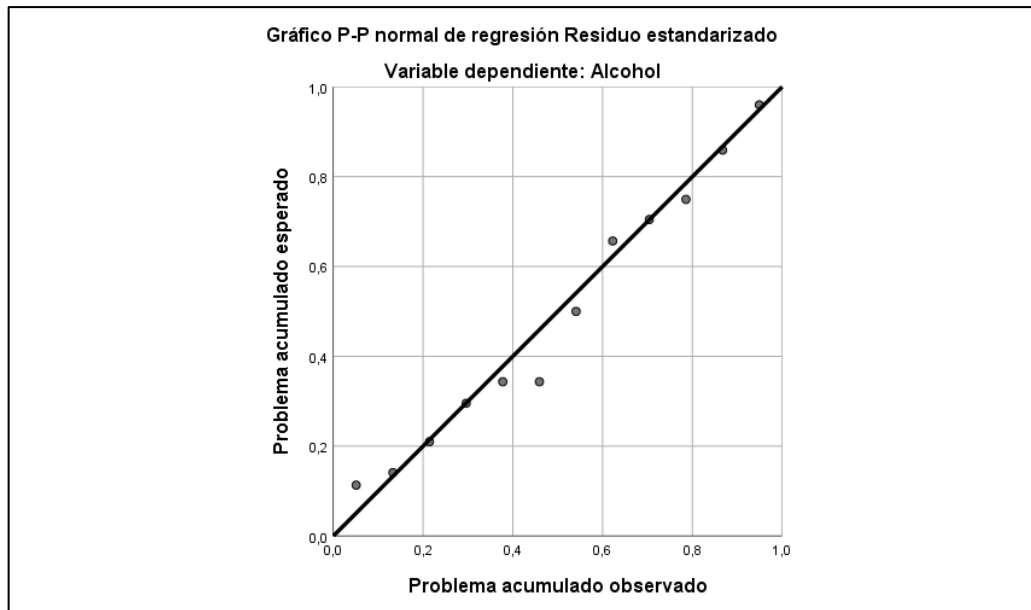
En la Tabla III-4 se observa que la variable "ConcA" presenta un coeficiente negativo, indicando que, a mayor concentración de avena, menor es el contenido de alcohol. En cambio, el tiempo de fermentación tiene un coeficiente positivo, lo que implica que períodos de fermentación más largos aumentan el grado alcohólico. Ambos efectos son estadísticamente significativos ( $p < 0,001$ ).

**Tabla III-4 Coeficientes**

| Coeficientes <sup>a</sup>        |             |                                |             |                              |         |      |                                     |                 |
|----------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|------------------------------|---------|------|-------------------------------------|-----------------|
| Modelo                           |             | Coeficientes no estandarizados |             | Coeficiente s estandarizados | t       | Sig. | 95,0% intervalo de confianza para B |                 |
|                                  |             | B                              | Desv. Error | Beta                         |         |      | Límite inferior                     | Límite superior |
| 1                                | (Constante) | 6,295                          | ,007        |                              | 879,456 | ,000 | 6,279                               | 6,311           |
|                                  | ConcA       | -,112                          | ,007        | -,825                        | -15,601 | ,000 | -,128                               | -,095           |
|                                  | Tiempo      | ,073                           | ,007        | ,542                         | 10,245  | ,000 | ,057                                | ,090            |
| a. Variable dependiente: Alcohol |             |                                |             |                              |         |      |                                     |                 |

**Fuente:** Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2025

**Figura III-1** *Gráfico P-P de residuos estandarizados*

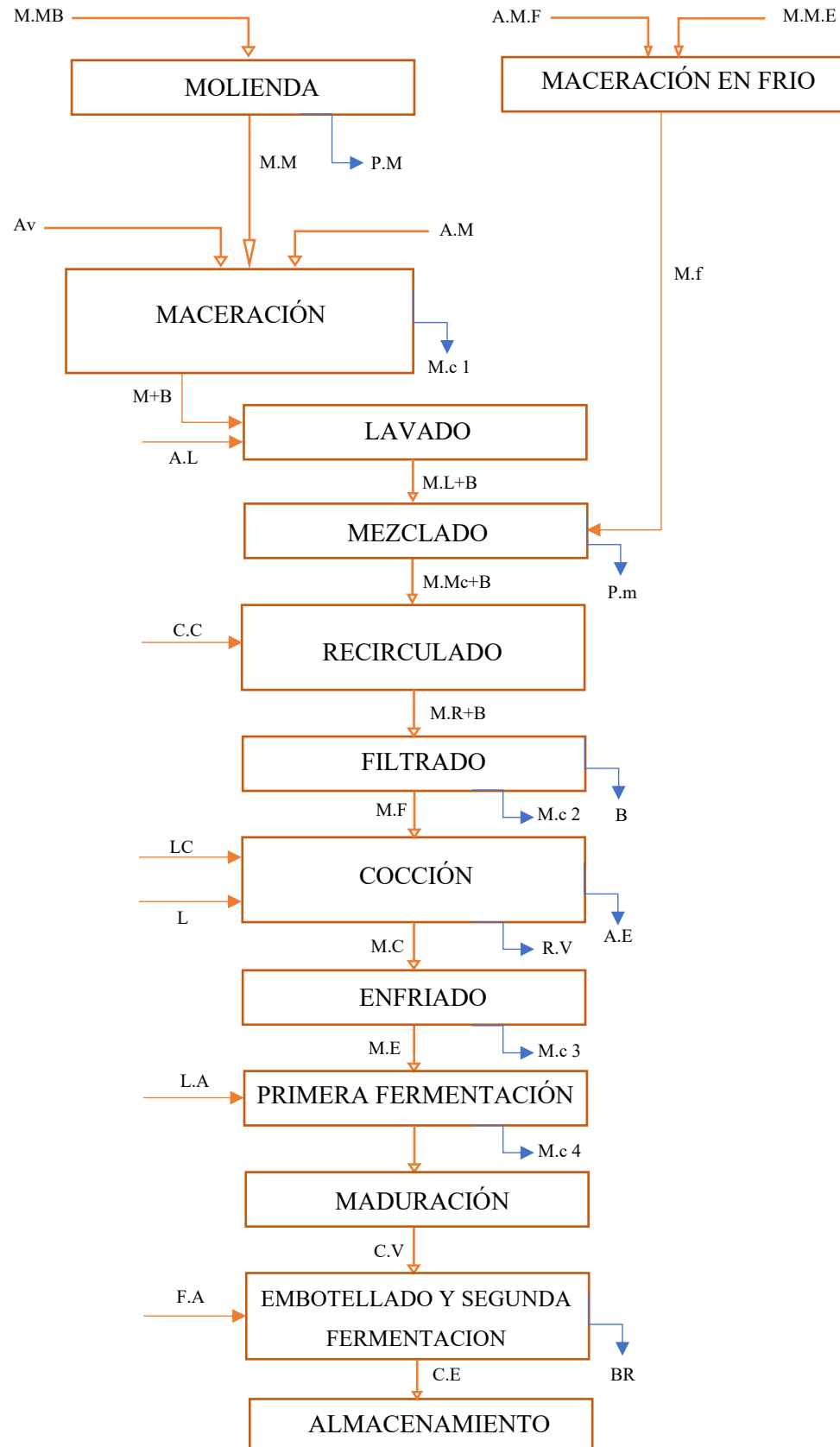


**Fuente:** Elaboración propia SPSS Statistics V.18, 2025

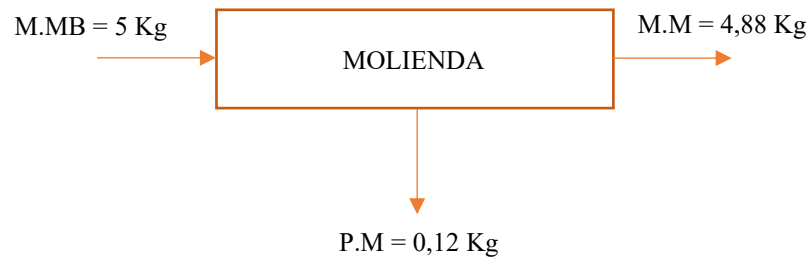
En la figura III-1 del gráfico P-P de residuos estandarizados permite verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos del modelo. La alineación de los puntos sobre la línea diagonal indica que los residuos se distribuyen de forma aproximadamente normal, validando así la aplicabilidad del modelo estadístico utilizado.

### 3.3 Balance de materia

#### 3.3.1 Balance de materia general



### 3.3.1.1 Balance de materia en la molienda



Datos:

M.MB = Mezcla de maltas bases

P.M = Perdidas en la molienda

M.M = Maltas Molidas

**Salidas = Entradas**

$$\mathbf{M.M = M.MB - P.M}$$

$$M.M = 5 - 0,12$$

$$M.M = 4,88 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.2 Balance de materia en el macerado en frio



Datos:

M.M.E = Mezcla de maltas especiales

A.M.F = Agua para macerado en frio

M.f = Macerado en frio

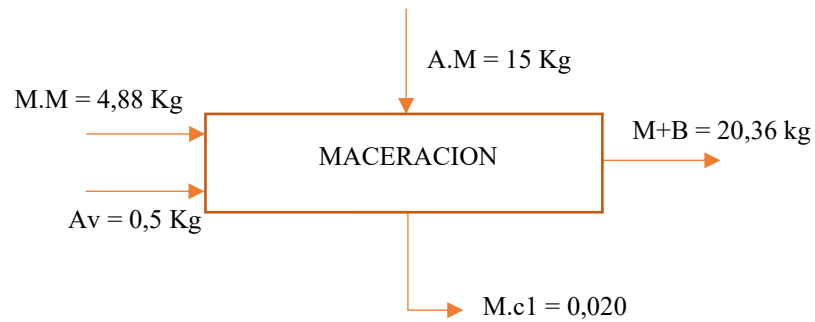
**Salidas = Entradas**

$$M.f = M.M.E + A.M.F$$

$$M.f = 0,950 + 3$$

$$M.f = 3,950 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.3 Balance de materia en la maceración



Donde:

M.M = Maltas molidas

Av = Avena

A.M = Agua de maceración

M.c 1 = Muestra de control 1

M+B = Mosto con bagazo

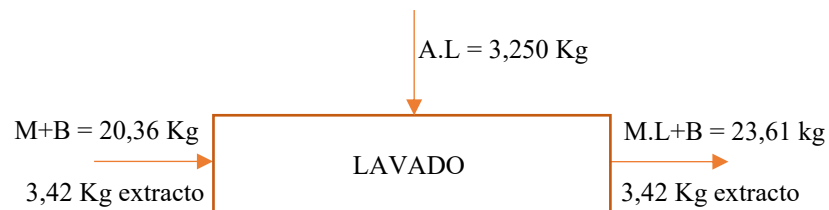
**Salidas = Entradas**

$$(M+B) + M.c\ 1 = (M.M + Av) + A.M$$

$$M+B = (4,88 + 0,5) + 15 - 0,020$$

$$M+B = 20,36 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.4 Balance de materia en el lavado



Donde:

M+B = Mosto con bagazo

A.L = Agua de lavado de mosto

M.L+B = Mosto Lavado con bagazo

**Salidas = Entradas**

$$(M.L+B) = A.L + (M+B)$$

$$M.L+B = 3,250 + 20,36$$

$$M.L+B = 23,61 \text{ Kg}$$

- **Balance de extracto**

Ci = Carbohidratos iniciales de la malta extracto (3,80 kg)

C1 = Carbohidratos sin convertir

Af = Azucares fermentables

$$Af = 14,5 \text{ }^{\circ}\text{Brix} * \frac{2361 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 342,34 \text{ g} = 3,42 \text{ Kg}$$

$$Ci = C1 + Af$$

$$C1 = Ci - Af$$

$$C1 = 3,80 - 3,42$$

$$C1 = 0,38$$

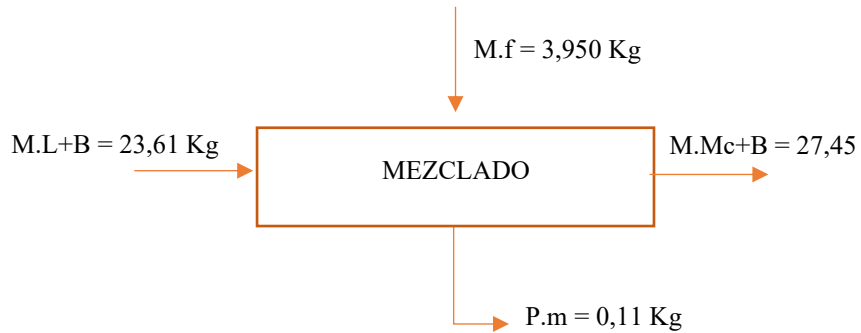
$$\% \text{ Merma de extracto} = \frac{kg \text{ extracto ingresado} - kg \text{ extracto de salida}}{kg \text{ extracto ingresado}} * 100$$

$$\% \text{ Merma de extracto} = \frac{3,80 - 3,42}{3,80} * 100$$

$$\% \text{ Merma de extracto} = 10 \%$$

$$\text{Rendimiento de macerado} = 100\% - 10\% = 90\%$$

### 3.3.1.5 Balance de materia en el mezclado



Donde:

M.L+B = Mosto Lavado con bagazo

M.f = Macerado en frio

P.m = Perdidas en el mezclado

M.Mc+B = Mosto mezclado con bagazo

**Salidas = Entradas**

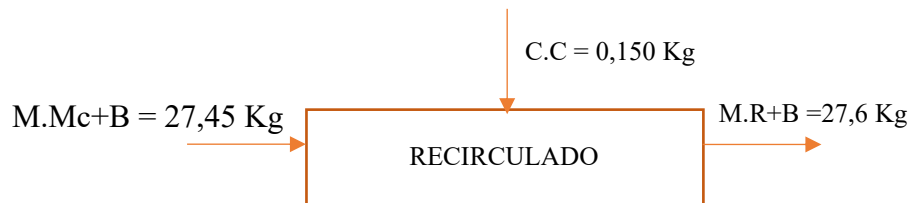
$$(M.Mc+B) + P.m = (M.L+B) + M.f$$

$$M.Mc+B = (M.L+B) + M.f - P.m$$

$$M.Mc+B = 23,61 + 3,950 - 0,11$$

$$M.Mc+B = 27,45 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.6 Balance de materia en el recirculado





Donde:

$M.Mc+B$  = Mosto mezclado con bagazo

$C.C$  = Cascarilla de cacao

$M.R+B$  = Mosto recirculado con bagazo

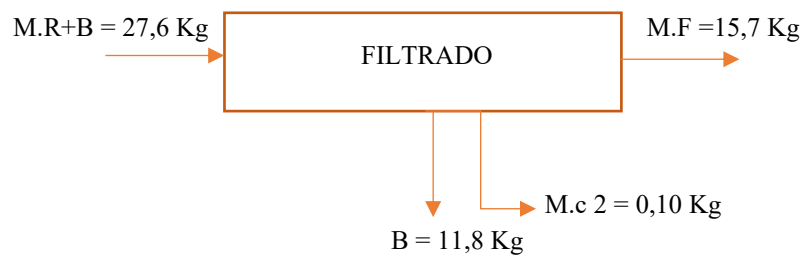
**Salidas = Entradas**

$$(M.R+B) = (M.Mc+B) + C.C$$

$$M.R+B = 27,45 + 0.150$$

$$M.R+B = 27,6 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.7 Balance de materia en el filtrado



Donde:

$M.R+B$  = Mosto recirculado con bagazo

$B$  = Bagazo

$M.c\ 2$  = Muestra de control 2

$M.F$  = Mosto filtrado

**Salidas = Entradas**

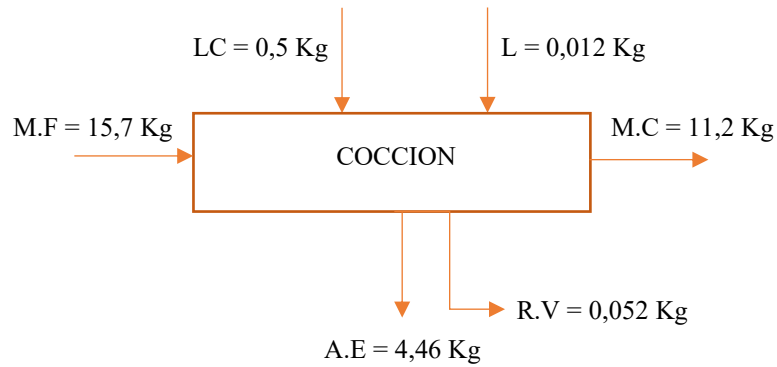
$$M.F + M.c\ 2 + B = (M.R+B)$$

$$M.F = (M.R+B) - B - M.c\ 2$$

$$M.F = 27,6 - 11,8 - 0,1$$

$$M.F = 15,7 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.8 Balance de materia en la cocción



Donde:

M.F = Mosto filtrado

L = Lúpulo

LC = Lactosa

A.E = Agua evaporada

R.V = Residuo Vegetal

M.C = Mosto salido de cocción

**Salidas = Entradas**

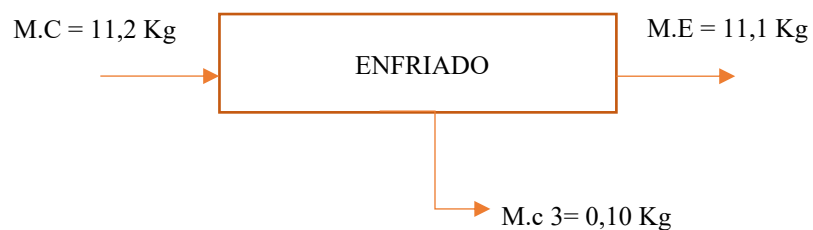
$$\mathbf{M.C + R.V + A.E = M.F + L + LC}$$

$$\mathbf{A.E = M.F + L + LC - M.C - R.V}$$

$$\mathbf{A.E = 15,7 + 0,012 + 0,5 - 11,2 - 0,052}$$

$$\mathbf{A.E = 4,96 \text{ Kg}}$$

### 3.3.1.9 Balance de materia en el enfriado



Donde:

M.C = Mosto salido de cocción

M.c 3 = Muestra de control 3

M.E = Mosto enfriado

**Salidas = Entradas**

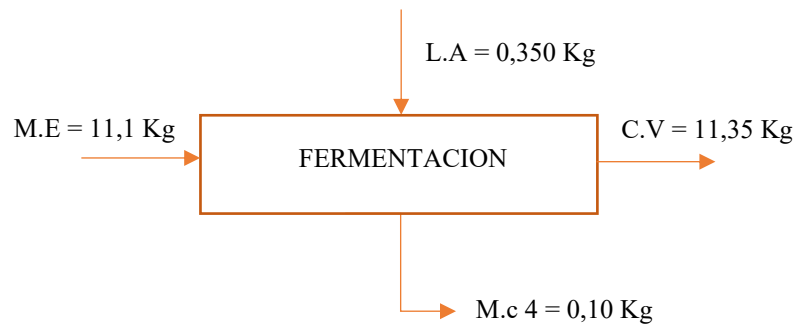
**M.E + M.c 3 = M.C**

M.E = M.C - M.c 3

M.E = 11,2 - 0,10

M.E = 11,1 Kg

### 3.3.1.10 Balance de materia en la fermentación



Donde:

M.E = Mosto enfriado

L.A = Levadura activada (levadura+agua)

M.c 4 = Muestra de control 4

C.V = Cerveza verde

**Salidas = Entradas**

**C.V + M.c 4 = M.E + L.A**

C.V = M.E + L.A - M.c 4

$$C.V = 11,1 + 0,350 - 0,1$$

$$C.V = 11,35 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.11 Balance de materia en la maduración



Donde:

C.V = Cerveza verde

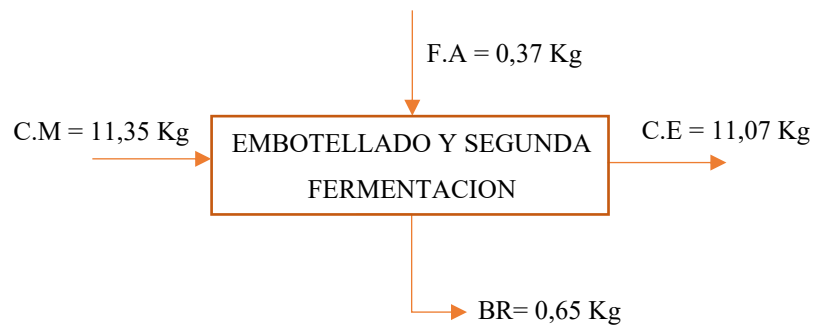
C.M = Cerveza madurada

**Salidas = Entradas**

$$C.M = C.V$$

$$11,35 \text{ Kg} = 11,35 \text{ Kg}$$

### 3.3.1.12 Balance de materia en el embotellado y segunda fermentación



Donde:

C.M = Cerveza madurada

F.A = Fuente de azúcar (almíbar)

BR = Borra

C.E = Cerveza para embotellar

$$\text{Salidas} = \text{Entradas}$$

$$\text{C.E} + \text{BR} = \text{C.M} + \text{F.A}$$

$$\text{C.E} = \text{C.M} + \text{F.A} - \text{BR}$$

$$\text{C.E} = 11,35 + 0,37 - 0,65$$

$$\text{C.E} = 11,07 \text{ Kg}$$

### 3.3.2 Tabla de resultados en el balance de materia del proceso

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

*Tabla III-5 Resultados del balance de materia*

| <b>MOLIENDA</b>                     |                                      |                             |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Entrada (Kg)</b>                 |                                      | <b>Salida (Kg)</b>          |
| <b>Mezcla de maltas bases (M.M)</b> | <b>Perdidas en la molienda (P.M)</b> | <b>Maltas Molidas (M.M)</b> |
| 5                                   | 0,12                                 | 4,88                        |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

| <b>MACERADO EN FRIO</b>                    |                                           |                               |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Entrada (Kg)</b>                        |                                           | <b>Salida (Kg)</b>            |
| <b>Mezcla de maltas especiales (M.M.E)</b> | <b>Agua para macerado en frio (A.M.F)</b> | <b>Macerado en frio (M.f)</b> |
| 0,950                                      | 3                                         | 3,950                         |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

| MACERACION           |            |                          |                              |                        |
|----------------------|------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|
| Entrada (Kg)         |            |                          | Salida (Kg)                  |                        |
| Maltas molidas (M.M) | Avena (Av) | Agua de maceración (A.M) | Muestra de control 1 (M.c 1) | Mosto con bagazo (M+B) |
| 4,88                 | 0,5        | 15                       | 0,020                        | 20,36                  |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| LAVADO                 |                               |                                 |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Entrada (Kg)           |                               | Salida (Kg)                     |
| Mosto con bagazo (M+B) | Agua de lavado de mosto (A.L) | Mosto Lavado con bagazo (M.L+B) |
| 20,36                  | 3,250                         | 23,61                           |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| MEZCLADO                        |                        |                               |                                    |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Entrada (Kg)                    |                        | Salida (Kg)                   |                                    |
| Mosto Lavado con bagazo (M.L+B) | Macerado en frio (M.f) | Perdidas en el mezclado (P.m) | Mosto mezclado con bagazo (M.Mc+B) |
| 23,61                           | 3,950                  | 0,11                          | 27,45                              |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| RECIRCULADO                        |                           |                                      |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Entrada (Kg)                       |                           | Salida (Kg)                          |
| Mosto mezclado con bagazo (M.Mc+B) | Cascarilla de cacao (C.C) | Mosto recirculado con bagazo (M.R+B) |
| 27,45                              | 0.150                     | 27,6                                 |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| FILTRADO                             |  |             |                              |
|--------------------------------------|--|-------------|------------------------------|
| Entrada (Kg)                         |  | Salida (Kg) |                              |
| Mosto recirculado con bagazo (M.R+B) |  | Bagazo (B)  | Muestra de control 2 (M.c 2) |
|                                      |  |             | Mosto filtrado (M.F)         |
| 27,6                                 |  | 11,8        | 0,1                          |
|                                      |  |             | 15,7                         |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| COCCION              |            |              |                       |                      |                               |
|----------------------|------------|--------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Entrada (Kg)         |            |              | Salida (Kg)           |                      |                               |
| Mosto filtrado (M.F) | Lúpulo (L) | Lactosa (LC) | Residuo Vegetal (R.V) | Agua evaporada (A.E) | Mosto salido de cocción (M.C) |
| 15,7                 | 0,012      | 0,5          | 0,052                 | 4,96                 | 11,2                          |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| ENFRIADO                      |                              |                      |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Entrada (Kg)                  | Salida (Kg)                  |                      |
| Mosto salido de cocción (M.C) | Muestra de control 3 (M.c 3) | Mosto enfriado (M.E) |
| 11,2                          | 0,10                         | 11,1                 |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| FERMENTACION         |                                         |                              |                     |
|----------------------|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Entrada (Kg)         |                                         | Salida (Kg)                  |                     |
| Mosto enfriado (M.E) | Levadura activada (levadura+agua) (L.A) | Muestra de control 4 (M.c 4) | Cerveza verde (C.V) |
| 11,1                 | 0, 350                                  | 0,1                          | 11,35               |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

| MADURACION          |                        |
|---------------------|------------------------|
| Entrada (Kg)        | Salida (Kg)            |
| Cerveza verde (C.V) | Cerveza madurada (C.M) |
| 11,35               | 11,35                  |

Fuente: Elaboración propia, (2025)



| EMBOTELLADO Y SEGUNDA FERMENTACION |                                  |             |                               |
|------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------------------------|
| Entrada (Kg)                       |                                  | Salida (Kg) |                               |
| Cerveza madurada (C.M)             | Fuente de azúcar (almibar) (F.A) | Borra (BR)  | Cerveza para embotellar (C.E) |
| 11,35                              | 0,37                             | 0,65        | 11,07                         |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

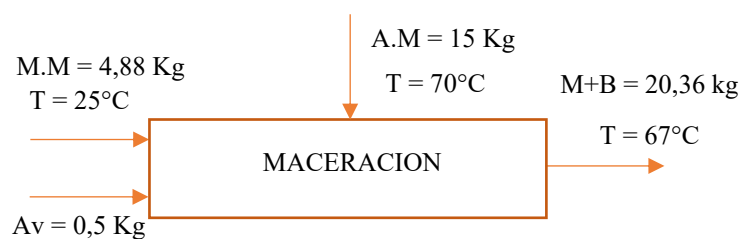
### 3.4 Balance de energía

Se desarrolla el cálculo y análisis del requerimiento energético en las etapas fundamentales del proceso de elaboración de cerveza.

Las fases consideradas son:

- Maceración
- Cocción
- Enfriado

#### 3.4.1 Balance de energía en la maceración



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

Donde:

$Q_{\text{Cedido}}$  = Calor cedido por el agua al enfriarse

$Q_{\text{Ganado}}$  = Calor absorbido por las maltas y avena al calentarse

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ} \rightarrow 1 \text{ kJ} = \frac{1}{4,184} \text{ kcal} = 0,239 \text{ kcal}$$

$$c_{p_{\text{agua}}} = 4,18 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$c_{p_{\text{granos}}} = 1,60 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{Cedido}} = m_{\text{agua}} * c_{p_{\text{agua}}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{Cedido}} = 15 \text{ kg} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (70 - 67) ^{\circ}\text{C} = 188,1 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Cedido}} = 44,94 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{Ganado}} = m_{\text{granos}} * c_{p_{\text{granos}}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{Ganado}} = 5,38 \text{ kg} * 1,60 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (67 - 25) ^{\circ}\text{C} = 361,1 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Ganado}} = 86,24 \text{ kcal}$$

Entonces:

$$Q_{\text{Cedido}} < Q_{\text{Ganado}}$$

Lo cual indica que se necesita un aporte adicional de energía:

$$\Delta Q = Q_{\text{ganado}} - Q_{\text{cedido}} = 173,0 \text{ kJ} = 41,37 \text{ kcal}$$

### 3.4.2 Balance de energía en la cocción



Donde:

$Q_1$  = Calor sensible (para elevar la T del mosto)

$Q_2$  = Calor de evaporización

$m_{\text{evaporada}}$  = Agua evaporada

$\lambda$  = Calor de vaporización del agua

$Q_{\text{total}}$  = Energía total requerida

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ} \rightarrow 1 \text{ kJ} = \frac{1}{4,184} \text{ kcal} = 0,239 \text{ kcal}$$

$$c_{p_{\text{mosto}}} = 3,98 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_1 = m_{\text{mosto}} * c_{p_{\text{mosto}}} * \Delta T$$

$$Q_1 = 15,7 \text{ kg} * 3,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (90 - 50) ^{\circ}\text{C} = 2499,44 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = 597,4 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = m_{\text{evaporada}} * \lambda$$

$$Q_2 = 4,96 \text{ kg} * 2,260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 11209,60 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = 2678,4 \text{ kcal}$$

Energía total requerida

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{\text{total}} = 2499,44 + 11209,60 = 13709,04 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{total}} = 3276,54 \text{ kcal}$$

### 3.4.3 Balance de energía en el enfriado



Donde:

$Q_{\text{cedido}}$  = Calor que pierde el mosto caliente mientras se enfría.

$Q_{\text{ganado}}$  = Calor que gana el agua del serpentín

$$c_{p_{\text{mosto}}} = 3,98 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

$$Q = 11,1 \text{ kg} * 3,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (90 - 23) ^{\circ}\text{C} = 2959,93 \text{ kJ}$$

$$Q = 707,44 \text{ kcal}$$

### 3.4.4 Tabla de resultados del balance de energía

*Tabla III-6 Resultados del balance de energía*

| MACERACION                            |                                                      |                                                                        |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Calor cedido por el agua al enfriarse | Calor absorbido por las maltas y avena al calentarse | Aporte adicional de energía para mantener la temperatura de maceración |
| 44,94 kcal                            | 86,24 kcal                                           | 41,37 kcal                                                             |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

| COCCION                                     |                        |                         |
|---------------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Calor sensible (para elevar la T del mosto) | Calor de evaporización | Energía total requerida |
| 597,4 kcal                                  | 2678,4 kcal            | 3276,54 kcal            |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

| ENFRIADO                                               |                                      |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Calor que pierde el mosto caliente mientras se enfría. | Calor que gana el agua del serpentín |
| 707,44 kcal                                            | 707,44 kcal                          |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

### 3.5 Evaluación sensorial

Las características organolépticas de la cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao fueron evaluadas mediante un test sensorial aplicado a un panel de 7 jueces no entrenados. La prueba se realizó utilizando una escala hedónica de 5 puntos, donde 1 representa "deficiente" y 5 "excelente", con la siguiente equivalencia: 5 = excelente, 4 = muy bueno, 3 = bueno, 2 = regular, 1 = deficiente.

Cada evaluador recibió la muestra servida en copas transparentes, y calificó los siguientes atributos: color, espuma, intensidad aromática, malta, sabor y amargor. El formulario aplicado se encuentra en el Anexo 2.

A cada atributo se le asignó un peso porcentual según su importancia en el perfil sensorial del producto. El sabor representó el 40 % del total, mientras que color, espuma, intensidad aromática y malta recibieron un peso del 10 % cada uno. El amargor fue considerado con un 20 %.

El análisis sensorial fue realizado en instalaciones del laboratorio de operaciones unitarias "L.O.U" a puertas abiertas.

#### 3.5.1 Evaluación sensorial del atributo COLOR de la cerveza artesanal

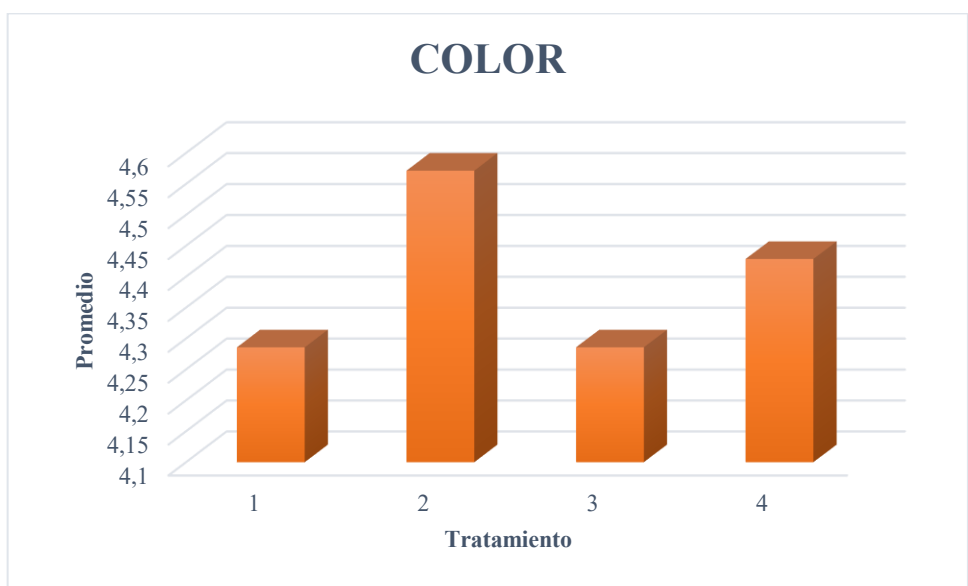
*Tabla III-7 Evaluación sensorial del atributo color*

| COLOR |     |     |     |     |
|-------|-----|-----|-----|-----|
| Juez  | T-1 | T-2 | T-3 | T-4 |
| 1     | 4   | 5   | 4   | 5   |
| 2     | 4   | 5   | 5   | 4   |
| 3     | 5   | 4   | 4   | 4   |
| 4     | 4   | 4   | 5   | 5   |
| 5     | 4   | 5   | 4   | 5   |

|              |             |             |             |             |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 6            | 5           | 4           | 4           | 4           |
| 7            | 4           | 5           | 4           | 4           |
| <b>Prom.</b> | <b>4,28</b> | <b>4,57</b> | <b>4,28</b> | <b>4,42</b> |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

***Figura III-2 Evaluación sensorial del atributo color***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

En la evaluación sensorial del atributo Color (Tabla III-7 y Figura III-2), se observa que el tratamiento **T-2** alcanzó el mayor promedio (4,57), evidenciando una mejor aceptación visual entre los jueces. Le siguieron T-4 (4,42), T-1 (4,28) y T-3 (4,28), estos dos últimos con valores idénticos. La proximidad de los promedios sugiere una diferencia leve entre los tratamientos, siendo T-2 el más destacado en términos de apariencia general.

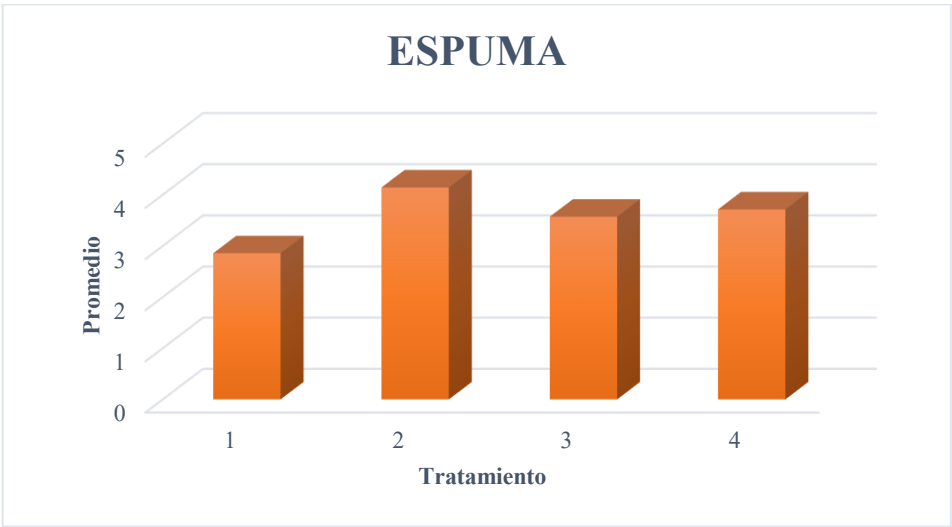
3.5.2 Evaluación sensorial del atributo ESPUMA de la cerveza artesanal

Tabla III-8 Evaluación sensorial del atributo espuma

| ESPUMA |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|
| Juez   | T-1  | T-2  | T-3  | T-4  |
| 1      | 3    | 4    | 4    | 4    |
| 2      | 3    | 5    | 3    | 4    |
| 3      | 2    | 4    | 4    | 4    |
| 4      | 3    | 5    | 4    | 3    |
| 5      | 3    | 4    | 4    | 4    |
| 6      | 3    | 4    | 3    | 3    |
| 7      | 3    | 3    | 3    | 4    |
| Prom.  | 2,85 | 4,14 | 3,57 | 3,71 |

Fuente: Elaboración propia, (2025)

Figura III-3 Evaluación sensorial del atributo espuma



Fuente: Elaboración propia, (2025)

En la evaluación sensorial del atributo Color (Tabla III-8 y Figura III-3), el tratamiento **T-2** obtuvo la calificación promedio más alta (4,14), lo cual indica una mayor estabilidad y volumen percibido por los jueces. Le siguieron T-4 (3,71) y T-3 (3,57), mientras que **T-1** presentó la menor aceptación sensorial con un promedio de 2,85, reflejando una posible deficiencia en la formación o persistencia de la espuma.

### 3.5.3 Evaluación sensorial del atributo INTENSIDAD AROMATICA de la cerveza artesanal

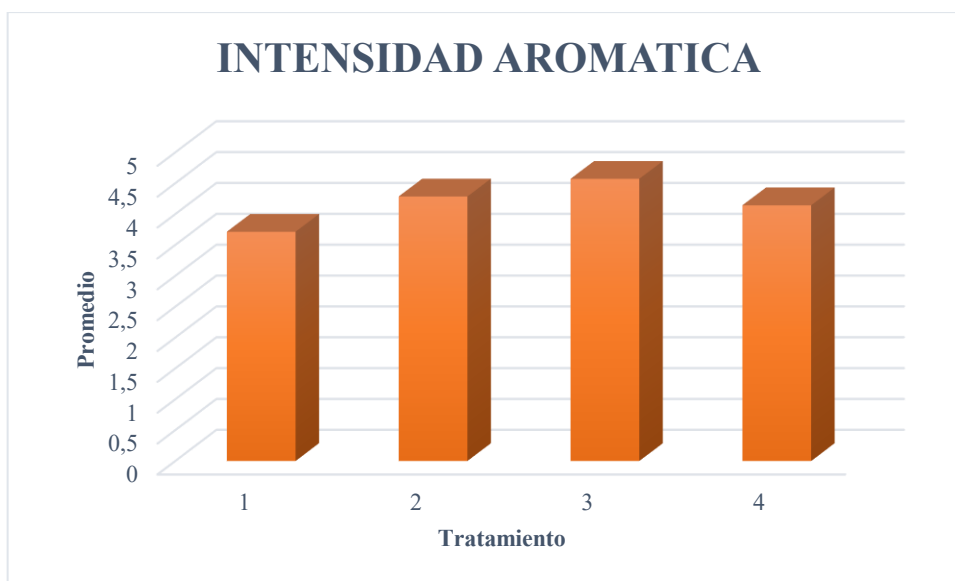
*Tabla III-9 Evaluación sensorial del atributo intensidad aromática*

| INTENSIDAD AROMATICA |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|
| Juez                 | T-1  | T-2  | T-3  | T-4  |
| 1                    | 4    | 5    | 5    | 4    |
| 2                    | 4    | 5    | 5    | 5    |
| 3                    | 3    | 4    | 4    | 5    |
| 4                    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| 5                    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| 6                    | 4    | 4    | 5    | 3    |
| 7                    | 3    | 4    | 5    | 4    |
| Prom.                | 3,71 | 4,28 | 4,57 | 4,14 |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)



**Figura III-4 Evaluación sensorial del atributo intensidad aromática**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

En la evaluación sensorial del atributo Intensidad aromática (Tabla III-9 y Figura III-4), el tratamiento **T-3** fue el más valorado (4,57), lo que indica una mayor presencia olfativa y complejidad aromática. Le siguen T-2 (4,28), T-4 (4,14) y T-1 (3,71). Este resultado sugiere que T-3 presentó una mayor liberación de compuestos volátiles percibidos positivamente por los evaluadores.

#### **3.5.4 Evaluación sensorial del atributo MALTA de la cerveza artesanal**

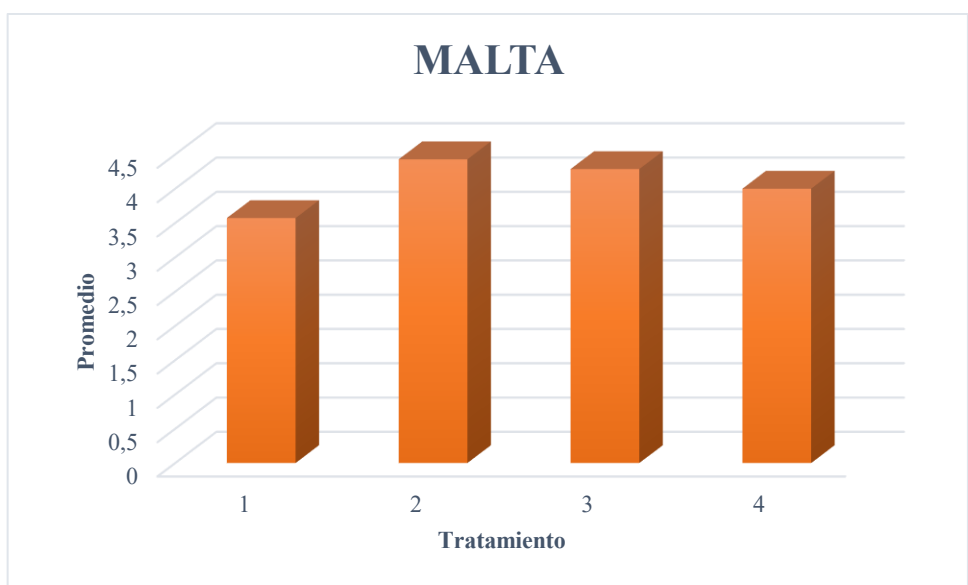
**Tabla III-10 Evaluación sensorial del atributo malta**

| MALTA (NOTAS DE CHOCOLATE, CAFÉ, TOSTADO) |     |     |     |     |
|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Juez                                      | T-1 | T-2 | T-3 | T-4 |
| 1                                         | 4   | 5   | 4   | 4   |
| 2                                         | 3   | 4   | 5   | 4   |
| 3                                         | 4   | 4   | 5   | 4   |
| 4                                         | 4   | 5   | 4   | 3   |

|              |             |             |             |          |
|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| <b>5</b>     | 3           | 5           | 4           | 5        |
| <b>6</b>     | 3           | 4           | 4           | 4        |
| <b>7</b>     | 4           | 4           | 4           | 4        |
| <b>Prom.</b> | <b>3,57</b> | <b>4,42</b> | <b>4,28</b> | <b>4</b> |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

***Figura III-5 Evaluación sensorial del atributo malta***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

En la evaluación sensorial del atributo Malta (Tabla III-10 y Figura III-5), el tratamiento **T-2** destacó con un promedio de 4,42, seguido de T-3 (4,28), T-4 (4,00) y T-1 (3,57). El tratamiento T-2 mostró una mayor presencia y equilibrio en las notas maltosas, lo que se traduce en una percepción más intensa y agradable del perfil tostado.

### 3.5.5 Evaluación sensorial del atributo SABOR de la cerveza artesanal

*Tabla III-11 Evaluación sensorial del atributo sabor*

| SABOR |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| Juez  | T-1  | T-2  | T-3  | T-4  |
| 1     | 3    | 4    | 4    | 5    |
| 2     | 3    | 4    | 5    | 4    |
| 3     | 4    | 5    | 5    | 4    |
| 4     | 4    | 5    | 3    | 4    |
| 5     | 3    | 5    | 4    | 4    |
| 6     | 4    | 4    | 4    | 4    |
| 7     | 4    | 5    | 4    | 4    |
| Prom. | 3,57 | 4,57 | 4,14 | 4,14 |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Figura III-6 Evaluación sensorial del atributo sabor**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

En la evaluación sensorial del atributo Sabor (Tabla III-11 y Figura III-6), el tratamiento **T-2** fue mejor evaluado, con un promedio de 4,57, lo que lo posiciona como el de mayor aceptación global en esta categoría. Le siguen T-3 y T-4, ambos con 4,14, y T-1 con el menor puntaje (3,57). Estos resultados reflejan una preferencia generalizada hacia T-2 en términos de perfil gustativo y equilibrio sensorial.

### 3.5.6 Evaluación sensorial del atributo AMARGOR de la cerveza artesanal

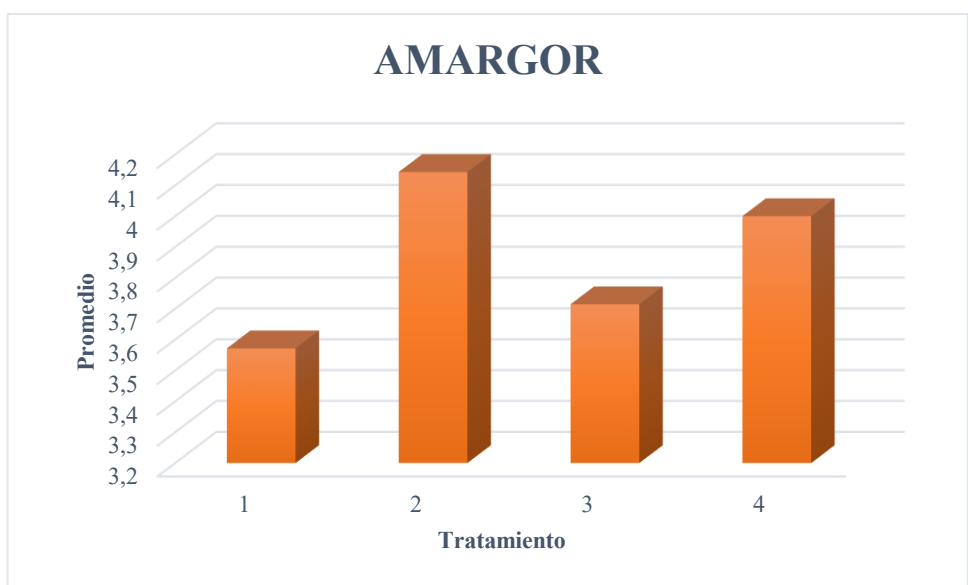
**Tabla III-12 Evaluación sensorial del atributo amargor**

| AMARGOR |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|
| Juez    | T-1 | T-2 | T-3 | T-4 |
| 1       | 4   | 5   | 4   | 5   |
| 2       | 4   | 4   | 4   | 5   |
| 3       | 3   | 4   | 4   | 3   |
| 4       | 3   | 3   | 4   | 4   |

|              |             |             |             |          |
|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| <b>5</b>     | <b>4</b>    | <b>5</b>    | <b>3</b>    | <b>4</b> |
| <b>6</b>     | <b>4</b>    | <b>4</b>    | <b>4</b>    | <b>3</b> |
| <b>7</b>     | <b>3</b>    | <b>4</b>    | <b>3</b>    | <b>4</b> |
| <b>Prom.</b> | <b>3,57</b> | <b>4,14</b> | <b>3,71</b> | <b>4</b> |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

***Figura III-7 Evaluación sensorial del atributo amargor***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

En la evaluación sensorial del atributo Amargor (Tabla III-12 y Figura III-7), el tratamiento **T-2** obtuvo la puntuación más alta (4,14), seguido de T-4 (4,00), T-3 (3,71) y T-1 (3,57). Se infiere que el amargor de T-2 fue percibido como más armónico y aceptable por los jueces, sin generar rechazos significativos.

### 3.5.7 Aceptación del producto

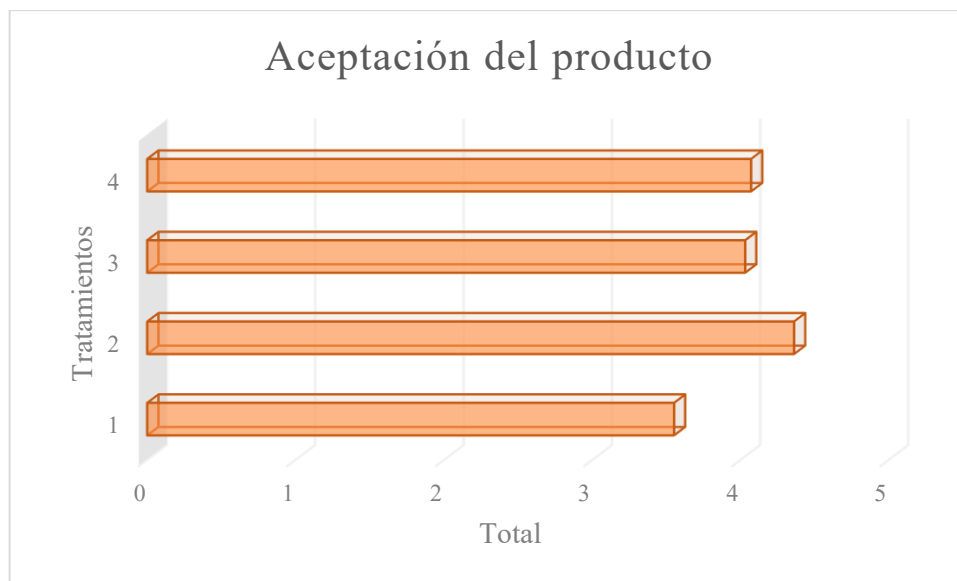
En la Tabla III-12 se muestra que el tratamiento **T-2** obtuvo la mayor aceptación global (4,36), destacando en sabor y amargor, atributos con mayor ponderación. Le siguen **T-4** (4,07) y **T-3** (4,03), con diferencias mínimas entre ellos. El tratamiento **T-1** fue el menos aceptado (3,55), debido principalmente a su bajo puntaje en espuma y sabor. En general, **T-2** presenta el perfil sensorial más equilibrado.

*Tabla III-13 Aceptación del producto*

| ACEPTACION DEL PRODUCTO    |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|
| Atributos                  | T-1  | T-2  | T-3  | T-4  |
| Color (10%)                | 0,42 | 0,45 | 0,42 | 0,44 |
| Espuma (10%)               | 0,28 | 0,41 | 0,35 | 0,37 |
| Intensidad aromática (10%) | 0,37 | 0,42 | 0,45 | 0,41 |
| Malta (10%)                | 0,35 | 0,44 | 0,42 | 0,4  |
| Sabor (40%)                | 1,42 | 1,82 | 1,65 | 1,65 |
| Amargor (20%)              | 0,71 | 0,82 | 0,74 | 0,8  |
| Total                      | 3,55 | 4,36 | 4,03 | 4,07 |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Figura III-8 Aceptación del producto**



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

En la Figura III-8 se ilustra visualmente la aceptación total de los tratamientos. **T-2** destaca claramente como el más aceptado, seguido por **T-4** y **T-3**, mientras que **T-1** ocupa la última posición. La gráfica confirma las tendencias observadas en la tabla, facilitando su interpretación.

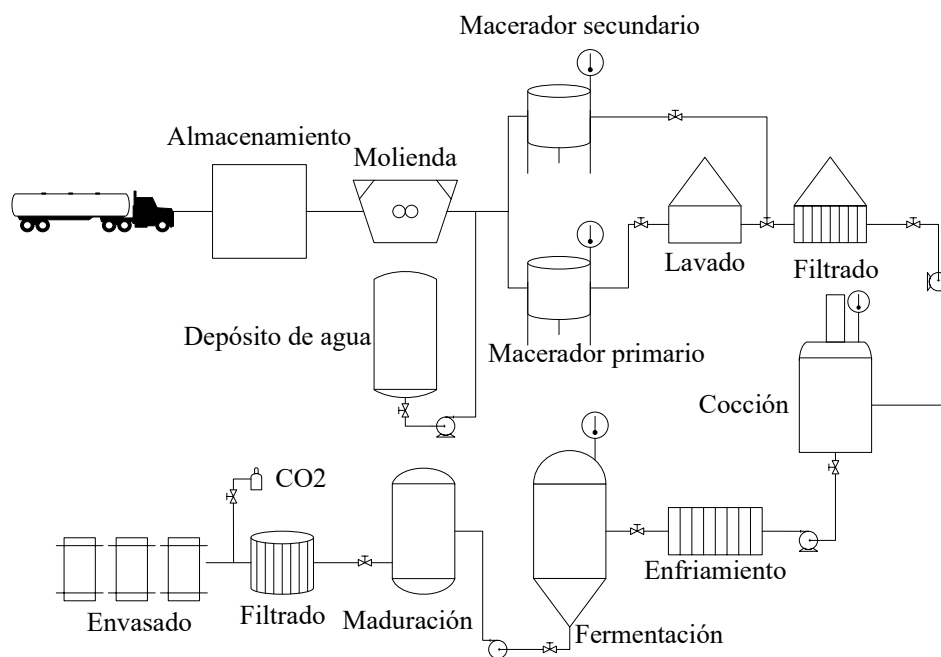
### 3.6 Diagrama de flujo técnico a escala industrializada

En la Figura III-9 se presenta el diagrama de flujo del proceso cervecero a escala industrial, como una proyección del procedimiento desarrollado inicialmente en laboratorio. Este esquema busca representar cómo dicho proceso puede escalarse técnicamente mediante la incorporación de equipos industriales y sistemas de control más precisos. El flujo inicia con la recepción y almacenamiento de materia prima en silos o depósitos herméticos. Luego continúa con la molienda en molino de rodillos, seguida por una etapa de doble maceración, que incluye un macerador primario para las maltas base y un macerador secundario para las maltas especiales. Esta diferenciación permite modular mejor el cuerpo, color y sabor del mosto.

A lo largo del proceso, se implementa el uso de bombas para el traslado de líquidos, válvulas de paso para el control de flujo y sensores de temperatura en los puntos críticos, garantizando precisión y trazabilidad en cada etapa. El mosto se

somete luego a un lavado automatizado, filtrado mediante cuba-filtro o filtros de placas, y cocción en un hervidor con chaqueta térmica. Posteriormente, se enfría en un intercambiador de calor y se transfiere a un tanque de fermentación cónico, donde ocurre la transformación de azúcares en alcohol. Finalizada la fermentación, el producto pasa a un tanque de maduración, seguido por un filtrado final y su correspondiente envasado mediante una llenadora automática con la adición de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para su gasificación.

***Figura III-9 Diagrama de flujo técnico a escala industrializada***



**Fuente:** Elaboración propia, (2025)



### 3.7 Costos de elaboración del proyecto final

*Tabla III-14 Costo de materia prima e insumos*

| <b>Materia prima</b>   | <b>Unidades o capacidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo</b> |
|------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Malta Pale Ale         | Kg                          | 18              | 18                          | 324          |
| Malta Biscuit          | Kg                          | 4               | 18                          | 72           |
| Malta chocolate        | Kg                          | 3               | 20                          | 60           |
| Malta negra            | Kg                          | 3               | 20                          | 60           |
| Cebada tostada         | Kg                          | 3               | 20                          | 60           |
| Malta caramelo 120     | Kg                          | 3               | 20                          | 60           |
| Levadura SafeAle US-05 | Sobre de 11,5 g             | 5               | 42                          | 210          |
| Lúpulo Fuggle          | Bolsa                       | 1               | 68                          | 68           |
| Avena                  | Caja                        | 5               | 13                          | 65           |
| Lactosa                | Kg                          | 1               | 35                          | 35           |
| Cascarilla de cacao    | Kg                          | 5               | 30                          | 150          |
| Total                  | 1164 (Bs.)                  |                 |                             |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-15 Costo de equipos y materiales de laboratorio**

| <b>Equipos y materiales de laboratorio</b> | <b>Unidades o capacidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo</b> |
|--------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Termómetro digital                         | Pieza                       | 1               | 52                          | 52           |
| Probeta graduada                           | 100 ml                      | 1               | 50                          | 50           |
| Probeta graduada                           | 500 ml                      | 1               | 130                         | 130          |
| pH metro                                   | Pieza                       | 1               | 220                         | 220          |
| Densímetro triple escala                   | Pieza                       | 1               | 180                         | 180          |
| Total                                      | 632 (Bs.)                   |                 |                             |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-16 Costo de equipos y materiales de elaboración**

| <b>Equipos y materiales de elaboración</b> | <b>Unidades o capacidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo</b> |
|--------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Olla de maceración                         | 30 L                        | 1               | 350                         | 350          |
| Olla de maceración                         | 10 L                        | 1               | 150                         | 150          |
| Molino                                     | Pieza                       | 1               | 230                         | 230          |
| Válvula                                    | Pieza                       | 1               | 220                         | 220          |
| Serpentín                                  | Pieza                       | 1               | 400                         | 400          |
| Cocina a gas                               | Pieza                       | 1               | 250                         | 250          |
| Manguera                                   | 2 m                         | 2               | 8                           | 16           |
| Cuchara de madera                          | Pieza                       | 1               | 15                          | 15           |
| Espátula de madera                         | Pieza                       | 1               | 15                          | 15           |
| Lienzo                                     | 2 m                         | 1               | 60                          | 60           |
| Air Lock                                   | Pieza                       | 1               | 35                          | 35           |
| Soporte de Air Lock                        | Pieza                       | 1               | 15                          | 15           |
| Colador                                    | Pieza                       | 1               | 80                          | 80           |
| Jarra                                      | 4 L                         | 1               | 20                          | 20           |
| Total                                      | 1856 (Bs.)                  |                 |                             |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-17 Costo de embotellado y almacenamiento**

| <b>Embotellado y almacenamiento</b> | <b>Unidades o capacidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo</b> |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Freezer                             | Pieza                       | 1               | 2900                        | 2900         |
| Botellas de vidrio                  | Bandeja                     | 1               | 186                         | 184          |
| Tapas base corona                   | Bandeja                     | 1               | 16                          | 16           |
| Tapadora de botellas                | Pieza                       | 1               | 250                         | 250          |
| Bomba dispensadora                  | Pieza                       | 1               | 60                          | 60           |
| Maguera de silicona                 | Pieza                       | 1               | 10                          | 10           |
| <b>Total</b>                        | <b>3420 (Bs.)</b>           |                 |                             |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-18 Costo de reactivos**

| <b>Reactivos</b> | <b>Unidades o capacidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo</b> |
|------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Povidona Rex     | 60 ml                       | 1               | 10                          | 10           |
| Acido peracético | 450 ml                      | 1               | 35                          | 35           |
| <b>Total</b>     | <b>45 (Bs.)</b>             |                 |                             |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-19 Costo de materiales de limpieza**

| <b>Materiales de limpieza</b> | <b>Unidades o capacidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo</b> |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Trapo                         | Pieza                       | 2               | 7,50                        | 15           |
| Cepillo de cerdas             | Pieza                       | 1               | 25                          | 25           |
| Alcohol                       | 1 L                         | 2               | 20                          | 40           |
| Agua destilada                | 1 L                         | 10              | 8                           | 80           |
| Total                         | 160 (Bs.)                   |                 |                             |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-20 Costo de análisis de laboratorio para el producto final**

| <b>Análisis de laboratorio</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio</b> | <b>Costo</b> |
|--------------------------------|-----------------|---------------|--------------|
| Acidez total                   | 1               | 50            | 50           |
| pH                             | 1               | 25            | 25           |
| Grado alcohólico               | 1               | 70            | 70           |
| Coliformes totales             | 1               | 110           | 110          |
| Total                          | 255 (Bs.)       |               |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-21 Costos extras**

| <b>Costos extras</b>                  | <b>Unidades o capacidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (Bs)</b> | <b>Costo</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Trabajo realizado por el investigador | Horas                       | 8               | 30                          | 240          |
| Material de mesa                      | -                           | 1               | 50                          | 50           |
| Impresiones                           | Hojas                       | 450             | 0,20                        | 90           |
| Total                                 | 380 (Bs.)                   |                 |                             |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**Tabla III-22 Costo total del proyecto**

| <b>Descripción</b>            | <b>Cantidad</b> | <b>Costo</b> |
|-------------------------------|-----------------|--------------|
| Materia prima e insumos       | 11              | 1164         |
| Equipos y mat. de laboratorio | 5               | 632          |
| Equipos y mat. de elaboración | 14              | 1856         |
| Embotellado y almacenamiento  | 6               | 3420         |
| Reactivos                     | 2               | 45           |
| Materiales de limpieza        | 4               | 160          |
| Análisis de laboratorio       | 4               | 255          |
| Extras                        | 3               | 380          |
| Total                         | 7921 (Bs.)      |              |

**Fuente:** Elaboración propia, (2025)

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## 4.1 Conclusiones

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

- ✓ Se logró elaborar satisfactoriamente una cerveza artesanal estilo Milk Stout con cascarilla de cacao a escala laboratorio, cumpliendo con el objetivo general del proyecto. El producto final presentó un perfil sensorial equilibrado, destacando en atributos como sabor, cuerpo, espuma e intensidad aromática, lo cual se atribuye tanto a la combinación de maltas especiales como al uso de cascarilla de cacao como aditivo aromático.
- ✓ Se diseñó y desarrolló un diagrama de flujo técnico detallado para el proceso de elaboración de cerveza artesanal, adaptado al contexto experimental y a las condiciones del laboratorio. Este flujo integra todas las etapas clave del proceso, desde la molienda hasta el almacenamiento, incluyendo variaciones metodológicas como la doble maceración (en frío y caliente), el recirculado con cascarilla de cacao y el enfriado por serpentín.
- ✓ Se implementó un diseño experimental con cuatro tratamientos (C1 a C4) que combinaban diferentes proporciones de avena (10 % y 20 %) y tiempos de fermentación (6 y 8 días). Los resultados demostraron que, a mayor proporción de avena y menor tiempo de fermentación, el grado alcohólico tiende a disminuir, como se evidenció en el tratamiento C4 (20 % avena, 6 días) con una media de 6,10 % v/v, mientras que el tratamiento C3 (10 % avena, 8 días) alcanzó el valor más alto de 6,48 % v/v.
- ✓ El producto final presentó un color de 52,28 SRM y un grado de amargor de 5 IBU, situándose fuera del rango recomendado por la Guía BJCP 2015 para el estilo Sweet Stout (SRM: 30–40, IBU: 20–40). Estas variaciones se deben principalmente al uso de maltas altamente tostadas como la carafa y la cebada tostada, además de la incorporación de cascarilla de cacao. No obstante, el perfil sensorial logrado se ajusta a los objetivos deseados, y la personalización del estilo es una práctica válida en la elaboración artesanal.



- ✓ Los balances de materia y energía realizados en las etapas de maceración, cocción y enfriado permitieron cuantificar las pérdidas, los rendimientos y la demanda energética del proceso. Durante la cocción, por ejemplo, se registró una evaporación de 4,96 kg de agua, y el calor requerido fue de aproximadamente 3276,54 kcal. El enfriado mediante serpentín mostró una eficiente transferencia de calor, con una reducción de temperatura de 90 °C a 23 °C en 15 minutos. Estos resultados respaldan la viabilidad técnica del proceso.
- ✓ La evaluación sensorial fue realizada por 7 jueces no entrenados en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (L.O.U). Entre los cuatro tratamientos evaluados, el Tratamiento 2 fue el que obtuvo una aceptación significativamente mayor. Esta preferencia se debió a su destacada valoración en atributos clave como el sabor, el amargor y la percepción de malta, posicionándose como la formulación más apreciada por los evaluadores.
- ✓ En las condiciones óptimas definidas por el Tratamiento 2, se emplearon 5 kilogramos de maltas base (Pale Ale y Biscuit) y 1 kilogramo de maltas especiales (Caramelo 120, Chocolate, Negra y cebada tostada), además de 150 gramos de cascarilla de cacao, 500 gramos de lactosa y 12 gramos de lúpulo Fuggle al 5,5 % de alfa-ácidos. Para el proceso de maceración, se utilizaron 3 litros de agua para las maltas especiales (maceración en frío) y 15 litros para las maltas base (maceración principal), complementados con 3 litros adicionales durante las etapas de recirculado y lavado. Considerando las pérdidas por evaporación en la cocción y las mermas propias del proceso, se obtuvo un rendimiento final aproximado de 11 litros de cerveza estilo Milk Stout.

## **4.2 Recomendaciones**

- ✓ Se recomienda mantener el porcentaje de avena en un rango no mayor al 10 % si se busca optimizar el rendimiento alcohólico de la cerveza artesanal, ya que se evidenció que proporciones superiores disminuyen la fermentación efectiva.

- ✓ Para mejorar el control del proceso y la estabilidad térmica durante la etapa de maceración, se sugiere el uso de sistemas de monitoreo de temperatura más precisos o automatizados. Esto permitiría mantener de forma constante el rango óptimo de actividad enzimática (67–69 °C), minimizando pérdidas de extracto y asegurando una conversión más eficiente de almidones en azúcares fermentables.
- ✓ En caso de buscar una mayor adherencia a los parámetros establecidos por la Guía BJCP para el estilo Sweet Stout, se aconseja ajustar el perfil de maltas utilizadas, reduciendo la cantidad de maltas altamente tostadas o equilibrándolas con maltas caramelo de menor grado Lovibond, a fin de reducir el SRM sin comprometer los atributos sensoriales deseados.
- ✓ La metodología utilizada en esta investigación, que incorpora una doble maceración (fría y caliente), puede ser replicada o adaptada en futuros trabajos con otras formulaciones, ya que demostró ser eficaz en la concentración de aromas, sabores y color, especialmente cuando se trabaja con ingredientes especiales como la cascarilla de cacao.
- ✓ Los análisis de laboratorio del producto final deben realizarse lo antes posible para obtener resultados más precisos.
- ✓ 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.