

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

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

El consumidor boliviano, poco conocedor de variedades de cerveza, consume típicamente la cervecera rubia principalmente variando a la negra según sus preferencias. El maridaje de la cerveza que prevalece en la gastronomía corresponde a comidas típicas de cada región, muy parecidas influenciadas por los países vecinos. (Quiroz, 2016)

Según La Cámara Boliviana de Fabricantes de Cerveza, En el país se consumen aproximadamente 33 litros de cerveza per cápita al año, muy por debajo de los 151 Litros Alemanes o de los 61 litros de México, que es el mayor consumidor de cerveza de América Latina. Este consumo se lo realiza con más fuerza en la época de carnavales, donde se consume aproximadamente el 25% de la oferta total anual. (Maceda, 2017)

La Cervecería Boliviana Nacional en Tarija explica que la mayor cantidad de cerveza que se produce es la Paceña en botella de litro, con una cantidad de 5.500 hectolitros a la semana, unos niveles de producción que en la época de carnavales y fin de año se multiplican debido a la alta demanda. (Flores, 2016)

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

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de elaborar cerveza tipo American Pale Ale, por lo que se busca brindar una cerveza diferente a las que proponen las industrias cerveceras.
- Al existir una amplia comercialización de cerveza en el mercado local de Tarija, el presente trabajo propone una cerveza considerada un producto muy demandado por la población de Tarija que puede ser consumida en diferentes eventos sociales.
- Debido a que en la ciudad de Tarija existe gran cantidad de cervezas de contrabando, desconociendo su control sanitario por las entidades locales, el presente trabajo busca brindar una cerveza que cumple con los parámetros de calidad.
- La elaboración de cerveza tiene como finalidad ofrecer a la población de Tarija una nueva alternativa de un producto ya existente.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale son los siguientes:

1.3.1 Objetivo general

Proponer una metodología experimental de fermentación alcohólica, para obtener cerveza tipo American Pale Ale de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de los diferentes tipos de maltas utilizados en el proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale, para poder establecer su composición.
- Determinar las características fisicoquímicas del agua de grifo para establecer si es apta para la elaboración de cerveza.

- Realizar evaluación sensorial de las pruebas preliminares para determinar la muestra ideal.
- Aplicar diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica de cerveza tipo American Pale Ale, con la finalidad de establecer variables en el proceso.
- Realizar evaluación sensorial de las muestras experimentales, para determinar el grado de aceptabilidad del producto.
- Realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos del producto final, con el fin de establecer las propiedades y la composición del producto.
- Realizar balance de materia y energía en el proceso de elaboración con el fin de determinar su rendimiento en el proceso de elaboración y su gasto de energía a nivel experimental.

1.4 Objeto de estudio

El objetivo de estudio para el siguiente trabajo de investigación será el siguiente:

Aplicar el proceso de fermentación alcohólica, para obtener cerveza tipo American Pale Ale de calidad para el departamento de Tarija.

1.4.1 Campo de acción

El campo de acción del presente trabajo de investigación será el siguiente:

1.4.2 Espacial:

El campo espacial del presente trabajo se realizará en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija.

1.4.3 Temporal:

El presente trabajo será realizado en las gestiones 2021-2022.

1.4.4 Institución:

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) y en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimento (LACIA), dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.5 Situación problema

Al no existir producción de este tipo de cerveza por las empresas en el mercado regional, se desea elaborar cerveza tipo American Pale Ale para la provincia Cercado de la ciudad de Tarija, ya que es una bebida de bastante demanda en el mercado regional, lo cual puede coadyuvar a ampliar la variedad de cervezas ya existentes por diferentes industrias cerveceras, dándole a la población una alternativa diferente y de calidad de un producto ya conocido.

1.6 Formulación del problema

¿Se logrará obtener cerveza tipo American Pale Ale, mediante la metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija??

1.7 Hipótesis

Aplicando el proceso de fermentación adecuado en la elaboración de cerveza American Pale Ale permitirá obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen

La cerveza es una bebida milenaria originaria de la cultura mediterránea clásica, vinculada desde la antigüedad con fines terapéuticos. Las primeras referencias históricas, hace 6000 años, demuestran que la cerveza era consumida por la civilización sumeria con el objetivo de evitar enfermedades infecciosas que se adquieren al ingerir agua no higienizada. Franceses y alemanes perfeccionaron la técnica de fabricación original con métodos similares a los actuales, hasta el siglo XXII con la aparición de gremios cerveceros. En lo que respecta al proceso de elaboración, desde los orígenes han intervenido ingredientes naturales como agua, cebada levadura y lúpulo. Este último fue incorporado en la elaboración de cerveza del siglo IX debido a sus propiedades antisépticas y, además, es el principal responsable del amargor característico de esta bebida (Galvan y col, 2017).

Surge la denominación de Pale Ale, cuando consiguen esa malta ligeramente tostada y que, por tanto, produce una cerveza más clara, más pálida. La primera vez que un productor utiliza el término Pale Ale para nombrar estas cervezas es en 1703. A partir de 1800 las cervezas Pale Ale se popularizaron mucho (Navarro, 2018).

Las American Pale Ale son consideradas la versión moderna de las English Pale Ale, en ellas siguen los pasos de elaboración de las English Pale Ale, pero se emplean ingredientes autóctonos de los Estados Unidos. Tal es así, que la primera cerveza comercializada como una American Pale Ale fue la Sierra Nevada Pale Ale (1985). Es así que obtenemos las cervezas American Pale Ale son unas cervezas ligeras, donde el lúpulo predomina sobre lo demás sin ser una India Pale Ale. El aroma es mucho más intenso que las lagers comerciales, evidenciando esos toques del Cascade (cítricos como pomelo y toques florales) (Cerveza Malabella, 2020).

2.2 Definición de Cerveza

“Bebidas alcohólicas elaboradas con cebada germinada (malta), lúpulo, levadura y agua” (CodexStan192, 2015). Pág. 46

Bebida con un porcentaje de alcohol mayor del 2.5% de alcohol por peso, resultante de un proceso de fermentación alcohólica controlado, por medio de levadura cervecera, de un mosto elaborado con agua potable, malta y/o sus extractos sola o mezclada con azúcar y/o otros productos amiláceos, adicionado de lúpulo y/o sus extractos y concentrados. (Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense, 2006).

2.3 Clasificación

La clasificación de los diferentes tipos de cerveza son los siguientes:

2.3.1 Tipos de cerveza

Los tipos de cerveza son:

2.3.1.1 Cervezas tipo Ale

Las cervezas tipo Ale se caracteriza porque la levadura fermenta al mosto a una temperatura que puede oscilar entre los 15 y los 25 grados centígrados. Las cervezas que pertenecen a esta familia también suelen ser llamadas de “alta fermentación”, y esto se debe a que las levaduras tienden a hacer su trabajo muy cerca de la superficie de los tanques de fermentación (Cerveceros de Mexico , 2018).

El término ale se refiere al tipo de fermentación y no tiene nada que ver con el color, estilo o cuerpo. Las ales pueden ser pálidas u oscuras, tener mucho o poco cuerpo, alta o baja graduación alcohólica y ser más o menos amargas. Todo dependerá, entre otras cosas, de la cantidad y tipo de malta que se utilice, del lúpulo y de la maduración que experimente. (Cervemur, 2016)

2.3.1.2 Cerveza Lager

Son fermentadas usando *saccharomyces pastorianus*. Debido a que no suben hasta la parte más alta del contenedor, se les llama de fermentación baja. Comparada con la Ale es más frágil, pues requiere condiciones más específicas para poder funcionar. Esto

significa que no pueden formar esporas, que atenúa los azúcares más lentamente y que su tolerancia al alcohol es menor (Maltosa, 2017).

Cerveza American Pale Ale

Las American Pale Ale o APA son cervezas de alta fermentación (Ale), rubias (Pale) y al estilo americano (American). Son la versión americanizada de las clásicas Pale Ale británicas. Son cervezas rubias al estilo americano. ¿Qué significa esto? El estilo Pale Ale tiene su origen en Inglaterra y los americanos han adaptado a su mercado ese estilo potenciando la presencia del lúpulo. (Giner, 2019)

En la tabla 2.1 se muestra las propiedades fisicoquímicas de la cerveza American Pale Ale.

Tabla 2.1

Requisitos fisicoquímicos de la cerveza American Pale Ale

Componentes	Unidades	Valor
Densidad Inicial	g/ml	1045 – 1060
Densidad Final	g/ml	1010 – 1015
Graduación Alcohólica	(%)	4,5 – 6,2
Color	(EBC)	2,0– 80,0
Amargo	(IBUs)	30,0 – 50,0

Fuente: (Strong & Kristen, 2015)

2.4 Composición fisicoquímica del producto

En la tabla 2.1 se muestra las propiedades fisicoquímicas de la cerveza.

Tabla 2.2***Composición fisicoquímica de la cerveza tipo American Pale Ale***

Grado alcohólico	2.54 – 9%
Extracto original	(°Plato o % m / m)
PH	3.4 – 4.8
CO2	(% / v) 2.4 / 3.6
Plomo	(mg / l) máx. 0.1
Hierro	(mg / l) máx. 0.2
Cobre	(mg / l) máx. 1.0
Arsénico	(mg / l) máx. 1.0

Fuente: (Norma Tecnica Obligatoria Nicaraguense, 2006)

2.4.1 Características físicas del producto**a) Grado alcohólico**

El grado alcohólico de una bebida, en este caso la cerveza, es la expresión del porcentaje en volumen de alcohol presente en ella. Cada 1%v/v alcohol/cerveza corresponde con 1 grado alcohólico. Aunque puede encontrarse expresado en “% ABV” donde ABV son las siglas de Alcohol By Volume. El contenido de alcohol habitual en bebidas fermentadas oscila entre 3-12 % ABV, excluyendo las sin alcohol o de bajo contenido alcohólico, cuyo grado alcohólico es incluso menor. Presentan valores de aprox. 1% ABV para bajo contenido alcohólico y de 1-3% ABV para sin alcohol, como se menciona anteriormente. (Picon, 2020)

b) PH

El agua es el ingrediente que afecta principalmente al valor de pH en todo el proceso productivo de la cerveza, dado que constituye alrededor del 95% en peso del producto final. Desde el momento inicial en el que se dispone del agua para la maceración, hasta el final, con el agua añadida en otras partes del proceso productivo como puede ser el agua de lavado, usada en las filtraciones, que también afecta al valor de pH del producto final. (Picon, 2020)

c) Color de la cerveza

Su color está determinado por la materia prima y por el tostado de la malta. El tipo de levadura utilizado también puede intervenir en el color final de la cerveza. (Uriarte, 2020).

El color de las cervezas se evalúa de acuerdo a dos escalas: la SRM (Standard Reference Method) utilizada principalmente en Estados Unidos y la EBC (European Brewing Convention) en el resto del mundo. Ambas se basan en medidas espectrofotométricas, midiendo la absorbancia de la muestra de cerveza a 430nm. (Suarez, 2013). En la tabla 2.3, se muestra la escala de colores de la cerveza artesanal.

Tabla 2. 3

Escala de colores de la cerveza artesanal

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

Fuente: (Picon, 2020)

d) Amargor

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

2.5 Características microbiológicas de la cerveza artesanal

Es posible que entren microorganismos extraños a la cerveza (contaminantes) en el recorrido del mosto y de la cerveza, hasta el producto terminado. Si estos microorganismos se propagan, forman un sedimento leve en la cerveza, hasta que finalmente la enturbian y, de esta manera se realizará un plan de acción para evitar el desarrollo de contaminantes. (Picon, 2020) En la tabla 2.4 se muestra los requisitos microbiológicos para las cervezas artesanales.

Tabla 2. 4

Requisitos microbiológicos de la cerveza artesanal

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

Fuente: (IBNORCA, 2001)

2.6 Caracterización de la materia prima utilizadas para la elaboración de cerveza artesanal

2.6.1 Agua

El agua de preparación debe ser limpia y libre de olores, como el cloro y el olor de estanque. Por lo general una buena agua para preparar el pure y crear el mosto debe ser moderadamente dura y tener una alcalinidad baja a moderada. Pero depende del tipo de cerveza que se desea elaborar y del carácter mineral del agua.

a) Dureza y Alcalinidad

La dureza del agua se define como la cantidad de calcio y magnesio disuelto en el agua. El agua dura tiene mucho calcio y magnesio; el agua blanda no. La alcalinidad es la concentración de carbonato y bicarbonato. La alcalinidad del agua actúa para elevar el pH del agua y la cerveza, y este puede ser un problema para la cerveza, especialmente para estilos más pálidos (Rodríguez, 2017).

2.6.2 Cebada

Cebada de dos carreras o cebada cervecera (*Hordeum distichon*). Se denomina cebada cervecera porque es la más utilizada en la industria de la cerveza; se debe a que los granos de la cebada de dos carreras son mayores y presentan mayor uniformidad en su tamaño. Además, para poder destinarla a la producción de cerveza debe presentar una gran regularidad en la germinación, bajo nivel de proteínas y alto poder diastásico. El poder diastásico es la medida de la actividad de las enzimas de la malta para romper los carbohidratos complejos en azúcares reducidos. (Perez T. , 2016)

Cebada malteada para la elaboración de cerveza

La cebada malteada es la materia prima por excelencia utilizada para la elaboración de la cerveza. La cebada, tal y como se cosecha, no es la adecuada para la producción cervecera. Ésta debe someterse a un proceso de transformación llamado malteo o malteado, para aportar sus bondadosas cualidades que contribuyen en gran parte al aroma, sabor, cuerpo y color del producto. (Joranzo, 2021)

Durante el malteado se activan las enzimas que degradan el almidón en azúcares simples y que serán el sustrato de las levaduras en la fermentación generando mayoritariamente dióxido de carbono y alcohol. (Ferreyra D. , 2014)

2.6.3 Lúpulo

El lúpulo es un ingrediente esencial para la elaboración de la cerveza. De sus flores convenientemente secadas, se extrae la lupulina, un elemento esencial que aporta el sabor amargo y el aroma característicos de la cerveza. El lúpulo hace que la espuma de la cerveza sea más estable, ayuda a conservar su frescor y le confiere otras propiedades; existen diferentes variedades, unas más o menos ricas en elementos ácidos y amargos y otras más ricas en presencia de elementos aromáticos. Unos y otros se seleccionan para poder hacer la mezcla deseada por cada fabricante para elaborar sus variedades de cerveza. Las formas del lúpulo son en fresco, en forma de extracto o concentrado, y en forma de polvo prensado o pellet, siendo ésta última la que más se utiliza por la buena conservación de los ácidos alfa y aceites esenciales (Elfo, 2019).

2.6.4 Levadura

Las levaduras son hongos unicelulares que se reproducen por gemación. Es capaz de cubrir su demanda de energía en presencia de oxígeno (aerobio) por respiración y en ausencia de oxígeno (anaerobio) por fermentación. En la fabricación de cerveza, el azúcar del mosto es fermentado por la levadura a alcohol y CO₂. Se utilizan cepas de levadura del tipo *saccharomyces cerevisiae* para tal fin. La levadura, debido a su metabolismo, tiene una gran influencia sobre el sabor y el carácter de la cerveza. Las sustancias orgánicas necesarias para la respiración o fermentación son absorbidas por las proteínas integradas de la plasmalerna y transportadas a través de la membrana. Estos procesos metabólicos influyen decisivamente sobre la calidad de la cerveza (Sancho, 2015).

2.7 Caracterización de los insumos utilizados en la elaboración de cerveza artesanal

2.7.1 Irish Moss

El conocido como musgo irlandés es un clarificante natural que resulta muy útil para coagular las proteínas y sedimentarlas. Se suele añadir unos minutos antes de terminar el hervido, en una cantidad aproximada de 2-5 gramos por cada 20 litros de cerveza. Es muy importante no añadir musgo en exceso, pues su uso en demasía puede desencadenar en problemas de retención de espuma (Gonzales A. , 2019).

2.8 Proceso tecnológico a ser utilizado en la elaboración de cerveza artesanal

El proceso de elaboración, consta de 4 etapas: molienda y maceración, cocción, fermentación, maduración y acondicionamiento.

2.8.1 Molienda y maceración

La molienda procura romper el grano malteado de manera tal que el endospermo amiláceo posteriormente pueda hidratarse. Es importante que la molienda no sea excesiva ni tampoco queden granos enteros. Cualquiera de los dos extremos complicará la elaboración, en el primer caso por generar mucha harina perjudicando el

filtrado. En el otro extremo, el agua no podrá ingresar al grano y por ende la extracción de azúcares será incompleta. La malta molida es posteriormente macerada; si bien este proceso puede realizarse de diferentes formas, una de las técnicas más comunes es la infusión, para ello se coloca agua a la malta en una relación alrededor de 3 a 1 a 65-75 °C. Los azúcares extraídos aumentan rápidamente al principio y en una hora se obtiene la mayor parte del extracto, aunque la mayor extracción se obtiene luego de 1,5 a 2 horas. (Ferreyra D. , 2014)

La maceración puede realizarse en forma isotérmica (a una temperatura fija) o bien con escalonamiento de temperatura (normalmente se comienza a temperaturas más bajas para luego ir aumentándola hasta 75 °C). A 65 °C se maximiza la conversión del almidón en azúcares simples, pero el aumento excesivo de la temperatura de maceración aumenta la tasa de desnaturalización y precipitación de proteínas (incluyendo la inactivación de las enzimas). La maceración a temperaturas finales altas (80 °C) acelera los procesos de disolución, difusión y mezclado. Esto puede maximizar la recuperación de extracto, aunque su fermentabilidad (Ferreyra L. , 2014) puede ser baja por inactivación de enzimas (ej. 30% respecto a 70%, o más en mostos provenientes de maceraciones a 65 °C). Finalizada la maceración se realiza el filtrado. Su objetivo es extraer las partículas que se encuentran en suspensión de manera tal de obtener un producto límpido. Para tal fin se utilizan las glumas de la malta, que forman un filtro natural compacto en el fondo del macerador, luego de recircular el mosto sobre la cama de grano, las partículas quedan retenidas en los canalículos formados. (Ferreyra D. , 2014)

2.8.2 Cocción

En esta etapa consiste en hervir al mosto en forma vigorosa por alrededor de una hora.

Los cambios principales que se producen durante la cocción del mosto son:

- Inactivación de enzimas de la malta: El tratamiento térmico provoca la desnaturalización de las enzimas frenando los procesos de proteólisis, lipólisis y amilólisis.

- Esterilización del mosto: Pocos microorganismos sobreviven temperaturas de 100 °C. Las excepciones son algunas bacterias termófilas formadoras de esporas, principalmente del género *Bacillus* sp. Sin embargo, la cerveza estándar es un medio de crecimiento pobre para estos organismos.
- Extracción e isomerización de compuestos derivados del lúpulo: El lúpulo juega un papel preponderante a la hora de dotar a las cervezas de amargor y aroma. Los principales compuestos responsables del amargor son los denominados alfa ácidos (co-humulona, humulona y ad-humulona) que si bien son insolubles en agua luego de la cocción se isomerizan a iso-alfa ácidos solubles. La producción de iso-alfa ácidos de amargor durante la elaboración de cerveza dependerá entonces de tres factores: a) la cantidad de lúpulo adicionada, b) de la concentración de alfa ácidos en el lúpulo empleado y c) el porcentaje de utilización del lúpulo.
- Coagulación de material de proteína en el mosto: Como se mencionó anteriormente la eliminación de parte de la proteína de alto peso molecular es uno de los objetos de la etapa de ebullición. Por mucho tiempo se pensó que los polifenoles también participaban, pero en realidad los complejos proteínapolifenol no son estables a 100 °C. El turbio en caliente esta de hecho compuesto en buena parte por proteínas. La coagulación insuficiente y la eliminación de dichas proteínas pueden afectar el intercambio entre las células de la levadura y el medio circundante (bloqueo de la membrana). Asimismo, puede provocar una caída insuficiente de pH en la fermentación. Finalmente, el exceso de proteína no puede ser eliminado durante la fermentación dando lugar a problemas de clarificación. Las proteínas que sobreviven en la cerveza pueden reaccionar en el almacenamiento con polifenoles dando turbidez que acortará el tiempo de conservación. Es importante mencionar que algunas proteínas son necesarias en la cerveza para producir buena retención de espuma y para mejorar la sensación en la boca.
- Formación de compuestos asociados con el sabor, aroma y color: El aumento en el color se debe al pardeamiento no enzimático (una reacción entre aminos

o aminoácidos y compuestos carbonílicos de los azúcares). Para una cerveza clara se estima que un tercio del color se forma en el secado al horno de la malta. Maltas oscuras y cristalinas contendrán más melanoidinas. Los otros dos tercios se forman durante la cocción del mosto.

- Aumento de la densidad del mosto a través de la evaporación de agua. La cocción permite la evaporación de los compuestos volátiles formados en la maceración o del lúpulo, así como una concentración de los azúcares y demás componentes no volátiles.
- Caída en el pH del mosto y formación de sustancias reductoras: El descenso de pH favorece la clarificación y la capacidad de almacenamiento de la cerveza. Así mismo en el hervor pueden formarse sustancias reductoras que, al disminuir el potencial de óxido reducción, protegen al mosto de reacciones oxidativas.

Finalmente, la ebullición permite eliminar las sustancias que contienen azufre a partir de mosto (formadas por oxidación de los grupos tiol) lo que mejora el sabor de la cerveza. Con el fin de mejorar la formación de turbio, muchos cerveceros agregan calificantes electronegativos cerca del final de la ebullición (4 ± 8 g/hl). Uno de los más comunes es el musgo irlandés “Irish moss” obtenido por secado de algas marinas rojas (*Chondrus crispus*) o el polisacárido purificado que ellos producen. Finalizada la cocción, el mosto debe enfriarse rápidamente. Para facilitar la formación de turbios se realiza un remolino (whirlpool) ya sea por agitación vigorosa en forma circular en la olla de cocción o bien a nivel industrial por trasvase a otro contenedor cilíndrico vertical. (Ferreyra D. , 2014)

2.8.3 Fermentación

En esta etapa, el mosto es inoculado con levaduras ale o lager, según sea el estilo buscado y luego se cierra para que se agote el oxígeno. Si las levaduras utilizadas son de fermentación alta, el mosto deberá ser inoculado cerca de 18 °C y el proceso fermentativo se extenderá durante 7 a 10 días. Cuando las levaduras elegidas, son de fermentación baja (lager) la temperatura del mosto al momento de la adición deberá

estar entre 8 y 13 °C y el periodo de fermentación será de unos 14 a 21 días. La diferencia en cuanto al sabor aportado por los dos tipos de levaduras mencionados es notoria, las levaduras ale dan notas frutadas, mientras que las lagers generan sabores más secos y redondeados. El vigor de la fermentación (principalmente en cervezas de tipo Ale) genera además de una pérdida iso-alfa-ácidos que precipitan en el fondo del fermentador Durante la fermentación. Lo habitual es que se mida la evolución de la densidad, esto permite observar cómo progresa el proceso (el consumo de azúcares hace que la densidad vaya disminuyendo). Los fermentadores más populares son los cilindro-cónicos. (Ferreira D. , 2014)

2.8.4 Maduración y acondicionamiento

Finalizada la fermentación se extraen las levaduras que sedimentan luego se coloca el líquido resultante (cerveza verde) a temperaturas cercanas a 0 °C para que los sabores y aromas se armonicen y las levaduras junto a las proteínas (que se encuentran en suspensión) se ubiquen en el fondo del fermentador, facilitando su remoción. El proceso se llama “lagering” (Almacenada en alemán) cuando se refiere a las cervezas en las que se realizó una fermentación de baja. En sus inicios ocupaba varias semanas o incluso meses, pero ahora a menudo se completa en una o dos semanas (a veces aún menos). La maduración implica una fermentación secundaria que es efectuada por la pequeña cantidad de levadura que queda en la cerveza cuando se transfiere desde el recipiente de fermentación. Esta levadura puede utilizar los carbohidratos fermentables remanentes en la cerveza al final de la fermentación primaria o pequeñas cantidades de hidrato de carbono fermentable añadidas (azúcar de cebada). Durante la maduración también se lleva a cabo la clarificación de la cerveza por precipitación de complejos de proteínas y polifenoles en frío. Antes del envasado la cerveza es filtrada. Varios grupos de compuestos cambian su concentración durante la maduración de la cerveza, los más importantes son las dicetonas (especialmente diacetilo), los compuestos azufrados, los aldehídos y los ácidos grasos volátiles. El diacetilo y 2,3- pentanodiona se producen en todas las fermentaciones de cervecería y dan un sabor intenso a caramelo. Esto no es deseable en las cervezas lager por lo que su concentración debe ser menor a 0,1 mg/L.

Un período de acondicionado caliente (2 ± 3 días a 14 ± 16 °C) es muy eficaz para reducir el diacetilo. Los compuestos de azufre son importantes en el sabor de la cerveza a pesar de sus concentraciones muy bajas. Dentro de los aldehídos el más relevante es el acetaldehído, puede ser detectado en concentraciones de aproximadamente 10 mg/L en cerveza tipo Pilsen dando sabor de manzana verde. Es una característica de algunas cervezas ale y se produce por oxidación del etanol que puede ocurrir si la transferencia de la cerveza luego fermentación primaria a la maduración es realizada sin cuidado permitiendo la incorporación de oxígeno. Durante maduración normal, la concentración de acetaldehído se reduce a 2-7 mg/L. (Ferreira D. , 2014)

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA
EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación Elaboración de Cerveza tipo American Pale Ale se realizó en el Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A) y el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA); ambos dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipo de intervención de la parte experimental

La metodología para la elaboración de Cerveza tipo American Pale Ale es de carácter experimental de laboratorio y se basa en los siguientes métodos y técnicas que fueron aplicados:

- Análisis físico-químico y microbiológico de las maltas.
- Análisis fisicoquímico, microbiológico del agua de grifo
- Análisis organoléptico de la Cerveza tipo American Pale Ale.
- Análisis fisicoquímico y microbiológico de la Cerveza tipo American Pale Ale.
- Diseño experimental 2³ de la Cerveza tipo American Pale Ale.
- Operacionalización de las variables dependiente e independiente.

3.3 Paradigma de la investigación

Un paradigma establece aquello que debe ser observado; la clase de interrogantes que deben desarrollarse para obtener respuestas en torno al propósito que se persigue; qué estructura deben poseer dichos interrogantes y marca pautas que indican el camino de interpretación para los resultados obtenidos de una investigación. (Perez J. , 2021)

El paradigma a ser desarrollado en el presente trabajo de investigación es un estudio de carácter descriptivo, analítico y explicativo, así mismo se relacionaron las variables

dependientes con las independientes con el objeto de formular una hipótesis del tipo empírica. (Perez J. , 2021)

3.4 Enfoque de la investigación

Según (Mata Solis, 2019): Cuando hablamos de enfoque de investigación, nos referimos a la naturaleza del estudio, la cual se clasifica como cuantitativa, cualitativa o mixta; y abarca el proceso investigativo en todas sus etapas: desde la definición del tema y el planteamiento del problema de investigación, hasta el desarrollo de la perspectiva teórica, la definición de la estrategia metodológica, y la recolección, análisis e interpretación de los datos.

En el presente trabajo se aplicó un enfoque cuantitativo ya que se trabaja con números y datos cuantificables y porque se tienen que obtener varios datos durante el proceso de la elaboración como el de maceración, cocción y fermentación, el cual se adecua a este tipo de enfoque.

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

Métodos y técnicas de investigación son fundamentales e indispensables para el desarrollo de un estudio de cualquier índole. Los métodos indican el camino que se seguirá y son flexibles, mientras que las técnicas muestran cómo se recorrerá ese camino y son rígidas. (Ramos, 2018)

La palabra método se deriva del griego meta: hacia, a lo largo; y odos que significa camino, por lo que podemos deducir que método significa el camino más adecuado para lograr un fin. El método es un elemento necesario en la ciencia; ya que sin él no sería fácil demostrar si un argumento es válido o no. (Ramos, 2018)

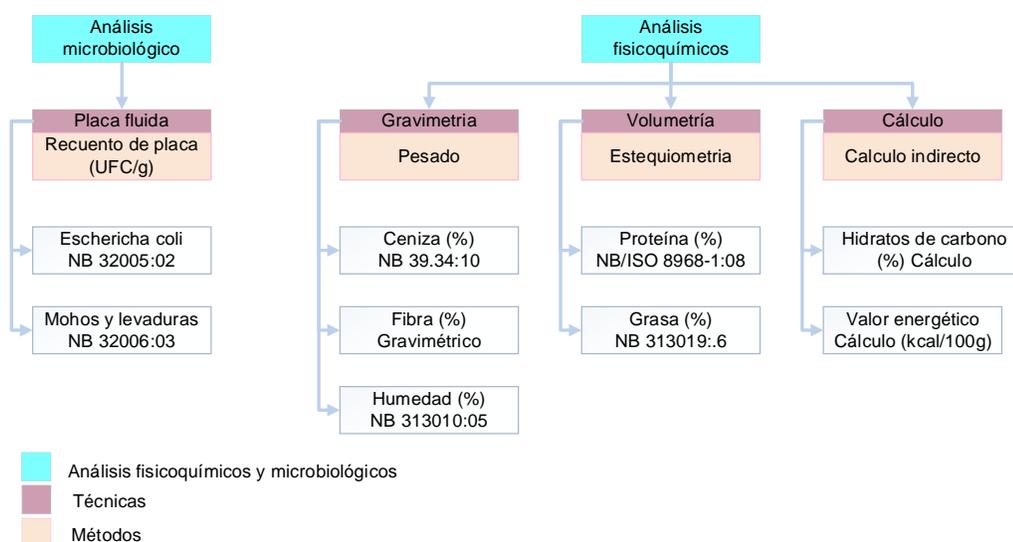
Los métodos de investigación son un conjunto de procedimientos lógicos a través de los cuales se plantean problemas científicos y se ponen a prueba hipótesis e instrumentos de trabajo investigados. (Ramos, 2018)

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del presente trabajo “Elaboración de Cerveza American Pale Ale” se realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho en el departamento de Tarija, provincia Cercado.

Los métodos y técnicas utilizados en el presente trabajo de investigación son:

3.5.1 Métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos de las maltas

Con la finalidad de determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la malta se realiza los análisis mencionados en la figura 3.1; estos análisis se realizan en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

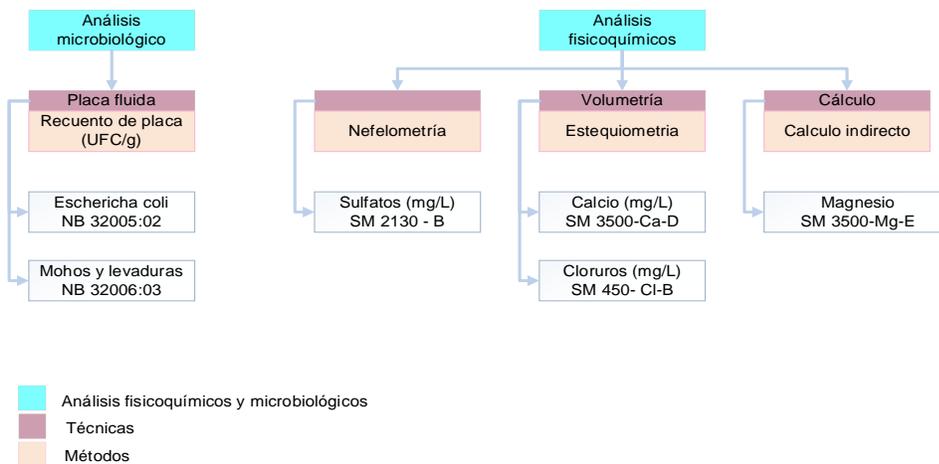


Fuente: (CEANID, 2022)

Figura 3.1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las maltas

3.5.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de agua de grifo

En la figura 3.2, se detallan los análisis microbiológicos valorados del agua de grifo para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.

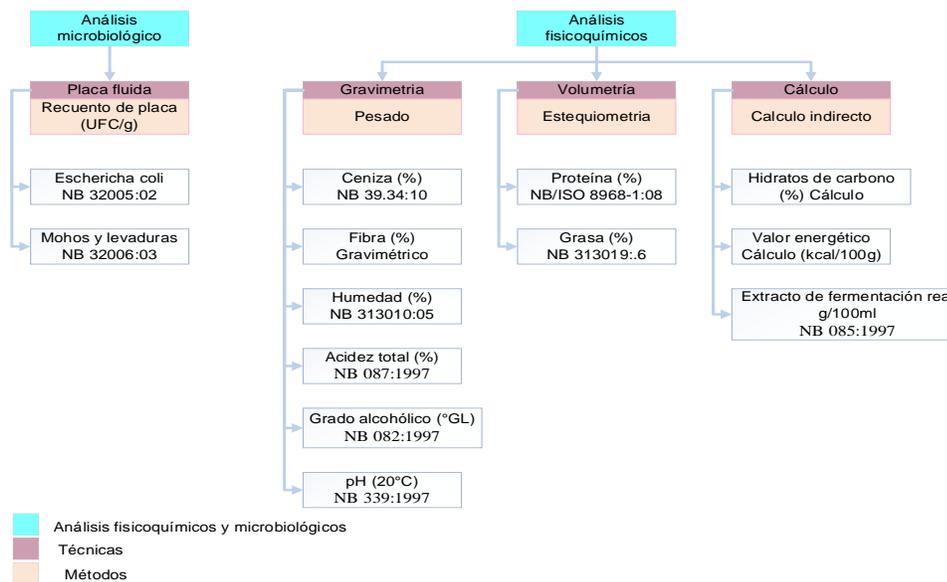


Fuente: (CEANID, 2022)

Figura 3.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua de grifo

3.5.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza tipo American Pale Ale

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza tipo American Pale Ale se muestran en la figura 3.3



Fuente: (CEANID, 2022)

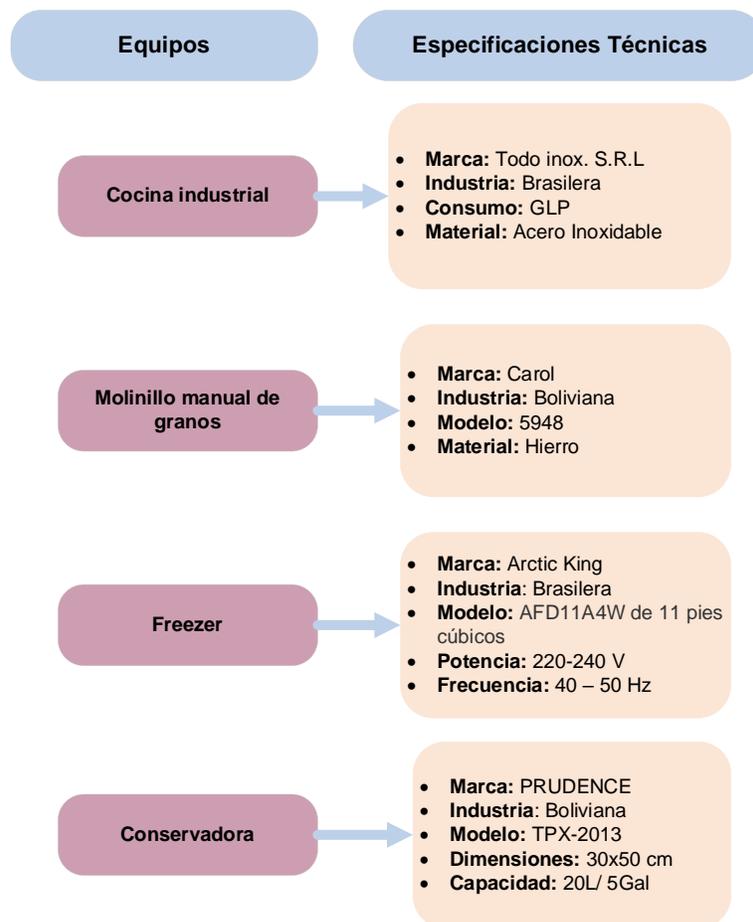
Figura 3.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de cerveza tipo American Pale Ale

3.6 Descripción de equipos, instrumentos, material de laboratorio y utensilios

Para el desarrollo de la parte experimental de la elaboración de cerveza American Pale Ale se utilizan los siguientes equipos de proceso, instrumentos, materiales de laboratorios y utensilios, que se detalla a continuación.

3.6.1 Equipos de proceso para la elaboración de Cerveza tipo American Pale Ale

En la figura 3.4, se detallan los equipos de proceso utilizados para el desarrollo de la parte experimental de la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.

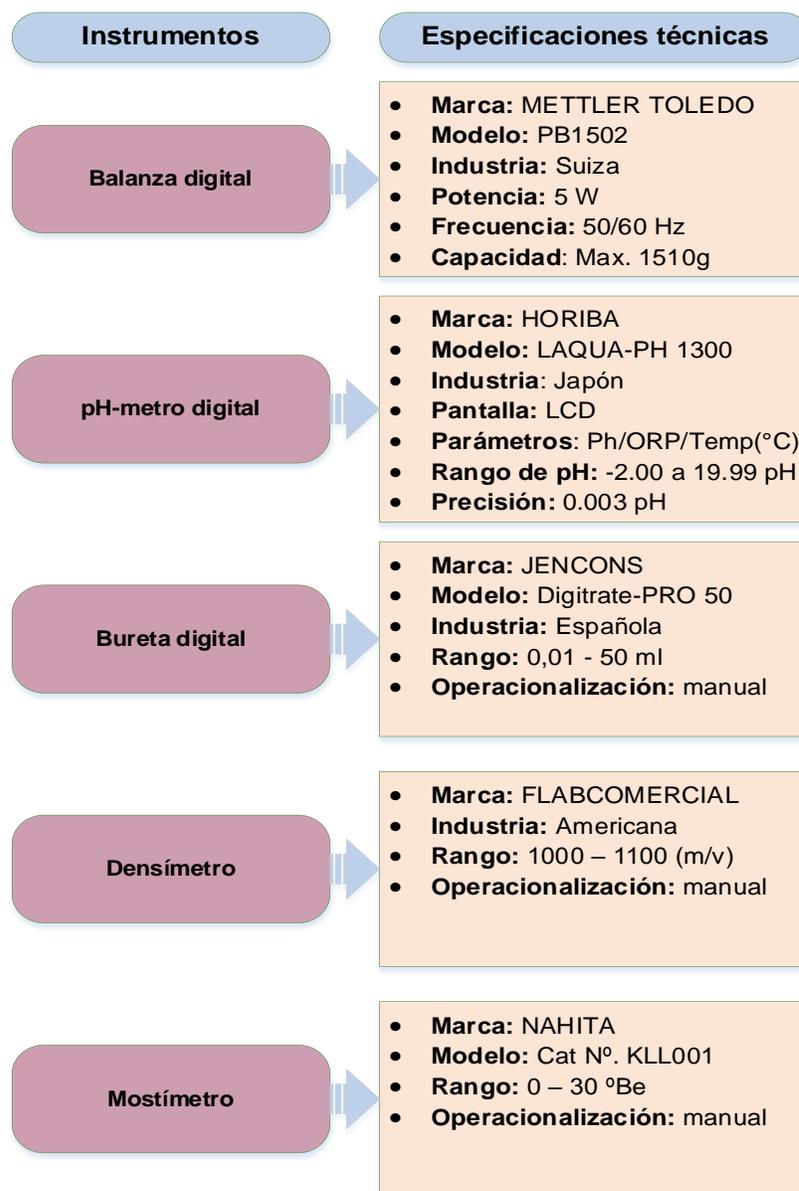


Fuente: (LACIA, 2022)

Figura 3.4 Equipos de proceso para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.5, se detallan los instrumentos de laboratorio, utilizados para el desarrollo de la parte experimental de la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.



Fuente: (LACIA, 2022)

Figura 3.5 Instrumentos de laboratorio para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

3.6.3 Material de laboratorio

La tabla 3.1 muestra el material de laboratorio, utilizados en la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.

Tabla 3.1

Material de laboratorio

Material	Cantidad	Capacidad	Tipo material
Termómetro	1	0 - 100 °C	Vidrio
Vaso de precipitación	1	100 ml	Vidrio
Matraz Erlenmeyer	2	100 ml	Vidrio
Probeta	1	100 ml	Plástico
Pipeta	1	10 ml	Vidrio

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4 Utensilios

En la tabla 3.2 se detalla los utensilios, utilizados en la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.

Tabla 3.2

Utensilios de cocina

Utensilios	Cantidad	Capacidad	Tipo material
Cuchara	1	Mediana	Acero inoxidable
Jarra	1	1000 ml	Plástico
Colador	1	Pequeño	Plástico
Ollas	2	5 - 10 L	Acero inoxidable
Colador	1	Pequeño	Plástico
Vasos	3	200 ml	Plástico
Air Locks	4	-	Plástico
Balde	8	4 - 8 L	Plástico

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Descripción de insumos alimentarios y reactivos químicos

Los insumos alimentarios de grado alimentario y reactivos químicos de laboratorio que son utilizados en la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale, se detallan a continuación.

3.7.1 Insumos alimentarios

La tabla 3.3 detalla los insumos alimentarios utilizados en la formulación de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.

Tabla 3.3

Insumos alimentarios

Insumo	Procedencia	Marca
Azúcar	Bermejo	I.A.B.S.A
Malta Pale Ale	La Paz	Rebelión
Malta Carahell	La Paz	Rebelión
Levadura Safe Ale S-04	La Paz	Fermentis
Lúpulo Cascade	Cochabamba	Kalsec ®
Lúpulo Centennial	Cochabamba	Kalsec ®
Irish Moss	La Paz	Rebelión

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2 Reactivos químicos de laboratorio

La tabla 3.4 muestra los reactivos químicos de laboratorio utilizados en el producto terminado de cerveza tipo American Pale Ale.

Tabla 3.4

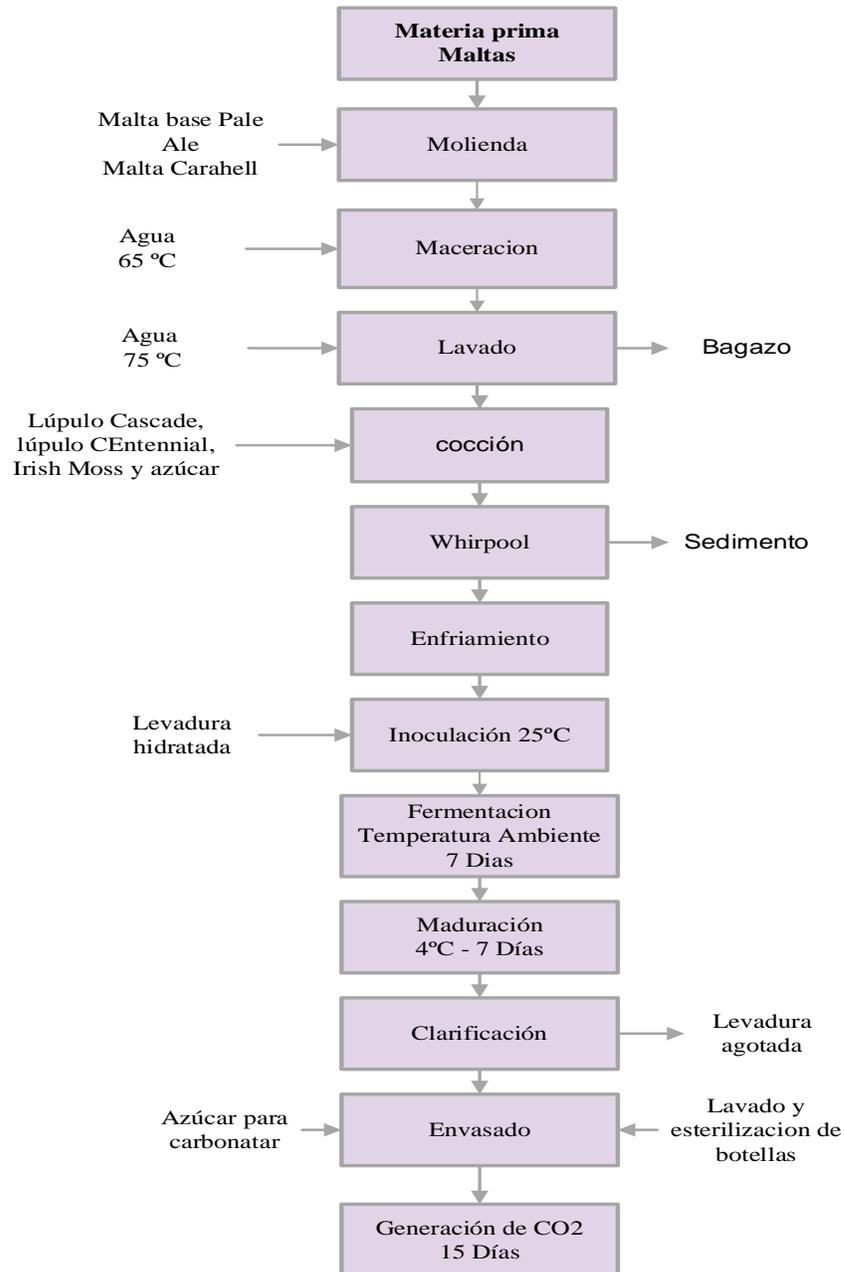
Reactivos químicos de laboratorio

Reactivo	Concentración	Procedencia
Hidróxido de sodio (NaOH)	0,1 N	Biopack-Bolivia.
Fenoltaleína	0,1 %	Biopack-Bolivia.

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Diagrama del proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

La figura 3.6, muestra el diagrama del proceso para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Diagrama de proceso de elaboración de cerveza American Pale Ale

3.8.1 Descripción del diagrama de flujo para la Elaboración de Cerveza American Pale Ale

El proceso de elaboración a nivel experimental de cerveza artesanal tipo American Pale Ale se describe a continuación.

3.8.1.1 Materia prima

La materia prima utilizada para la elaboración de cerveza es malta base Pale Ale y malta Carahell para coadyuvar en el color de la cerveza.

3.8.1.2 Molienda

La molienda en seco de la malta; se realiza en un molinillo manual de granos, con la finalidad de romper los granos para facilitar la extracción de azúcares fermentables, para que la malta triturada entre en contacto con el agua en la etapa de maceración.

3.8.1.3 Maceración

Es una de las etapas importantes del proceso donde se realiza la extracción de los azúcares para después ser transformados en alcohol.

En este proceso se mezcla el agua a temperatura de 70°C con las maltas molidas dentro de la conservadora con una tela filtro malla, manteniendo cerrada la conservadora con el fin de mantener la temperatura de 63 - 65 °C y evitar pérdidas de calor por el tiempo de 60 min. La relación de agua y malta es de 7:1.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.7 Maceración



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8 Medición temperatura

3.8.1.4 Lavado

El lavado del grano consiste en agregar agua a 75 °C con el fin de extraer los azúcares que aún permanecen en el bagazo después de haber extraído el mosto de la maceración.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9 Lavado

3.8.1.5 Cocción

Es la etapa donde se concentra el mosto, aumentando sus sólidos solubles (°Brix) y su densidad; como también se realiza la esterilización del mismo.

En esta parte del proceso se adiciona el 3.5 % azúcar (240 g de azúcar para 5000 g de mosto), lúpulo Cascade y lúpulo Centennial durante la cocción en tres diferentes tiempos; a los 30 minutos 3 g de lúpulo Cascade, a los 45 minutos 3,5 g de lúpulo Centennial y para finalizar a los 55 minutos 3,5 g de lúpulo Cascade; tomando en cuenta los tiempos de agredo de los lúpulos, estos proporcionaran, sea aroma o amargor al producto, para mejorar la formación de turbidez se agrega 1g de Irish Moss para coadyubar la clarificación de la cerveza.



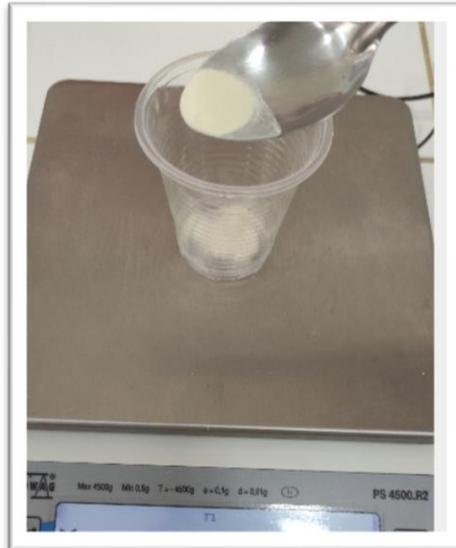
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Adición de lúpulo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Adjunto



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12 Irish Moss

3.8.1.6 Whirlpool

Es parte del proceso que se realiza después de la cocción, consiste en la agitación circular en la olla con la ayuda de una paleta o cucharon, con la finalidad de ayudar a decantar el lúpulo ya agotado y el polvillo que queda de la malta.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Whirlpool

3.8.1.7 Enfriamiento

El enfriamiento del mosto se realiza en baño maría en el menor tiempo posible para evitar la contaminación del mismo. Se debe alcanzar una temperatura entre 18 y 25 °C que es óptimo para la inoculación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14 Enfriado

3.8.1.8 Inoculación

Para la inoculación se activa la levadura mediante la hidratación con 50 ml de agua pasteurizada entre 18 a 25°C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15 Inoculación

Se lleva al fermentador el mosto previamente acondicionado a la temperatura de 18 – 25 °C, se agrega la levadura Safe Ale S-04 previamente hidratada y se agita manualmente para oxigenar el mosto y favorecer al desarrollo de las levaduras. Se dejó el fermentador bien cerrado con una trampa de aire (Airlock) para evitar que entre oxígeno y permitir que se libere el anhídrido carbónico generado por las levaduras.

3.8.1.9 Fermentación

Es la etapa más importante del proceso de la elaboración de cerveza, durante la fermentación las levaduras comienzan a multiplicarse y es el momento propicio para la contaminación del mosto con otras bacterias en el fermentador (o si el mismo no estuviera bien sanitizado) que perjudican a la actividad de levaduras en el proceso de fermentación.

En la etapa final del proceso las levaduras eliminan subproductos que empeoran la cerveza como esteroides y diacetilo.

La fermentación se realiza durante 7 días, se coloca el fermentador en un área oscura del laboratorio para evitar los cambios de temperatura generada por la luz directa, durante el proceso fermentativo se realizó la toma de datos de °Brix, °Be, pH y acidez volátil para la determinación del porcentaje de alcohol. (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16 Fermentación

3.8.1.10 Maduración

Después de la fermentación se realizó un trasvase para extraer las levaduras que sedimentan, el líquido resultante a temperaturas cercanas de 4 °C con la finalidad de estabilizar y clarificar la cerveza donde los sabores y aromas se armonizan y las levaduras junto a las proteínas (que se encuentran en suspensión) se ubican en el fondo del fermentador, facilitando su remoción.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.17 Maduración



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.18 Traspase

3.8.1.11 Clarificación

La cerveza debe ser filtrada pero debido a la falta de equipos de presión, la clarificación de la cerveza se llevó a cabo mediante decantación en frío a 4 °C.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.19 Segundo trasvase

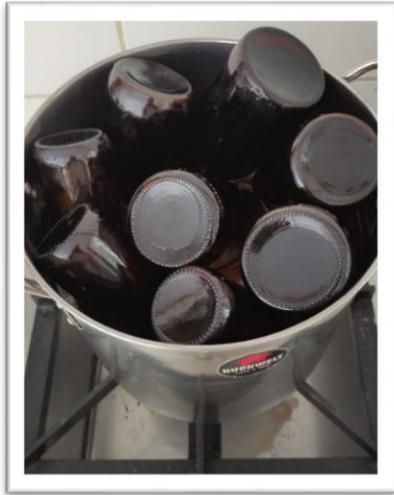


Fuente: Elaboración propia
Figura 3.20 Cerveza clarificada

3.8.1.12 Envasado

La cerveza elaborada no es pasteurizada, porque se realiza una carbonatación natural. Para lograr esta operación, se esteriliza las botellas mediante ebullición directa en agua durante 30 minutos, se realiza un almíbar que será añadido a la cerveza antes del envasado (7g azúcar / L cerveza).

El envasado se utiliza un balde con un grifo para dispensar el líquido a las botellas evitando la exposición al aire y oxidación de la cerveza, se tapan las botellas con tapas corona sanitizadas con alcohol al 70 % utilizando una tapadora manual con palanca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21 Esterilización de botellas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22: Material para embotellado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.23 Envasado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.24 Tapado y sellado

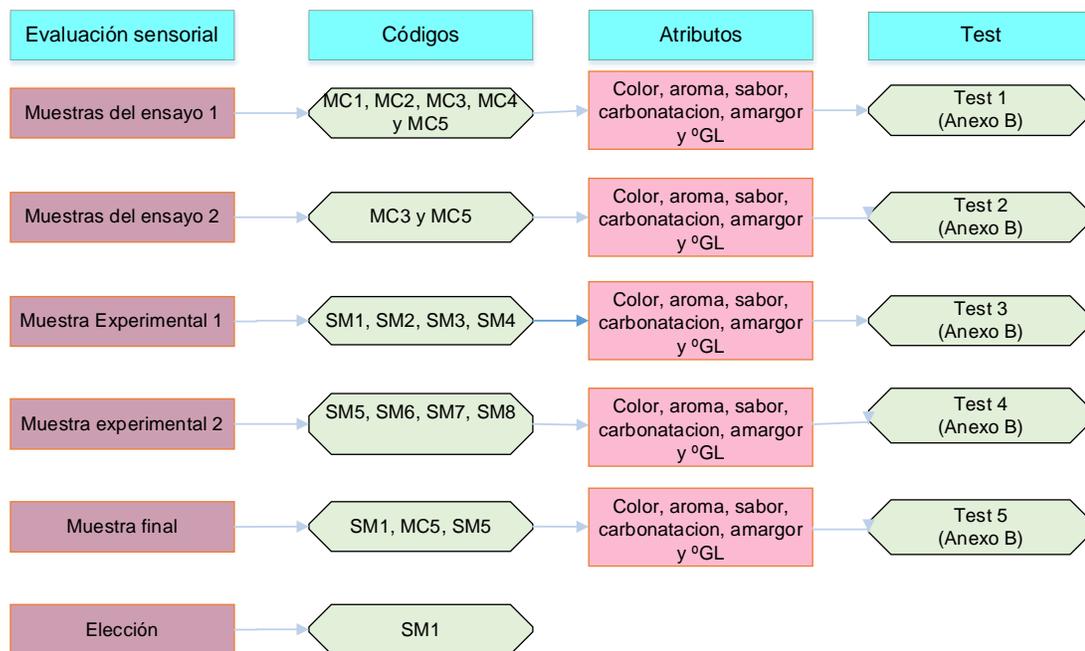
3.8.1.13 Generación de dióxido de carbono

Las botellas envasadas se almacenan durante quince días con el fin de generar el anhídrido carbónico en la cerveza, debido al suministro de azúcar que se añade antes del envasado para que las levaduras que aún están presentes en la cerveza puedan consumir el mismo y generar el gas (CO₂). Después de 15 días la cerveza adquiere la carbonatación deseada, concluyendo el proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale. Al producto terminado se realizó el análisis de control de calidad, medición de color y grados de amargo. (Anexo G)

3.9 Análisis sensorial de los alimentos

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

La figura 3.25, muestra las evaluaciones sensoriales realizadas para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale, con el objeto de caracterizar las propiedades organolépticas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.25 Evaluaciones sensoriales de cerveza tipo American Pale Ale.

3.10 Diseño experimental

El diseño experimental es considerado parte del proceso científico siendo esta etapa el lugar donde se establece la forma en la que funcionan los procesos. Este aprendizaje se lo realiza a través de una serie de actividades donde se realizan conjeturas sobre el proceso, para realizar experimentos generando de esta manera datos del proceso específico utilizando estos para realizar nuevas conjeturas que permiten nuevos experimentos, siendo su comportamiento cíclico. (Montgomery, 2004)

3.11 Diseño factorial 2^3

El diseño factorial 2^3 es un diseño de 3 factores, cada uno con 2 niveles y consta de 8 combinaciones. Geométricamente el diseño es un cubo, cuyas esquinas son las 8 combinaciones. Este diseño permite estimar los 3 efectos principales (A, B, y C), las tres combinaciones de dos factores (AB, AC, BC) y la interacción de los tres factores

(ABC) (Gonzales Y. , 2015). El diseño factorial utilizado en el presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

$$2^k$$

Dónde:

2 = número de niveles

k = número de variables

Según (Gutierrez & De la Vara, 2018), un modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática. En la ecuación 3.1, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

(Ecuación 3.1)

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C$$

Dónde:

β = coeficientes de regresión

$X_A X_B X_C$ = Valor codificado del factor de diseño.

3.11.1 Diseño factorial 2^3 para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

El diseño factorial en la etapa de maceración y cocción del mosto para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale, es el siguiente:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ corridas/prueba}$$

Para tal efecto, las variables propuestas y sus niveles de variación son los siguientes:

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

B = Tiempo de concentración del mosto (Hrs) (B) = 2 niveles

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

La tabla 3.5, se muestra la matriz del diseño factorial aplicado en la etapa de maceración y cocción del mosto para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale, conformado por tres variables: temperatura de maceración (A), tiempo de concentración del mosto (B) y adjunto azucarero (C).

Tabla 3.5

Matriz de diseño factorial aplicado el proceso de fermentación alcohólica

Combinaciones De tratamientos	Variables			Interacción				Respuesta
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y_i
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y_1
A	+	-	-	-	-	+	+	Y_2
B	-	+	-	-	+	-	+	Y_3
Ab	+	+	-	+	-	-	-	Y_4
C	-	-	+	+	-	-	+	Y_5
Ac	+	-	+	-	+	-	-	Y_6
Bc	-	+	+	-	-	+	-	Y_7
Abc	+	+	+	+	+	+	+	Y_8

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

Y_i = Porcentaje de alcohol (%).

En la tabla 3.6, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo), a ser aplicado conformado por tres variables: temperatura de maceración (A), tiempo de concentración del mosto (B) y adjunto azucarero (C).

Tabla 3.6

Niveles de variación de factores de fermentación alcohólica

Factores	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura de maceración (A)	°C	63	68
Tiempo de concentración del mosto (B)	Hrs	1	1,5
Adjunto azucarero (C)	%	1,5	3,5

Fuente: Elaboración propia.

3.12 Operacionalización de variables para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

En el cuadro 3.1 se detalla la operacionalización de las variables independiente y dependientes del presente trabajo experimental elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.

Cuadro 3.1
Operacionalización de las variables para de cerveza tipo American Pale ale

Hipótesis	Variable		Descripción de variable	Subvariables	Indicadores
La metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica a ser aplicado permitirá obtener cerveza tipo American Pale Ale de calidad para la provincia Cercado de Tarija.	Variable independiente	Proceso de fermentación alcohólica	Es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno), donde algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono para obtener etanol, dióxido de carbono (CO ₂) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. (García Carrion, 2015)	Control de sólidos solubles	(°brix)
				Control de acidez (ácido láctico)	(%)
				Control de pH	-
				Control de tiempo de fermentación	7-10(días)
				Control de azúcares	(°Be)
	Variable dependiente	Cerveza tipo American Pale Ale	Bebidas alcohólicas elaboradas con cebada germinada (malta), lúpulo, levadura y agua (CodexStan192, 2015). Pág. 46	Humedad	96,60(%)
				Hidratos de carbono	3,18 (%)
				Proteína total	0,35 (%)
				Grasas	n.d
				Fibra	n.d
				Acidez total	0,24 %
				Acidez volátil	0,01 %
				Extracto de fermentación real	1,29 %
				Extracto aparente	1,28 g/100g
				Grado de fermentación real	88,30 %
				Extracto de mosto original	11,05 °Plato
				PH	4
				Nitrógeno total	0,06 %
Densidad relativa	1,0050				
Valor energético	455,87 (kcal/100g)				
Mohos y levaduras	6.3 x 10 ³ UFC/g				
Escherichia coli	< 1 x 10 ¹ UFC/g				

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV
RESULTADOS Y
DISCUSION

4.1 Caracterización de las maltas y agua de grifo

En la caracterización de las maltas, está en base a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales se detallan a continuación:

4.1.1 Análisis fisicoquímico de la malta base pale ale

La tabla 4.1, muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la malta base Pale Ale de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímico de la malta base Pale Ale

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,73
Fibra	%	5,62
Grasa	%	3,02
Hidratos de carbono	%	67,56
Humedad	%	6,85
Proteína total (Nx6,25)	%	15,22
Valor energético	Kcal/100g	358,30

Fuente: (CEANID, 2022)

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la malta base Pale Ale, presenta: Ceniza 1,73 %, Fibra 5,62 %, Grasa 3,02 %, Hidratos de carbono 67,56 %, Humedad 6,85 %, Proteína total (Nx6,25) 15,22 % y Valor energético 358,30 Kcal/100g.

4.1.2 Análisis microbiológico de la malta base Pale Ale

La tabla 4.2, indica los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la malta base Pale Ale de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.2*Análisis microbiológico de la malta base Pale Ale*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Echerichia coli	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	4,1 x 10 ¹

Fuente: (CEANID, 2022) (*) = No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la malta base Pale Ale presenta: Echerichia coli <1,0 x 10¹ UFC/g (*) y Mohos y levaduras 4,1 x 10¹ UFC/g.

4.1.3 Análisis fisicoquímico de la malta carahell

La tabla 4.3, muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la malta Carahell de datos extraídos Anexo del A.

Tabla 4.3*Análisis fisicoquímico de la malta Carahell*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,59
Fibra	%	2,85
Grasa	%	1,55
Hidratos de carbono	%	78,92
Humedad	%	6,85
Proteína total (Nx6,25)	%	8,28
Valor energético	Kcal/100g	362,75

Fuente: (CEANID, 2022)

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la malta Carahell presenta: Ceniza 1,59 %, Fibra 2,84 %, Grasa 1,55 %, Hidratos de carbono 78,92 %, Humedad 6,85 %, Proteína total (Nx6,25) 8,28 % y Valor energético 362,75 Kcal/100g.

4.1.4 Análisis microbiológico de la malta Carahell

La tabla 4.4, muestra los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la malta Carahell de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.4

Análisis microbiológico de la malta Carahell

Microorganismos	Unidad	Resultado
Echerichia coli	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: (CEANID, 2022) (*) = No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la malta Carahell presenta: Echerichia coli <1,0 x 10¹ (*) UFC/g y Mohos y levaduras <1,0 x 10¹ (*) UFC/g.

4.1.5 Análisis fisicoquímico del agua de grifo

La tabla 4.5, indica los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del agua de grifo, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.5

Análisis fisicoquímico del agua de grifo

Parámetros	Unidad	Resultado
Calcio total	%	6,59
Cloruros	%	5,0
Magnesio total	%	3,17
Sulfatos	%	10,7

Fuente: (CEANID, 2022)

En la tabla 4.5, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico que el agua de grifo presenta: Calcio total 6,59 %, Cloruros 5,0 %, Magnesio total 3,17 %, Sulfatos 10,7 %.

4.1.6 Análisis microbiológico del agua de grifo

La tabla 4.6, detalla los resultados obtenidos del análisis microbiológico del agua de grifo, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.6

Análisis microbiológico del agua de grifo

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	<1 (*)
Echerichia coli	UFC/g	<1 (*)

Fuente: (CEANID, 2022) (*) = No se observa desarrollo de colonias

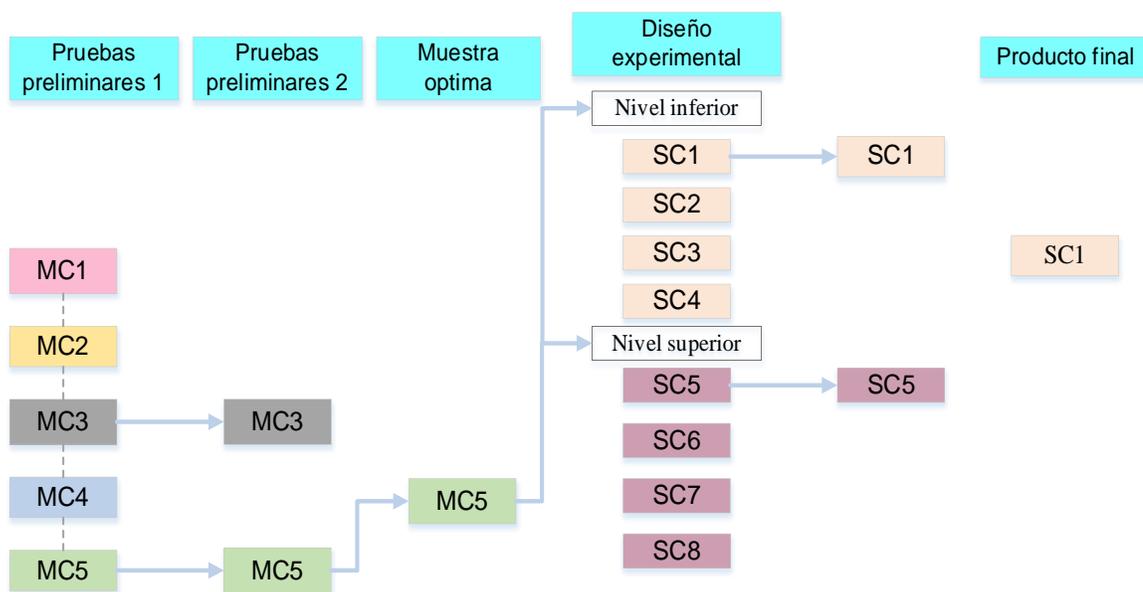
En la tabla 4.6, se puede observar los resultados del análisis microbiológico que el agua de grifo presenta: Coliformes totales <1 (*) UFC/g, Echerichia coli <1 (*) UFC/g y

4.2 Caracterización de las variables de proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

Para la caracterización de las variables de proceso en la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale, se toma en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1 Ensayos de muestras para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

Para desarrollar la parte experimental de la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale, se procede a desarrollar distintos ensayos con el fin de obtener una metodología experimental. Para tal efecto, se considera cinco muestras de cerveza con diferente tipo de variaciones como ser: variación de malta, lúpulo, adjunto azucarero y temperatura de maceración, con la finalidad de tener una muestra optima, como se detalla en la figura 4.1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1 Ensayos, diseño experimental y producto final de cerveza tipo American Pale Ale.

4.2.2 Variación en la dosificación de materia prima e insumos para los cinco ensayos de la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

Pruebas preliminares 1									
MC1(%)		MC2(%)		MC3(%)		MC4(%)		MC5(%)	
- Agua	86,99	- Agua	86,99	- Agua	84,65	- Agua	84,33	- Agua	85,57
- Malta pale ale	10	- Malta pale ale	11,17	- Malta pale ale	10,2	- Malta pale ale	10,70	- Malta pale ale	11,36
- Malta carahell	2,82	- Malta carahell	1,67	- Malta carahell	2,25	- Malta carahell	1,74	- Malta carahell	1,26
- Lúpulo	0,13	- Lúpulo	0,13	- Lúpulo	0,12	- Lúpulo	0,12	- Lúpulo	0,11
- Irish moss	0,02	- Irish moss	0,01	- Irish moss	0,02	- Irish moss	0,01	- Irish moss	0,01
- Levadura	0,04	- Levadura	0,04	- Levadura	0,04	- Levadura	0,04	- Levadura	0,04
				- Adjunto	2,69	- Adjunto	3,05	- Adjunto	1,64

Fuente: Elaboración propia.

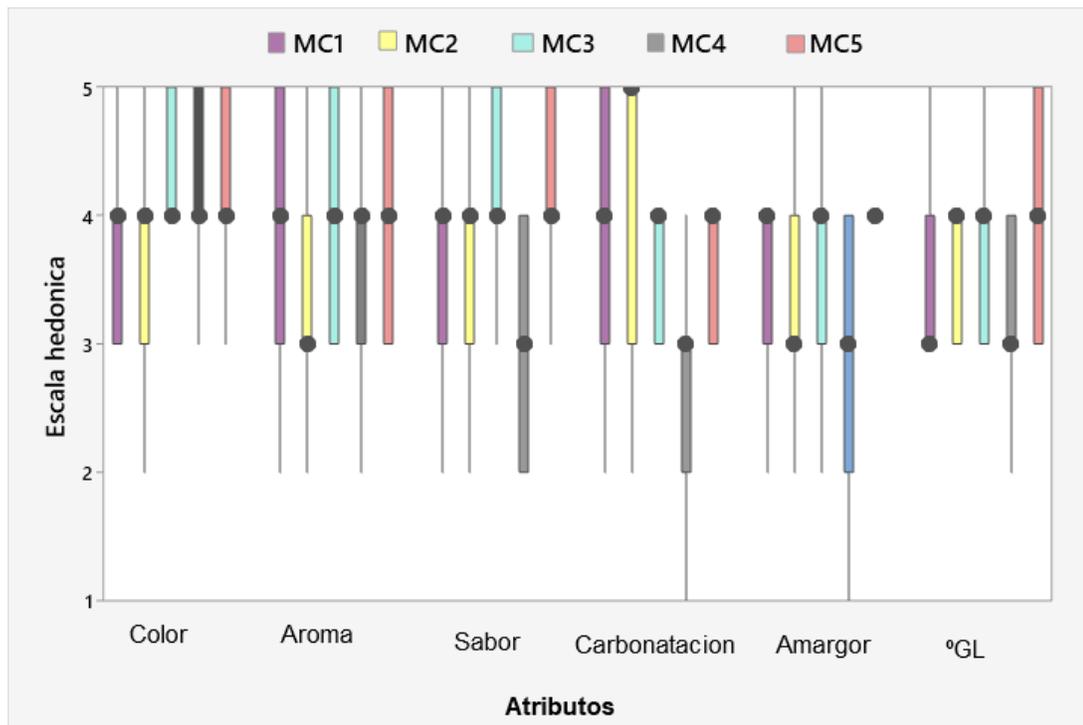
Figura 4.2 Variación en la dosificación de materia prima e insumos para cinco ensayos.

Como se observa en la figura 4.2, se procede a realizar la variación de materia prima e insumos en cada una de las pruebas preliminares para luego realizar evaluación

sensorial de las mismas donde se evalúan los atributos; color, aroma, sabor, carbonatación, amargor y °GL utilizando una escala hedónica de cinco puntos.

4.2.3 Estadístico caja y bigote de los atributos de las muestras de las pruebas preliminares 1

La figura 4.3, muestra los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos (Anexo C), para atributo color (tabla C.2.1), aroma (tabla C.3.1), sabor (tabla C.4.1), carbonatación (tabla C.5.1), amargor (tabla C.6.1) y °GL (tabla C.7.1)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3 Caja y bigote de atributos de las muestras de las pruebas preliminares 1

En la figura 4.3, se puede observar la caja y bigote de las muestras MC1, MC2, MC3, MC4 y MC5 en función a los atributos de las medianas y posición de la caja: color 4,0 (MC3); aroma 4,0 (MC3 y MC5); sabor 4,0 (MC3 y MC5); carbonatación 4,0 (MC1, MC3 y MC5); amargor 4,0 (MC1, MC3 y MC5) y °GL 4,0 (MC2, MC3 y MC5). Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos se determina que las muestras MC3 y MC5 tienen una mediana de puntuaciones mayor a 4,0 teniendo.

En el análisis estadístico de varianza (Anexo C) en función de los atributos: color (tabla C.2.2), aroma (tabla C.3.2) sabor (tabla C.4.2), carbonatación (tabla C.5.2), amargor (tabla C.6.2) y °GL (tabla C.7.2) se puede evidenciar que si existe diferencia significativa en los atributos color, sabor, carbonatación y amargor debido a que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada mientras que en los atributos aroma y °GL no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo cual se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.1.1 Estadístico de Tukey para atributo color de las pruebas preliminares 1

En la tabla 4.7, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C.2 (tabla C.2.4)

Tabla 4.7

Estadístico de Tukey para el atributo color de las muestras preliminares 1

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
MC3 - MC5	0,25	$0,25 < 0,35$	No significativo
MC3 - MC4	0,33	$0,33 < 0,35$	No significativo
MC3 - MC1	0,91	$0,91 > 0,35$	No significativo
MC3 - MC2	1,08	$1,08 > 0,35$	Significativo
MC5 - MC4	0,08	$0,08 < 0,35$	No significativo
MC5 - MC1	0,66	$0,66 > 0,35$	No significativo
MC5 - MC2	0,83	$0,83 > 0,35$	No significativo
MC4 - MC1	0,58	$0,58 > 0,35$	No significativo
MC4 - MC2	0,75	$0,75 > 0,35$	No significativo
MC1 - MC2	0,16	$0,16 < 0,35$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.7, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras MC3 - MC2. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos MC3 - MC5, MC3 - MC4, MC3 - MC1, MC5 - MC4, MC5 - MC1, MC5 - MC2, MC4 - MC1, MC4 - MC2 y MC1 - MC2 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.1.2 Estadístico de Tukey para atributo sabor de las pruebas preliminares 1

La tabla 4.8, muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos de Anexo C.4 (tabla C.4.4).

Tabla 4.8

Estadístico de Tukey para el atributo sabor de las pruebas preliminares

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
MC3 - MC5	0	$0 > 0,33$	No significativo
MC3 - MC2	0,42	$0,42 < 0,33$	No significativo
MC3 - MC1	0,58	$0,58 > 0,33$	No significativo
MC3 - MC4	1	$1 > 0,33$	Significativo
MC5 - MC2	0,42	$0,42 > 0,33$	No significativo
MC5 - MC1	0,58	$0,58 > 0,33$	No significativo
MC5 - MC4	1	$1 > 0,33$	Significativo
MC2 - MC1	0,17	$0,16 < 0,33$	No significativo
MC2 - MC4	0,58	$0,58 > 0,33$	No significativo
MC1 - MC4	0,42	$0,41 > 0,33$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.8, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras MC3 - MC4, MC5 - MC4. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos MC3 - MC5, MC3 - MC2, MC3 - MC1, MC5 - MC2 y MC5 - MC1 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.1.3 Estadístico de Tukey para atributo carbonatación de las pruebas preliminares 1

La tabla 4.9, indica los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo carbonatación de datos extraídos de Anexo C.5 (tabla C.5.4).

Tabla 4.9***Estadístico de Tukey para el atributo carbonatación de las pruebas preliminares 1***

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
MC1 - MC2	0	$0 > 0,53$	No significativo
MC1 - MC3	0,42	$0,42 > 0,53$	No significativo
MC1 - MC5	0,42	$0,42 < 0,53$	No significativo
MC1 - MC4	1,08	$1,08 > 0,53$	Significativo
MC2 - MC3	0,42	$0,42 < 0,53$	No significativo
MC2 - MC5	0,42	$0,42 < 0,53$	No significativo
MC2 - MC4	1,08	$1,08 > 0,53$	Significativo
MC3 - MC5	0	$0 < 0,53$	No significativo
MC3 - MC4	0,66	$0,66 > 0,53$	No significativo
MC5 - MC4	0,66	$0,66 > 0,53$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.9, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras MC1 - MC4, MC2 - MC4. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos MC1 - MC2, MC1 - MC3, MC1 - MC5, MC2 - MC3, MC2 - MC5, MC3 - MC5, MC3 - MC4 y MC5 - MC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.1.4 Estadístico de Tukey para atributo amargor de las pruebas preliminares 1

En la tabla 4.10 se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo amargor de datos extraídos de Anexo C.6 (tabla C.6.4).

Tabla 4.10***Estadístico de Tukey para el atributo carbonatación de las pruebas preliminares 1***

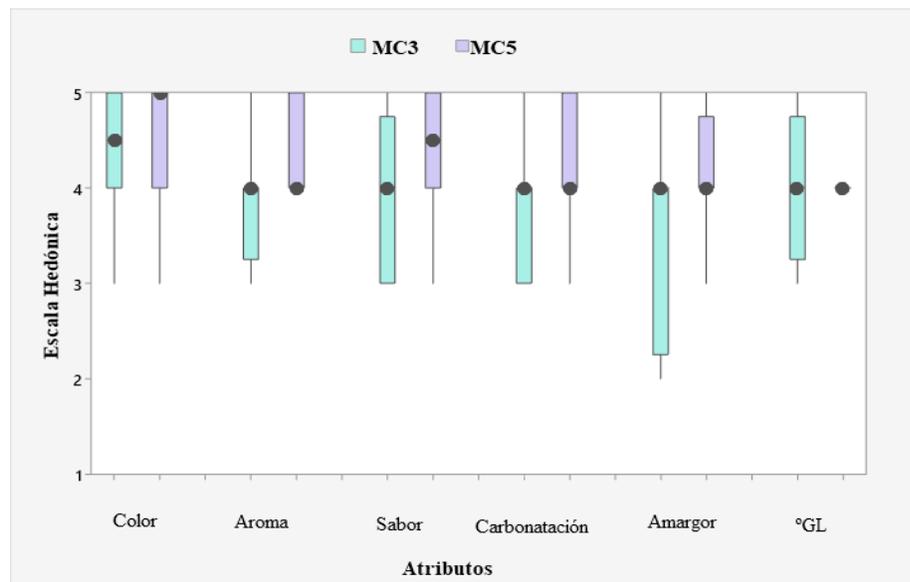
Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
MC5 - MC3	0,17	$0,17 > 0,53$	No significativo
MC5 - MC1	0,58	$0,58 > 0,53$	No significativo
MC5 - MC2	0,67	$0,67 > 0,53$	No significativo
MC5 - MC4	1,17	$1,17 > 0,53$	Significativo
MC3 - MC1	0,42	$0,42 < 0,53$	No significativo
MC3 - MC2	0,5	$0,5 < 0,53$	No significativo
MC3 - MC4	1	$1 > 0,53$	Significativo
MC1 - MC2	0,08	$0,08 < 0,53$	No significativo
MC1 - MC4	0,58	$0,58 > 0,53$	No significativo
MC2 - MC4	0,5	$0,5 < 0,53$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.10, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras MC5 - MC4 y MC3 - MC4. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos MC5 - MC3, MC5 - MC1, MC5 - MC2, MC3 - MC1, MC3 - MC2, MC1 - MC2, MC1 - MC4 y MC2 - MC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2 Estadístico caja y bigote de los atributos de las muestras de las pruebas preliminares 2

En la figura 4.4, se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos (Anexo C), para atributo color Anexo C.8 (tabla C.8.1), aroma Anexo C.9 (tabla C.9.1), sabor Anexo C.10 (tabla C.10.1), carbonatación Anexo C.11 (tabla C.11.1), amargor Anexo C.12 (tabla C.12.1) y °GL Anexo C.13 (tabla C.13.1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4 Caja y bigote de atributos de las muestras de las pruebas preliminares 2

En la figura 4.4, se puede observar los resultados de la caja y bigote de las muestras MC3 y MC5 en función a los atributos de las medianas y posición de la caja donde se determina que la muestra MC5 para los atributos color, aroma, sabor, carbonatación, amargor y °GL tiene una mediana de puntuación mayor a 4,0 en una escala de 5 puntos. Se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que no existe

diferencia significativa entre las muestras en función de los atributos evaluados para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3 Diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica de cerveza tipo American Pale Ale

En base a la formulación de la muestra arquetipo MC5, se procedió a realizar el diseño factorial 2^3 (tabla 3.5) donde se tomaron en cuenta variables: temperatura de maceración (63°C - 68°C), tiempo de cocción (1h - 1,5h) y adjunto azucarero (1,5 % - 3,5 %); así mismo, la variable respuesta medida es: porcentaje de alcohol.

4.3.1 Variable respuesta del porcentaje de alcohol de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.11, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño 2^3 del programa estadístico StatGraphics (Centurion XVI) para Windows en el proceso de fermentación alcohólica, siendo la variable respuesta es el porcentaje de alcohol de datos extraídos Anexo E (tabla E.1). Para la determinación del porcentaje de alcohol se utilizó el método por densidad relativa de datos extraídos del Anexo E (tabla E.2)

Tabla 4.11

Análisis de varianza de la variable respuesta porcentaje de alcohol

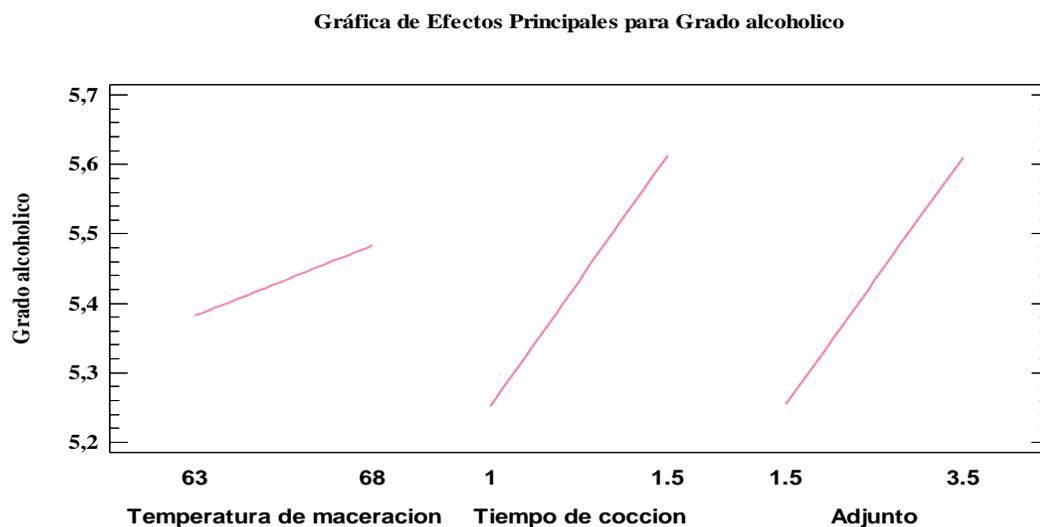
Fuente de variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados libertad (GI)	Cuadrado Medio (CM)	F cal	F tab
A: Temperatura de maceración	0,0410062	1	0,0410062	1,07	0,3315
B: Tiempo de cocción	0,522006	1	0,522006	13,60	0,0061(*)
C: Adjunto	0,507656	1	0,507656	13,23	0,0066(*)
AB	0,00390625	1	0,00390625	0,10	0,7579
AC	0,514806	1	0,514806	13,41	0,0064(*)
BC	1,55626	1	1,55626	40,55	0,0002(*)
ABC	0,345156	1	0,345156	8,99	0,0171(*)
Error total	0,30705	8	0,0383813		
Total	3,79784	15			

Fuente: Elaboración propia.

(*) Significativo

En la tabla 4.11, según el análisis de varianza se observa que para los factores: (B, C) e interacciones (AC, BC y ABC) existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación alcohólica para la obtención de cerveza tipo American Pale Ale; en comparación con el factor A e interacción AB, no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$ se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.5, se puede observar la gráfica de efectos principales con relación al porcentaje de alcohol.

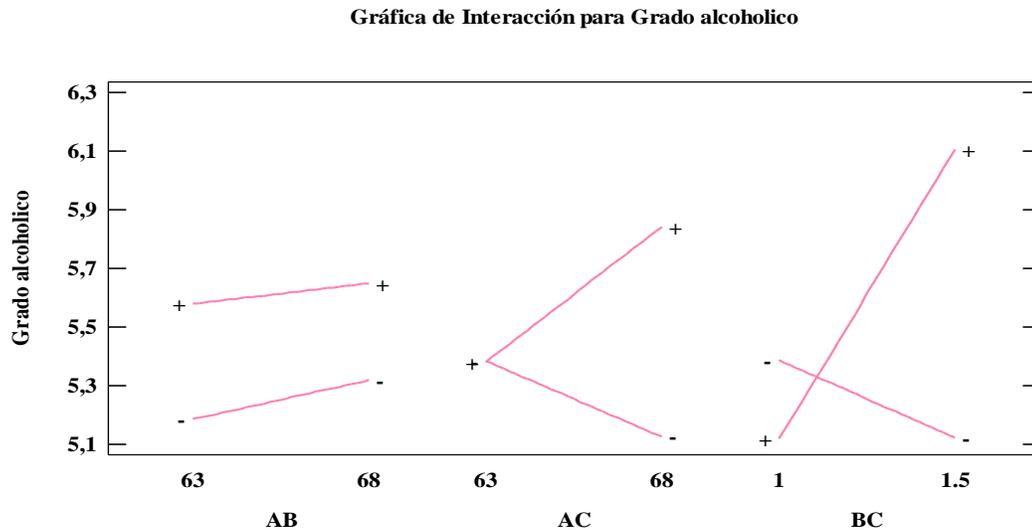


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5 Efectos principales con relación al porcentaje de alcohol

En la figura 4.5, se observa que los factores: tiempo de cocción (1h - 1,5h) y adjunto (1,5% - 3,5%) incide significativamente en el porcentaje de alcohol en un nivel alto y bajo; en comparación con la temperatura de maceración (63°C - 68°C) no inciden significativamente en el porcentaje de alcohol en sus niveles alto y bajo.

En la figura 4.6 se muestra la gráfica de interacciones con relación al porcentaje de alcohol.

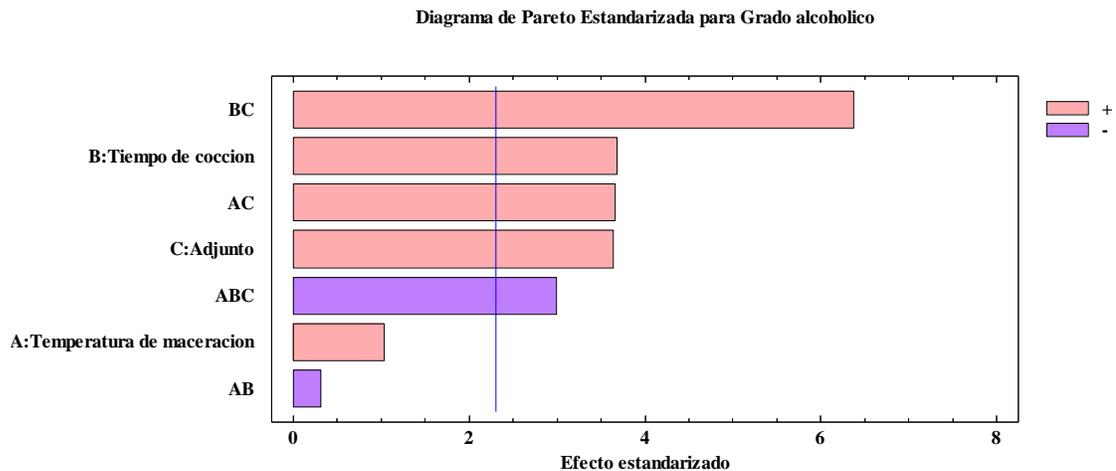


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6 Interacción de factores para porcentaje de alcohol

Según la figura 4.6, se observa que la interacción BC (tiempo de cocción - adjunto) es significativa debido a que los factores interaccionan entre sí, e influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo, la interacción AC (temperatura de maceración - adjunto) muestra una interacción leve entre los factores, poco significativa para un nivel alto y bajo del porcentaje de alcohol. En la interacción AB (temperatura de maceración - tiempo de cocción) se observa que los factores no interaccionan entre sí, por lo tanto, no influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo

La figura 4.7, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de alcohol, datos extraídos de Anexo E (tabla E.1). En consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical de referencia con un valor 2,306 por lo tanto las barras que sobrepasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.7 Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de alcohol

En la figura 4.7, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: tiempo de cocción (B), adjunto (C) y las interacciones (BC), (AC) y (ABC), son estadísticamente significativos debido a que las barras de factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; en comparación con el factor temperatura de maceración (A) y la interacción (AB), que no son estadísticamente significativos.

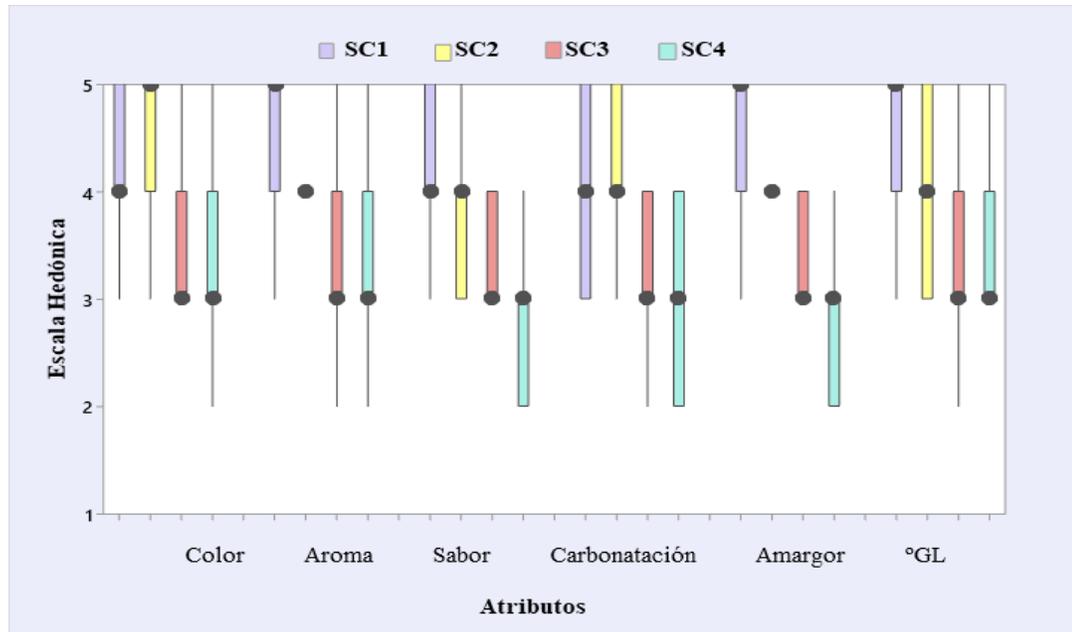
4.3.2 Evaluación sensorial de muestras experimentales de cerveza tipo

American Pale Ale

Para realizar la evaluación sensorial de ocho muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale se procede a evaluar las muestras en función de los atributos color, aroma, sabor, carbonatación, amargor y °GL utilizando una escala hedónica de cinco puntos, con la finalidad de obtener la muestra final de cerveza tipo American Pale Ale.

4.3.2.1 Estadístico de caja y bigote para el nivel inferior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la figura 4.8, se muestra el estadístico caja y bigote de datos extraídos (Anexo C), para atributo color (tabla C.14.1), aroma (tabla C.15.1), sabor (tabla C.16.1), carbonatación (tabla C.17.1), amargor (tabla C.18.1) y °GL (tabla C.19.1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8 Caja y bigote para atributos en el diseño experimental nivel inferior.

En la figura 4.8, se puede observar que los resultados en función de la mediana (4,0) en los atributos; color (SC1), sabor (SC1) y carbonatación (SC1).

Realizando el análisis estadístico de varianza para los atributos: color Anexo C.14 (tabla C.14.2), aroma Anexo C.15 (tabla C.15.2), sabor Anexo C.16 (tabla C.16.2), carbonatación Anexo C.17 (tabla C.17.2), amargor Anexo C.18 (tabla C.18.2) y °GL Anexo C.19 (tabla C.19.2) se puede evidenciar que existe diferencia significativa entre las muestras evaluadas debido a que $F_{cal} > F_{tab}$ por lo que se rechaza la hipótesis para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.2 Estadístico de Tukey para atributo color para el nivel inferior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C.14 (tabla C.14.4)

Tabla 4.12

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC2 - SC1	0,13	$0,13 < 0,50$	No significativo
SC2 - SC3	1,07	$1,07 > 0,50$	Significativo
SC2 - SC4	3,33	$3,33 > 0,50$	Significativo
SC1 - SC3	0,93	$0,93 > 0,50$	No significativo
SC1 - SC4	1,07	$1,07 > 0,50$	Significativo
SC3 - SC4	0,13	$0,13 < 0,50$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.12, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC2 - SC3, SC2 - SC4 y SC1 - SC4. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC2 - SC1, SC1 - SC3 y SC3 - SC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.3 Estadístico de Tukey para atributo aroma para el nivel inferior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

La tabla 4.13, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del Anexo C.15 (tabla C.15.4)

Tabla 4.13

Estadístico de Tukey para el atributo aroma

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - SC2	0,6	$0,60 < 0,44$	No significativo
SC1 - SC3	1,27	$1,27 > 0,44$	Significativo
SC1 - SC4	3,33	$3,33 > 0,44$	Significativo
SC2 - SC3	0,67	$0,67 > 0,44$	No significativo
SC2 - SC4	0,73	$0,73 > 0,44$	No significativo
SC3 - SC4	0,07	$0,07 < 0,44$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.13, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - SC3 y SC1 - SC4. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - SC2, SC2 - SC3, SC2 - SC4 y SC3 - SC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.4 Estadístico de Tukey para atributo sabor para el nivel inferior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos del Anexo C.16 (tabla C.16.4)

Tabla 4.14

Estadístico de Tukey para el atributo sabor

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - SC2	0,6	$0,60 < 0,44$	No significativo
SC1 - SC3	1,27	$1,27 > 0,44$	Significativo
SC1 - SC4	3,33	$3,33 > 0,44$	Significativo
SC2 - SC3	0,67	$0,67 > 0,44$	No significativo
SC2 - SC4	0,73	$0,73 > 0,44$	No significativo
SC3 - SC4	0,07	$0,07 < 0,44$	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - SC3, SC1 - SC4 y SC2 - SC4. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - SC2, SC2 - SC3 y SC3 - SC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.5 Estadístico de Tukey para atributo carbonatación para el nivel inferior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo carbonatación de datos extraídos del Anexo C.17 (tabla C.17.4)

Tabla 4.15*Estadístico de Tukey para el atributo carbonatación*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC2 - SC1	0,13	0,13 < 0,50	No significativo
SC2 - SC3	0,93	0,93 > 0,50	No significativo
SC2 - SC4	2,93	2,93 > 0,50	Significativo
SC1 - SC3	0,8	0,80 > 0,50	No significativo
SC1 - SC4	1,07	1,07 > 0,50	Significativo
SC3 - SC4	0,27	0,27 < 0,50	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.15, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC2 - SC4 y SC1 - SC4. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC2 - SC1, SC2 - SC3, SC1 - SC3 y SC3 - SC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.6 Estadístico de Tukey para atributo amargor para el nivel inferior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo amargor de datos extraídos del Anexo C.18 (tabla C.18.4)

Tabla 4.16*Estadístico de Tukey para el atributo amargor*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - SC2	0,47	0,47 > 0,36	No significativo
SC1 - SC3	1,13	1,13 > 0,36	Significativo
SC1 - SC4	2,93	2,93 > 0,36	Significativo
SC2 - SC3	0,67	0,67 > 0,36	No significativo
SC2 - SC4	1,07	1,07 > 0,36	Significativo
SC3 - SC4	0,4	0,40 > 0,36	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.16, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - SC3, SC1 - SC4 y SC2 - SC4. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - SC2, SC2 - SC3 y SC3 - SC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.7 Estadístico de Tukey para atributo °GL para el nivel inferior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo °GL de datos extraídos del Anexo C.19 (tabla C.19.4)

Tabla 4.17

Estadístico de Tukey para el atributo °GL

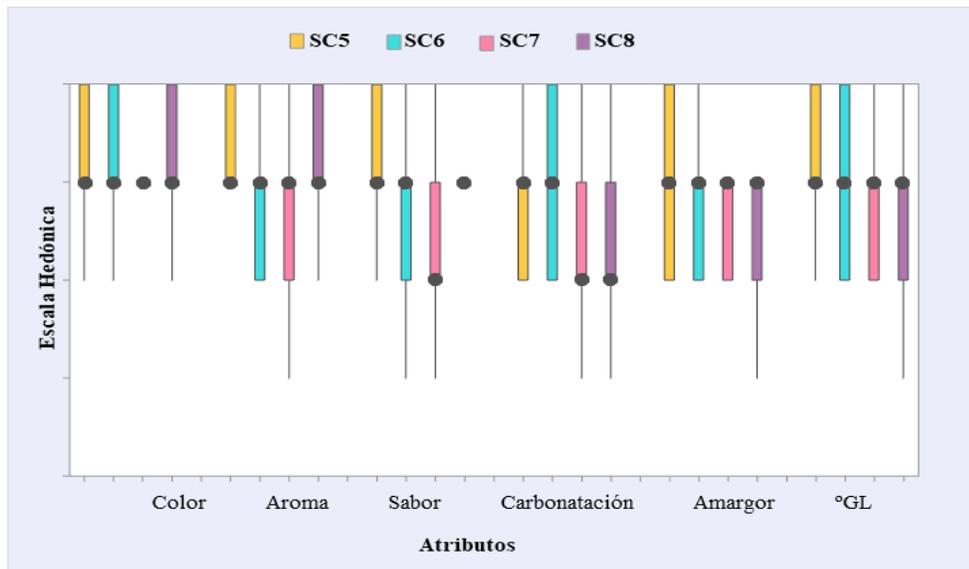
Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - SC2	0,4	$0,40 < 0,47$	No significativo
SC1 - SC4	0,87	$0,87 > 0,47$	No significativo
SC1 - SC3	3,47	$3,47 > 0,47$	Significativo
SC2 - SC4	0,47	$0,47 > 0,47$	No significativo
SC2 - SC3	0,53	$0,53 > 0,47$	No significativo
SC4 - SC3	0,07	$0,07 < 0,47$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.17, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - SC3. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - SC2, SC1 - SC4, SC2 - SC4, SC2 - SC3 y SC4 - SC3 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.8 Estadístico de caja y bigote para cerveza tipo American Pale Ale del diseño experimental en el nivel superior

La figura 4.9, muestra el estadístico caja y bigote de datos extraídos (Anexo C), para atributo color Anexo C.20 (tabla C.20.1), aroma Anexo C.21 (tabla C.21.1), sabor Anexo C.22 (tabla C.22.1), carbonatación Anexo C.23 (tabla C.23.1), amargor Anexo C.24 (tabla C.24.1) y °GL Anexo C.25 (tabla C.25.1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.9 Caja y bigote para atributos en el diseño experimental nivel superior.

En la figura 4.9, se puede observar que los resultados en función de la mediana (4,0) en los atributos; color, aroma, amargor y °GL en las muestras SC5, SC6, SC7 y SC8.

Sin embargo, realizando el análisis estadístico de varianza para los atributos color Anexo C.20 (tabla C.20.2), aroma Anexo C.21 (tabla C.21.2), sabor Anexo C.22 (tabla C.22.2), carbonatación Anexo C.23 (tabla C.23.2), amargor Anexo C.24 (tabla C.24.2) y °GL Anexo C.25 (tabla C.25.2) se puede evidenciar que existe diferencia significativa entre las muestras evaluadas debido a que $F_{cal} > F_{tab}$ por lo que se rechaza la hipótesis para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.9 Estadístico de Tukey para atributo color para nivel superior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C.20 (tabla C.20.4)

Tabla 4.18*Estadístico de Tukey para el atributo color*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC6 - SC8	0,07	0,07 < 0,42	No significativo
SC6 - SC5	0,26	0,26 > 0,42	No significativo
SC6 - SC7	3,93	3,93 > 0,42	Significativo
SC8 - SC5	0,2	0,20 > 0,42	No significativo
SC8 - SC7	0,33	0,33 < 0,42	No significativo
SC5 - SC7	0,13	0,13 < 0,42	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC6 - SC7. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC6 - SC8, SC6 - SC5, SC8 - SC5, SC8 - SC7 y SC5 - SC7 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.10 Estadístico de Tukey para atributo aroma para nivel superior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.19, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C.21 (tabla C.21.4)

Tabla 4.19*Estadístico de Tukey para el atributo aroma*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC5 - SC8	0,2	0,20 < 0,43	No hay significancia
SC5 - SC6	0,6	0,60 > 0,43	No hay significancia
SC5 - SC7	3,8	3,80 > 0,43	Si hay significancia
SC8 - SC6	0,4	0,40 < 0,43	No hay significancia
SC8 - SC7	0,47	0,47 > 0,43	No hay significancia
SC6 - SC7	0,07	0,07 < 0,43	No hay significancia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC5 - SC7. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC5 - SC8, SC5 - SC6, SC8 - SC6, SC8 - SC7 y SC6 - SC7 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.11 Estadístico de Tukey para atributo sabor para nivel superior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.20, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos del Anexo C.22 (tabla C.22.4)

Tabla 4.20

Estadístico de Tukey para el atributo sabor

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC5 - SC8	0,2	$0,20 < 0,57$	No significativo
SC5 - SC6	0,53	$0,53 < 0,57$	No significativo
SC5 - SC7	3,53	$3,53 > 0,57$	Significativo
SC8 - SC6	0,33	$0,33 < 0,57$	No significativo
SC8 - SC7	0,47	$0,47 < 0,57$	No significativo
SC6 - SC7	0,13	$0,13 < 0,57$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.20, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC5 - SC7. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC5 - SC8, SC5 - SC6, SC8 - SC6, SC8 - SC7 y SC6 - SC7 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.12 Estadístico de Tukey para atributo carbonatación de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.21, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo carbonatación de datos extraídos del Anexo C.23 (tabla C.23.4)

Tabla 4.21*Estadístico de Tukey para el atributo carbonatación*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC6 - SC5	0,2	$0,20 < 0,44$	No significativo
SC6 - SC7	0,47	$0,47 < 0,44$	No significativo
SC6 - SC8	3,33	$3,33 > 0,44$	Significativo
SC5 - SC7	0,27	$0,27 < 0,44$	No significativo
SC5 - SC8	0,4	$0,40 < 0,44$	No significativo
SC7 - SC8	0,13	$0,13 < 0,44$	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.21, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC6 - SC8. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC6 - SC5, SC6 - SC7, SC5 - SC7, SC5 - SC8 y SC7 - SC8 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.13 Estadístico de Tukey para atributo amargor para nivel superior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.22, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo amargor de datos extraídos del Anexo C.24 (tabla C.24.4)

Tabla 4.22*Estadístico de Tukey para el atributo amargor*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC5 - SC6	0,07	$0,07 < 0,43$	No significativo
SC5 - SC7	0,4	$0,40 < 0,43$	No significativo
SC5 - SC8	3,53	$3,33 > 0,43$	Significativo
SC6 - SC7	0,33	$0,33 < 0,43$	No significativo
SC6 - SC8	0,4	$0,40 < 0,43$	No significativo
SC7 - SC8	0,07	$0,07 < 0,43$	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC5 - SC8. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC5 - SC6, SC5 - SC7, SC6 - SC7, SC6 - SC8 y SC7 - SC8 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.14 Estadístico de Tukey para atributo °GL para nivel superior de muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.23, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo °GL de datos extraídos del Anexo C.25 (tabla C.25.4)

Tabla 4.23

Estadístico de Tukey para el atributo °GL

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC5 - SC6	0,27	$0,27 < 0,39$	No significativo
SC5 - SC7	0,4	$0,40 > 0,39$	No significativo
SC5 - SC8	3,6	$3,60 > 0,39$	Significativo
SC6 - SC7	0,13	$0,13 < 0,39$	No significativo
SC6 - SC8	0,4	$0,40 < 0,39$	No significativo
SC7 - SC8	0,27	$0,27 < 0,39$	No significativo

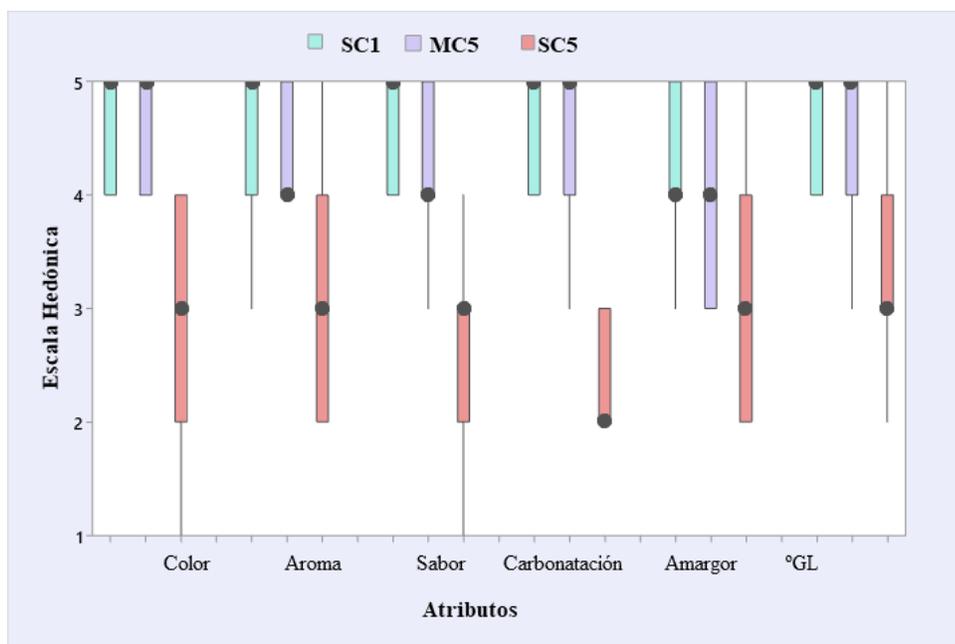
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC5 - SC8. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC5 - SC6, SC5 - SC7, SC6 - SC7, SC6 - SC8 y SC7 - SC8 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.15 Estadístico de caja y bigote para comparar muestra optima (MC5) y muestras del diseño experimental de cerveza tipo American Pale Ale (SC1 y SC5)

Realizada la evaluación sensorial de las muestras SC1 y SC5 del nivel inferior y superior del diseño experimental de cerveza tipo American Pale Ale, en comparación con la muestra optima MC5, se procede a elegir la prueba SC1 como la muestra final de diseño experimental, ya que muestra mayor mediana en comparación con las otras muestras.

En la figura 4.10, se muestra el estadístico caja y bigote de datos extraídos (Anexo C), para atributo color Anexo C.26 (tabla C.26.1), aroma Anexo C.27 (tabla C.27.1), sabor Anexo C.28 (tabla C.28.1), carbonatación Anexo C.29 (tabla C.29.1), amargor Anexo C.30 (tabla C.30.1) y °GL Anexo C.31 (tabla C.31.1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.10 Caja y bigote de comparación de muestra optima con muestras del diseño experimental.

En la figura 4.10, se puede observar los resultados de la caja y bigote de las muestras SC1, MC5 y SC5 en función a los atributos de las medianas y posición de la caja donde se determina que la muestra SC5 para los atributos color, aroma, sabor, carbonatación, amargor y °GL tiene una mediana de puntuación mayor a 4,0 en una escala de 5 puntos.

Sin embargo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre las muestras en función de los atributos evaluados: color Anexo C.26 (tabla C.26.4), aroma Anexo C.27 (tabla C.27.4), sabor Anexo C.28 (tabla C.28.4), carbonatación Anexo C.29 (tabla C.29.4), amargor Anexo C.30 (tabla C.30.4) y °GL Anexo C.31 (tabla C.31.4) debido a que $F_{cal} > F_{tab}$ por lo que se rechaza la hipótesis para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.16 Estadístico de Tukey para atributo color para muestra final de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.24, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C.26 (tabla C.26.4)

Tabla 4.24

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - MC5	0,13	$0,13 > 0,56$	No significativo
SC1 - SC5	1,8	$1,8 > 0,56$	Significativo
MC5 - SC5	1,66	$1,66 < 0,48$	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.24, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - MC5 y SC1 - SC5. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - MC5 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.17 Estadístico de Tukey para atributo aroma para muestra final de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.25, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del Anexo C.27 (tabla C.27.4)

Tabla 4.25

Estadístico de Tukey para el atributo aroma

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - MC5	0	$0 > 0,63$	No significativo
SC1 - SC5	1,33	$1,33 > 0,63$	Significativo
MC5 - SC5	1,33	$1,33 > 0,63$	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.25, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - SC5 y MC5 - SC5. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - MC5, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.18 Estadístico de Tukey para atributo sabor para muestra final de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.26, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos del Anexo C.28 (tabla C.28.4)

Tabla 4.26

Estadístico de Tukey para el atributo sabor

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - MC5	0,27	$0,27 > 0,70$	No significativo
SC1 - SC5	2	$2 > 0,70$	Significativo
MC5 - SC5	1,73	$1,73 < 0,70$	Significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.26, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC51-MC5 y SC1 - SC5. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - MC5 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.19 Estadístico de Tukey para atributo carbonatación para muestra final de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.27, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo carbonatación de datos extraídos del Anexo C.29 (tabla C.29.4)

Tabla 4.27

Estadístico de Tukey para el atributo carbonatación

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - MC5	0,07	$0,07 > 0,65$	No significativo
SC1 - SC5	2,2	$2,2 > 0,65$	Significativo
MC5 - SC5	2,13	$2,13 < 0,65$	Significativo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.27, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - SC5 y MC5 - SC5. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - MC5 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.20 Estadístico de Tukey para atributo amargor para muestra final de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.28, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo amargor de datos extraídos del Anexo C.30 (tabla C.30.4)

Tabla 4.28

Estadístico de Tukey para el atributo amargor

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - MC5	0,47	$0,47 > 0,70$	No significativo
SC1 - SC5	1,33	$1,33 > 0,70$	Significativo
MC5 - SC5	0,86	$0,86 < 0,70$	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.28, se observa que existe diferencia estadística entre las muestras SC1 - MC5. Sin embargo, no existe diferencia estadística para las muestras SC1 - MC5, MC5 - SC5 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.21 Estadístico de Tukey para atributo °GL para muestra final de cerveza tipo American Pale Ale

En la tabla 4.29, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo °GL de datos extraídos del Anexo C.31 (tabla C.31.4)

Tabla 4.29

Estadístico de Tukey para el atributo °GL

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
SC1 - MC5	0,13	$0,13 > 0,58$	No significativo
SC1 - SC5	1,47	$1,47 > 0,58$	Significativo
MC5 - SC5	1,33	$1,33 > 0,58$	Significativo

Fuente: Elaboración propia

Realizada la evaluación sensorial de las ocho muestras experimentales de cerveza tipo American Pale Ale del nivel inferior y superior, donde las muestras SC1 y SC5 son las que obtienen mayores medianas de acuerdo a caja y bigote; presenta color, aroma, sabor, carbonatación, amargor y °GL aceptable. Se puede observar que las muestras

SC1 y SC5 presentan grado alcohólico similares, no obstante, varían en el porcentaje de adjunto, ya que, SC1 (1,5 %) y SC5 (3,5 %). Y en comparación con la muestra optima MC5, al finalizar la evaluación sensorial se procede a elegir la prueba SC1 como la muestra final de diseño experimental, ya que muestra mayor mediana en comparación con las otras muestras.

4.4 Caracterización de la cerveza tipo American Pale Ale

En la caracterización del producto final de cerveza tipo American Pale Ale, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se detallan a continuación.

4.4.1 Análisis fisicoquímicos de cerveza tipo American Pale Ale

La tabla 4.30, indica los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de cerveza tipo American Pale Ale. Datos obtenidos del Anexo A

Tabla 4.30

Análisis fisicoquímico de la cerveza tipo American Pale Ale

Parámetros	Unidad	Resultado
Acidez total	%	0,24
Acidez volátil	%	0,01
Cenizas	%	0,16
Densidad relativa (20 °C / 20 °C)	%	1,0050
Extracto aparente	g/100 g	1,28
Extracto de mosto original	°Plato	11,05
Extracto de fermentación real	g/100 g	1,29
Fibra	%	n.d
Grasa	%	n.d
Grado alcohólico	% (V/V)	5,00
Grado de fermentación real	%	88,30
Hidratos de carbono	%	3,18
Humedad	%	96,60
Nitrógeno total	%	0,06
Proteína total (N x 6,26)	%	0,35
pH (20°C)	-	4,0
Valor energético	Kcal/100 g	455,87

Fuente: (CEANID, 2022)

En la tabla 4.30, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de cerveza tipo American Pale Ale que presenta: Acidez total 0,24 %, Acidez volátil 0,01 %, Cenizas 0,16 %, Densidad relativa 1,0050, Extracto aparente 1,28 g /100 g, extracto de mosto original 11,05 °Plato, Extracto de fermentación real 88,30 %, Hidratos de carbono 3,18 %, Humedad 96,60 %, Nitrógeno total 0,06 %, Proteína total (N x 6,26) 0,35 %, pH 4,0 (20 °C), Valor energético 455,87 Kcal/100 g.

4.4.2 Análisis microbiológico de la cerveza tipo American Pale Ale

La tabla 4.31, indica los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la cerveza tipo American Pale Ale. Datos obtenidos del Anexo A

Tabla 4.31

Análisis microbiológico de la cerveza tipo American Pale Ale

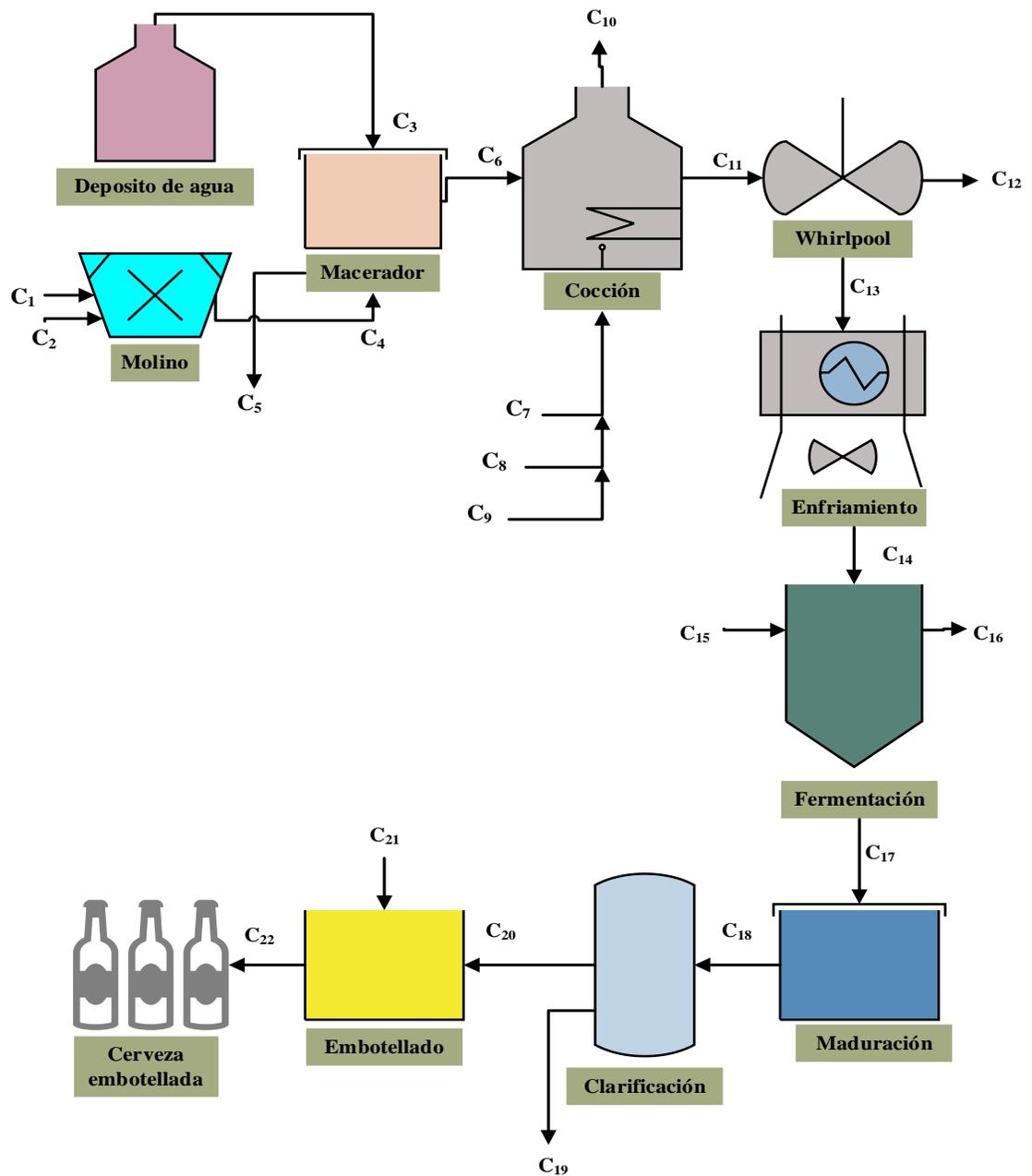
Microorganismos	Unidad	Resultado
Echerichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	$6,3 \times 10^3$

Fuente: (CEANID, 2022) (*) no se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.31, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la cerveza tipo American Pale Ale que presenta: Echerichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y Levaduras $6,3 \times 10^3$ UFC/g.

4.5 Balance de materia general para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

En la figura 4.11, se muestra el balance general en las etapas donde se realizaron los balances de materia y energía en el proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.11 Balance general para la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

Donde:

C_1 = Malta Pale Ale

C_2 = Malta Carahell

C₃ = Agua de grifo

C₄ = Maltas total

C₅ = Bagazo

C₆ = Mosto

C₇ = Lúpulo

C₈ = Adjunto azucarero

C₉ = Irish Moss

C₁₀ = Agua evaporada

C₁₁ = Mosto concentrado

C₁₂ = Borra

C₁₃ = Mosto turbio caliente

C₁₄ = Mosto enfriado

C₁₅ = Levadura hidratada

C₁₆ = Levadura muerta

C₁₇ = Cerveza fermentada

C₁₈ = Cerveza madura

C₁₉ = Sedimento

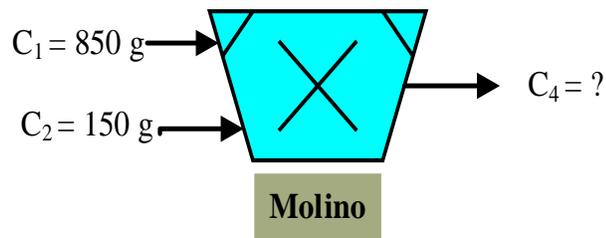
C₂₀ = Cerveza clarificada

C₂₁ = Azúcar para carbonatar

C₂₂ = Cerveza embotellada

4.5.1 Balance de materia en la etapa de molido

En la figura 4,12, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de molido de maltas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Balance de materia en la etapa de molienda.

4.5.1.1 Balance general en la etapa de molienda:

$$C_1 + C_2 = C_4 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$(850 \text{ g}) + (150 \text{ g}) = C_4$$

$$C_4 = 1000 \text{ g}$$

Donde:

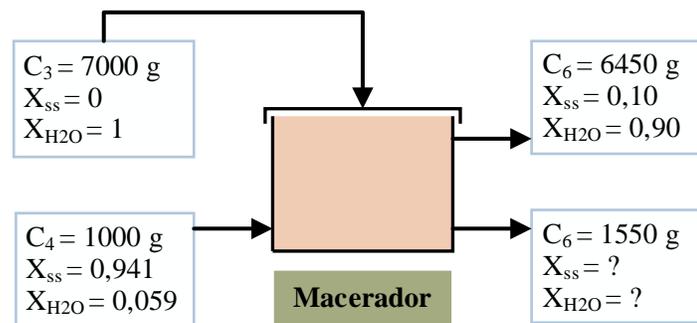
C_1 = Malta Pale Ale

C_2 = Malta Carahell

C_4 = Malta total

4.5.1.2 Balance de materia en el proceso de maceración

En la figura 4.13, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de molido de maltas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Balance de materia en el proceso de maceración.

Para obtener la fracción másica del bagazo se realiza los siguientes cálculos:

4.5.1.3 Balance general de bagazo en la etapa de maceración:

$$C_3 + C_4 = C_5 + C_6 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

4.5.1.4 Balance parcial de humedad de bagazo en la etapa de maceración:

$$C_3 X_{H_2O} + C_4 X_{H_2O} = C_5 X_{H_2O} + C_6 X_{H_2O} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$C_3 X_{H_2O} + C_4 X_{H_2O} - C_6 X_{H_2O} = C_5 X_{H_2O}$$

$$(7000 \text{ g} \times 1) + (1000 \text{ g} \times 0,059) - (6450 \text{ g} \times 0,90) = (1550 \text{ g} \times X_{H_2O})$$

$$X_{H_2O} = 0,809$$

4.5.1.5 Balance parcial de sólidos solubles de bagazo en la etapa de maceración:

$$C_3 X_{SS} + C_4 X_{SS} = C_5 X_{SS} + C_6 X_{SS} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$C_3 X_{SS} + C_4 X_{SS} - C_6 X_{SS} = C_5 X_{SS}$$

$$(7000 \text{ g} \times 0) + (1000 \text{ g} \times 0,941) - (6450 \text{ g} \times 0,10) = (1550 \text{ g} \times X_{H_2O})$$

$$X_{SS} = 0,191$$

Donde:

C_3 = Agua de grifo

C_4 = Malta total

C_5 = Bagazo

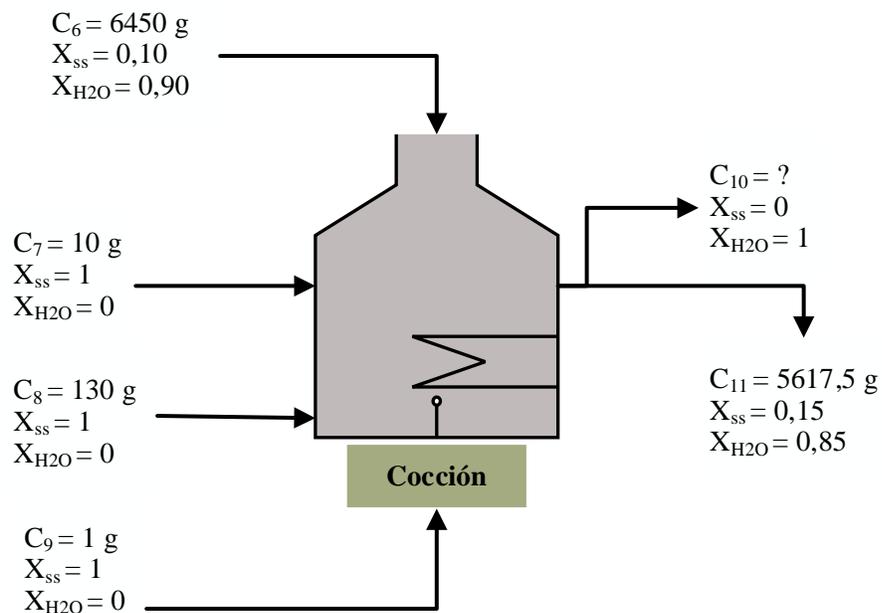
C_6 = Mosto

X_{ss} = Fracción de sólidos solubles

X_{H_2O} = Fracción porcentual de humedad

4.5.1.6 Balance de materia en el proceso de cocción del mosto

En la figura 4.14, se muestra el proceso de balance de materia en el proceso de cocción del mosto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Balance de materia en el proceso de cocción del mosto.

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

4.5.1.7 Balance parcial de la evaporación de agua en la etapa de cocción del mosto

$$C_6 X_{H_2O} + C_7 X_{H_2O} + C_8 X_{H_2O} + C_9 X_{H_2O} = C_{10} X_{H_2O} + C_{11} X_{H_2O} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$C_6 X_{H_2O} + C_7 X_{H_2O} + C_8 X_{H_2O} + C_9 X_{H_2O} - C_{11} X_{H_2O} = C_{10} X_{H_2O}$$

$$(6450 \text{ g} \times 0,90) + (10 \text{ g} \times 0) + (130 \text{ g} \times 0) + (1 \text{ g} \times 0) - (5617,5 \text{ g} \times 0,85) = (C_{10} \times 1)$$

$$C_{10} = 1030,125 \text{ g}$$

Donde:

C_6 = Mosto

C_7 = Lúpulo

C_8 = Adjunto

C_9 = Irish Moss

C_{10} = Agua evaporada

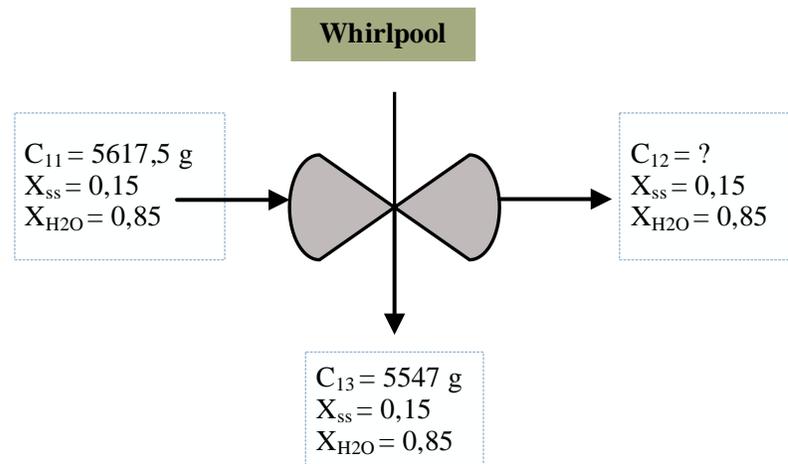
C_{11} = Mosto concentrado

X_{ss} = Fracción de sólidos solubles

X_{H_2O} = Fracción porcentual de humedad

4.5.1.8 Balance de materia en el proceso de Whirlpool

En la figura 4.15, se muestra el balance de materia efectuado en el proceso de Whirlpool con el fin de determinar la cantidad de borra que se elimina en esta parte del proceso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Balance de materia en el proceso de Whirlpool.

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

$$C_{11} X_{H_2O} = C_{12} X_{H_2O} + C_{13} X_{H_2O} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

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

$$C_{12}(0,85) = (5617,5 \text{ g} \times 0,85) - (5574 \text{ g} \times 0,85)$$

$$C_{12} = 43,5 \text{ g}$$

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

$$C_{11} X_{ss} = C_{12} X_{ss} + C_{13} X_{ss} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

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

$$C_{12}(0,15) = (5617,5 \text{ g} \times 0,15) - (5574 \text{ g} \times 0,15)$$

$$C_{12} = 6,53$$

4.5.1.11 Borra que se desecha en la etapa de Whirlpool

$$C_{12} = 43,5 \text{ g} + 6,53 \text{ g}$$

$$C_{12} = 50,03 \text{ g} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde:

C_{11} = Mosto concentrado

C_{12} = Borra

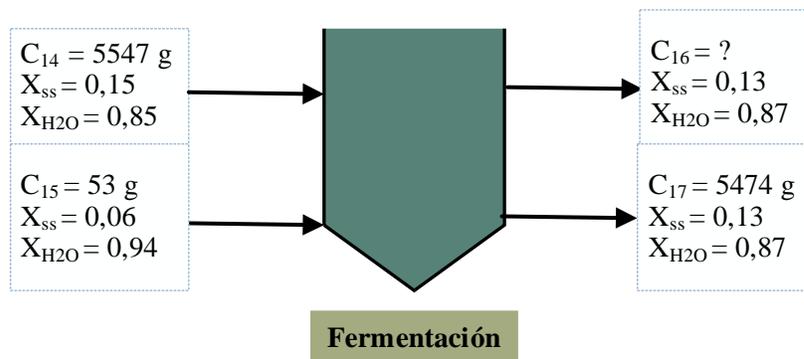
C_{13} = Mosto turbio caliente

X_{ss} = Fracción de sólidos solubles

X_{H_2O} = Fracción porcentual de humedad

4.5.1.12 Balance de materia en el proceso de fermentación

En la figura 4.16, se muestra el proceso de balance de materia en el proceso de fermentación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Balance de materia en el proceso de fermentación.

Para obtener la cantidad de levadura muerta en el proceso de fermentación se realiza los siguientes cálculos

4.5.1.13 Balance general en la etapa de fermentación:

$$C_{14} + C_{15} = C_{16} + C_{17} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

4.5.1.14 Balance parcial de humedad de levadura muerta en la etapa de fermentación:

$$C_{14} X_{H_2O} + C_{15} X_{H_2O} = C_{16} X_{H_2O} + C_{17} X_{H_2O} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$C_{14} X_{H_2O} + C_{15} X_{H_2O} - C_{17} X_{H_2O} = C_{16} X_{H_2O}$$

$$(5547 \text{ g} \times 0,85) + (53 \text{ g} \times 0,94) - (5474 \text{ g} \times 0,87) = C_{16} \times (0,87)$$

$$C_{16} = 2,75 \text{ g}$$

4.5.1.15 Balance parcial de sólidos solubles de levadura muerta en la etapa de fermentación:

$$C_{14} X_{ss} + C_{15} X_{ss} = C_{16} X_{ss} + C_{17} X_{ss} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$C_{14} X_{ss} + C_{15} X_{ss} - C_{17} X_{ss} = C_{16} X_{ss}$$

$$(5547 \text{ g} \times 0,15) + (53 \text{ g} \times 0,06) - (5474 \text{ g} \times 0,13) = C_{16} \times (0,13)$$

$$C_{16} = 123,61 \text{ g}$$

4.5.1.16 Levadura muerta que se desecha en la etapa de fermentación:

$$C_{16} = 2,75 \text{ g} + 123,61 \text{ g} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$C_{16} = 126,36 \text{ g}$$

Donde:

C_{14} = Mosto enfriado

C_{15} = Levadura hidratada

C_{16} = Levadura muerta

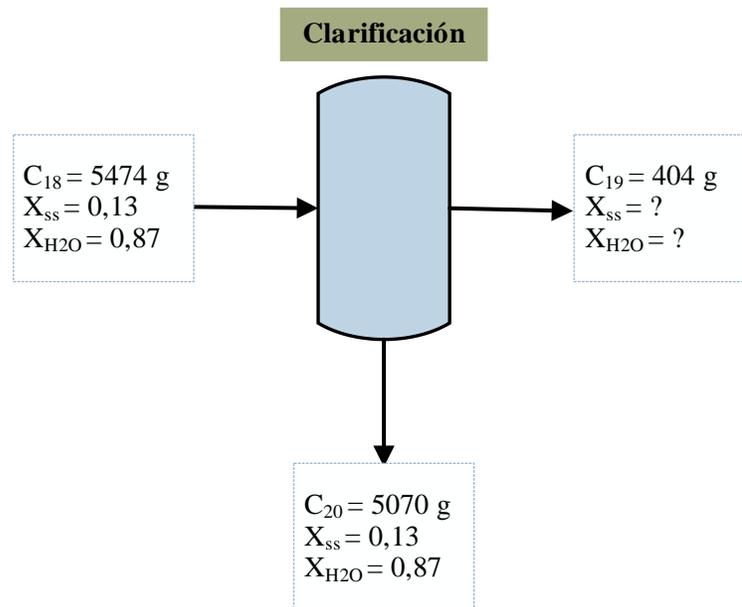
C_{17} = Cerveza fermentada

X_{ss} = Fracción de sólidos solubles

X_{H_2O} = Fracción porcentual de humedad

4.5.1.17 Balance de materia en el proceso de clarificación

En la figura 4.17, se muestra el proceso de balance de materia en el proceso de clarificación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Balance de materia en el proceso de clarificación.

4.5.1.18 Balance parcial de humedad de sedimento que se desecha en la etapa clarificación

$$C_{18}X_{H_2O} = C_{19}X_{H_2O} + C_{20}X_{H_2O} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$C_{18}X_{H_2O} - C_{20}X_{H_2O} = C_{19}X_{H_2O}$$

$$(404 \text{ g}) X_{H_2O} = (5474 \text{ g} \times 0,87) - (5070 \text{ g} \times 0,87)$$

$$X_{H_2O} = 0,87$$

4.5.1.19 Balance parcial de sólidos solubles de sedimento que se desecha en la etapa de clarificación

$$C_{18}X_{ss} = C_{19}X_{ss} + C_{20}X_{ss} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$C_{18}X_{ss} - C_{20}X_{ss} = C_{19}X_{ss}$$

$$(404 \text{ g}) X_{ss} = (5474 \text{ g} \times 0,13) - (5070 \text{ g} \times 0,13)$$

$$X_{ss} = 0,13$$

Donde:

C_{18} = Cerveza madura

C_{19} = Sedimento

C_{20} = Cerveza clarificada

X_{ss} = Fracción de sólidos solubles

X_{H_2O} = Fracción porcentual de humedad

4.5.1.20 Cantidad de azúcar para carbonatar

La relación entre azúcar y cerveza utilizada para la carbonatación natural de la misma es de 7:1. Donde, 1L de cerveza = 1,01kg = 1010g

$$C_{21} = 7 \text{ g/L} \times 5,02 \text{ L} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$C_{21} = 35,14 \text{ g}$$

4.5.1.21 Cantidad de cerveza embotellada

$$C_{22} = C_{20} + C_{21} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$C_{22} = 5070 \text{ g} + 35,14 \text{ g}$$

$$C_{22} = 5105,14 \text{ g}$$

4.6 Rendimiento del proceso de elaboración de cerveza tipo American Ale

(Pino, Gallardo, & Perez, 2018) afirma que “para calcular el rendimiento volumétrico expresado en porcentaje del proceso de elaboración de cerveza artesanal, se muestra en la siguiente ecuación 4.16

$$R_V = \frac{V_f}{V_i} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Donde:

R_V = Rendimiento volumétrico expresado en porcentaje (%)

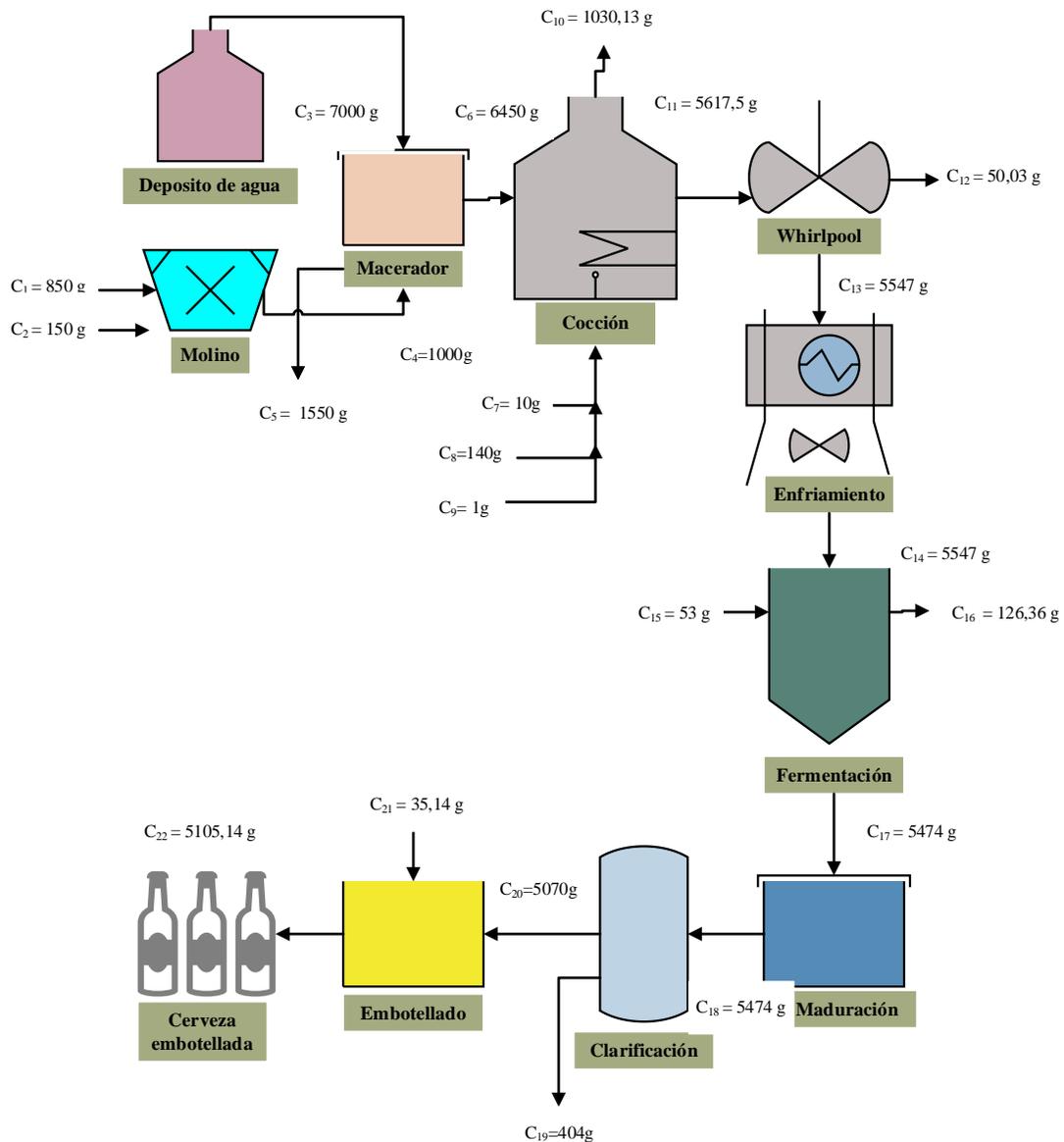
V_f = Volumen final de la cerveza (L)

V_i = Volumen inicial del agua (L)

$$R_V = \frac{5,05 \text{ L}}{7 \text{ L}} \times 100 = 72,14 \%$$

El porcentaje de del rendimiento volumétrico del proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale es 72,14 %.

En la figura 4.18, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia en el proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Resumen de balance de materia en el proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

4.7 Balance de energía para el proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

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

$$Q_T = Q_g + Q_p \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Donde:

Q_T = Calor total

Q_g = Calor ganado

Q_p = Calor perdido

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

$$Q_{cedido} = L C_{p_{liquido}} (T_f - T_i + \Delta_e L) \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Donde:

$\Delta_e L$ = Es el calor latente de ebullición

L = Es la masa del líquido (L)

T_f = Es la temperatura final (°C)

T_i = Es la temperatura inicial (°C)

$C_{p_{liquido}}$ = Es el calor específico del líquido ((kj/kg°C).

4.7.1 Cálculo de necesidades frigoríficas

Según (Martin, 2015) afirma que “las necesidades frigoríficas totales de la industria micro cervecera estarán destinadas al enfriamiento del mosto tras la cocción. El cálculo

teórico de las necesidades de refrigeración será incrementado en un 20% como margen de seguridad”.

Tenemos que:

Ecuación 4.20

$$Q = m \times Cp \times (T_f - T_i) = p \times V \times Cp \times (T_f - T_i)$$

Donde:

m = Es la masa de cerveza a enfriar, (kg).

C_p = Es el calor específico de la cerveza en (kJ/kg°C).

T_i = Es la temperatura inicial del mosto a enfriar en (°C).

T_f = Es la temperatura del mosto enfriado en (°C)

p = Es la densidad media del mosto enfriado en (kg/l).

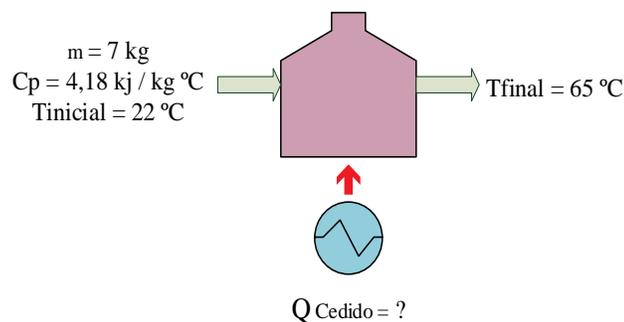
V = Es el volumen de mosto en (L).

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

$C_p = 4,18 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C}$.

4.7.2 Balance de energía en el proceso de maceración

En el proceso de maceración se necesita 7 kg de agua a 65 °C. (Figura 4.19)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 19 Balance de energía en el proceso de maceración

Para determinar la cantidad de energía necesaria para realizar el cambio de temperatura se detalla en la siguiente ecuación (Ecuación 4.19):

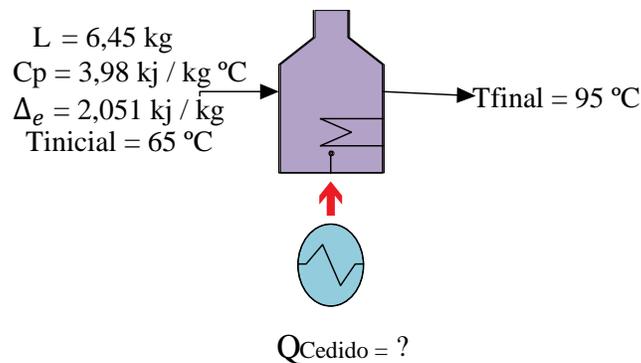
$$Q_{cedido} = m \times C_{p\text{liquido}} \times (T_f - T_i)$$

$$Q_{cedido} = 7 \text{ kg} \times 4,18 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{C} (65 - 22)^\circ\text{C}$$

$$Q_{cedido} = 1258,18 \text{ kj}$$

4.7.3 Balance de energía en el proceso de cocción de mosto

En la figura 4.20, se muestra el balance de energía en la etapa de cocción (concentración del mosto) en la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20 Balance de energía en el proceso de cocción del mosto

Para obtener la cantidad de calor necesaria para concentrar el mosto de la cerveza tipo American Pale Ale, se calcularon las corrientes de calor que intervienen en el proceso con la (ecuación 4.20)

$$Q_{cedido} = L C_p (T_f - T_i) + \Delta_e L$$

Según (Ortega, 2016) el valor de Cp. para el mosto es 3,26 Kj/ Kg °C y el valor para es 2,051 kJ /kg °C (calor latente)

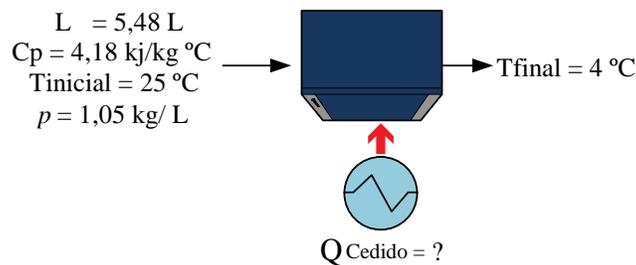
Reemplazando valores en la ecuación se obtiene el calor generado en el proceso de concentración del mosto.

$$Q_{cedido} = 6,45 L \times 3,26 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \times (95 - 65)^\circ C + (2,051 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \times 6,45 L)$$

$$Q_{cedido} = 644,04 kJ$$

4.7.4 Balance de energía en el proceso de maduración

En la figura 4.21, se muestra el balance de energía en la etapa de maduración la elaboración de cerveza tipo American Pale Ale.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21 Balance de energía en el proceso de maduración

Para determinar la cantidad de calor necesaria para enfriar la cerveza hasta 4 °C desde 25 °C se resuelve reemplazando la ecuación 4.20

$$Q_{cedido} = m \times Cp \times (Tf - Ti) = (p \times V \times Cp \times (Tf - Ti))$$

$$Q_{cedido} = (1,05 \frac{kg}{L} \times 5,48 L \times 4,18 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \times (4 - 25)^\circ C)$$

$$Q = -505,09 kJ$$

4.7.5 Balance de energía del proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale

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

$$\text{Balance de energía total del proceso} = 1258,18 \text{ kj} + 644,04 \text{ kj} - 505,09 \text{ kj}$$

$$\text{Balance de energía total del proceso} = 1397,13 \text{ kj}$$

Para el proceso de elaboración de cerveza tipo American Pale Ale se requiere

1397,13 kj de energía

CAPITULO V

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones

- En base a los análisis fisicoquímicos de la malta base Pale Ale, presenta: Ceniza 1,73 %, Fibra 5,62 %, Grasa 3,02 %, Hidratos de carbono 67,56 %, Humedad 6,85%, Proteína total (Nx6,25) 15,22 % y Valor energético 358,30 Kcal/100g.
- En base al análisis microbiológico de la malta base Pale Ale presenta: Echerichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras $4,1 \times 10^1$ UFC/g.
- En base a los análisis fisicoquímicos de la malta Carahell presenta: Ceniza 1,59%, Fibra 2,84 %, Grasa 1,55 %, Hidratos de carbono 78,92 %, Humedad 6,85 %, Proteína total (Nx6,25) 8,28 % y Valor energético 362,75 Kcal/100g.
- En base al análisis microbiológico de la malta Carahell presenta: Echerichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g.
- Realizado la evaluación sensorial para las pruebas preliminares de cerveza tipo American Pale Ale, según el análisis estadístico de varianza en donde se puede evidenciar que, si existe diferencia significativa entre las muestras en función de los atributos evaluados de color, aroma, sabor, carbonatación, amargor y °GL para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Así mismo, en función a las medianas de caja y bigote de la evaluación sensorial se toma en cuenta la muestra MC5 como la óptima para el proceso.
- Aplicando el diseño factorial 2^3 en el análisis de varianza se observa que los factores: tiempo de cocción (1h - 1,5h) y adjunto (1,5% - 3,5%) incide significativamente en la variable respuesta porcentaje de alcohol, en comparación con la temperatura de maceración (63°C - 68°C) no inciden significativamente en el porcentaje de alcohol en sus niveles alto y bajo.
- Indicando la incidencia de los factores e interacciones en el proceso para el grado alcohólico se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: tiempo de cocción (B), adjunto (C) y las interacciones BC (tiempo de cocción – adjunto), AC (temperatura de

maceración- adjunto) y ABC (temperatura de maceración – tiempo de cocción – adjunto) , son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores e interacciones sobrepasan la línea vertical de referencia en el diagrama de Pareto para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

- Realizado una evaluación sensorial en el nivel inferior se pudo evidenciar que existe diferencia significativa para los atributos color, aroma, sabor, carbonatación, amargor y °GL entre las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces se tomó la muestra SC1 como la muestra que obtuvo mayor puntuación de 4,0 en una escala de cinco puntos.
- Realizando una evaluación sensorial de nivel superior se pudo evidenciar que existe diferencia significativa para los atributos color, aroma, amargor y °GL entre las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces se tomó la muestra SC5 como la muestra que obtuvo mayor puntuación de 4,0 en una escala de cinco puntos.
- La evaluación sensorial aplicado en las muestras experimentales de nivel inferior y superior del diseño factorial establece que la muestra SC1 es la de mayor preferencia de los jueces que cumple con los atributos característicos del producto.
- En base a los resultados fisicoquímicos de la cerveza tipo American Pale Ale, presenta: Acidez total 0,24 %, Acidez volátil 0,01 %, Cenizas 0,16 %, Densidad relativa 1,0050 (20°C), Extracto aparente 1,28 (g/100g), Extracto de mosto original 11,05 (°Plato); Extracto de fermentación real 1,29 (g/100g), Fibra n.d, Grasa n.d, Grado alcohólico 5 % (V/V), Grado de fermentación real 88,30 %, Hidratos de carbono 3,18%, Humedad 96,60 %, Nitrógeno total 0,06%, Proteína total (Nx6,25) 0,35%, pH 4,0 y Valor energético 455,84 kcal/100g.

- En base a los resultados microbiológicos de la cerveza tipo American Pale Ale presenta: Echerichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras $6,3 \times 10^3$ UFC/g.
- Realizando el balance de materia se evidencio que, a partir de 1000g de malta y 7000g de agua se tiene 5105,14 g (10 botellas de 500 g) de cerveza tipo American Pale Ale, obteniendo un rendimiento del 72,14 % Así mismo realizando el balance de energía la cantidad de energía eléctrica total requerida es 1397,13 kj para llevar a cabo el proceso de maceración, cocción y maduración.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un trabajo de investigación experimental similar a este, con el fin de proponer más opciones de tipo de cervezas, ya sea de fermentación ale o lager, para la población de la ciudad de Tarija.
- Se recomienda realizar el control constante de temperatura en el tiempo de fermentación alcohólica, con la finalidad de darle a las levaduras las condiciones adecuadas.
- Realizar el control de diferentes parámetros en el proceso de fermentación alcohólica, con el fin de observar si son significativos o no, en dicho proceso.
- Tener un debido control de asepsia durante todo el procedimiento durante la elaboración de cerveza, con el uso constante de alcohol al 70% ya sea en manos y los instrumentos y/o equipos a utilizar, con el fin de evitar contaminación en diferentes las etapas del mismo.
- Incluir el análisis sensorial para la aceptabilidad y preferencia por parte de los jueces de cerveza American Pale Ale obtenida en comparación con otras cervezas existentes en la ciudad de Tarija.
- Se recomienda realizar un tiempo de maduración más prolongado, con la finalidad de atenuar los flavors en la cerveza.