

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes de la cerveza

La empresa especializada en estudio de mercado, SmartData SRL, precisó que, pese a haber bajado el ticket promedio, de cerca de Bs 20 en octubre de 2023, a Bs 17 en marzo de 2024 en las tiendas de barrio en el eje troncal del país, la cerveza continúa siendo el producto más vendido. El ticket promedio es el valor de compra que realiza una persona cada vez que va a la tienda. De un conjunto de 15 productos más vendidos entre octubre y marzo, 7 son cervezas de distintas marcas y presentaciones, la mayoría en lata. La marca más vendida es Paceña, le sigue Huari, Quilmes, Conti, Corona en botella, Ducal y Conti Zero Grau (El Deber, 2024).

En 2023, la importación de cerveza del país alcanzó un nivel récord, al importarse más de 35 millones de dólares. Durante el 2023, las importaciones de cerveza ascendieron en valor 56% y en volumen 55%, comparado con el año 2022. En cinco años (2019-2023), la importación de cerveza se triplicó y acumuló más de 100 millones de dólares en dicho período (IBCE, 2024).

La cerveza también ha tenido su espacio entre la población tarijeña con la producción hecha en el departamento tarijeño. El desarrollo de la industria de la cerveza tuvo lugar a comienzos del siglo XX coincidiendo con el inicio de la industrialización que hasta ese momento su economía estaba basada fundamentalmente en la producción agrícola y ganadera (Burguete, 2018).

De 1825 a 1880, se registra la presencia de cerveza. Durante los primeros años de la República, existían fábricas artesanales. En Bolivia, las primeras fábricas surgen en La Paz hacia 1870, aunque se sabe que antes se consumía cerveza importada en cantidades pequeñas (CBN, 2020).

En Bolivia como en otros países, esta bebida se acompaña con distintos platillos, se toma en fiestas, viendo partidos, en parrilladas con la familia o simplemente estando con amigos. En 2018 se reveló el siguiente dato: cada día en Bolivia se consumen 51 mil botellas con cerveza, algunas de las marcas más consumidas a nivel nacional son las siguientes: Prost, Niebla, El Salar, Macabra, Thaqrexa, Sureña, Brewcraft, Spezia,

Candelaria, Valkyria, Churuquilla, Tinku, Rebellion, Haku, La Artesana, Stier, Rustica, Legria, Ermitaño, Hops, Lipeña, Apostolica (Los Tiempos, 2021).

En Tarija se conoce que “La Asociación de cerveceros artesanales en Tarija reúne a doce cervecerías de producción local, entre ellas Barbosa, Macabra, Alquimia, Hops, Valkirya, Bière Landeau, Marquiri, entre otras”. (Montaño, 2019)

1.2 Justificación

- La ciudad de Tarija se distingue por su creciente cultura gastronómica, lo cual crea un escenario propicio para el desarrollo de cervezas artesanales. En este contexto, la producción de cerveza tipo Imperial Stout puede constituirse en una oportunidad para diversificar la oferta local mediante una bebida de perfil sensorial complejo y diferenciado.
- El mercado cervecero local está en expansión, pero muchas propuestas tienden a replicar estilos comunes (cervezas rubias). La elaboración de una Imperial Stout con su alta graduación alcohólica, cuerpo denso y notas intensas de malta tostada aporta una opción diferenciadora que puede destacarse por su complejidad y calidad.
- La Imperial Stout, por su alta concentración de maltas oscuras, contiene polifenoles y antioxidantes en mayor proporción que otros estilos de cervezas artesanales, lo que le otorga un valor añadido desde la perspectiva nutricional para los consumidores.
- La cerveza artesanal tipo Imperial Stout aporta vitaminas del complejo B, minerales (magnesio y potasio), y compuestos fenólicos provenientes de la malta y lúpulo, que pueden contribuir a la salud cardiovascular y al metabolismo energético.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados para el presente proyecto son:

1.3.1 Objetivo general

Elaborar cerveza artesanal tipo Imperial Stout, mediante el proceso fermentativo, con la finalidad de obtener cerveza de calidad para la provincia de Cercado de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la cebada malteada y agua para conocer la composición.
- Realizar control del proceso fermentativo con el fin de controlar los parámetros de temperatura, tiempo, pH y Brix para obtener óptimos resultados en la cerveza tipo Imperial Stout
- Determinar las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas del producto terminado con el fin de conocer la composición nutricional y garantizar su calidad Realizar evaluación sensorial para valorar la aceptabilidad y rechazo del producto terminado.
- Aplicar balance de materia y energía para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout con el fin de conocer el rendimiento en el proceso de elaboración.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación de la metodología de fermentación alcohólica para elaborar cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

1.5 Campo de acción

Para la realización del presente trabajo de investigación, se delimitaron los siguientes campos de acción.

- **Espacial**

El campo de acción espacial para el presente trabajo fue en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

- **Temporal**

El campo de acción temporal para el desarrollo del siguiente trabajo de investigación, fue la gestión 2024-2025.

- **Institución**

La institución en donde se realizó la metodología experimental del trabajo de investigación fue en Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), dependientes de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

1.6 Planteamiento del problema

Según la Asociación de Cerveceros Artesanales (ACEART), el consumo de cerveza artesanal ha mostrado un incremento significativo en los últimos años, especialmente en las variedades de tipo rubia. Sin embargo, en el mercado local no se encuentra disponible la cerveza del estilo Imperial Stout, una variedad caracterizada por su color oscuro, cuerpo robusto y alta graduación alcohólica. Esta ausencia limita la diversidad de opciones para los consumidores que buscan cervezas artesanales de mayor complejidad sensorial. Resultando beneficioso al consumirlo moderadamente con el aporte de flavonoides y antioxidantes que protegen al corazón, disminuye el riesgo de diabetes tipo 2, favorece la digestión gracias al lúpulo y reduce el estrés y la ansiedad. Así mismo, el proceso de fermentación alcohólica permite transformar la malta en cerveza artesanal mediante el uso de biotecnología tradicional en alimentos.

1.7 Formulación del problema

¿Mediante el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout se podrá obtener un producto de calidad para la provincia Cercado - Tarija?

1.8 Hipótesis

El proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout permitió obtener un producto de calidad para la provincia Cercado del departamento de Tarija - Bolivia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la cerveza artesanal

En lo que hoy en día es Irán, se encontraron tarros de cerámica con evidencias de la producción de una bebida pariente de la cerveza hace unos 7000 años. Otras fuentes señalan la más antigua evidencia en Mesopotamia, en otra tablilla sumeria de unos 6000 años, que representa a diversas personas bebiendo de un recipiente común lo que se cree que sería este brebaje alcohólico. Pero la primera de cebada confirmada, al menos hasta la fecha, fue la descubierta en unos fragmentos de jarra encontrados en el sitio arqueológico iraní de Godin Tepe, en los Zagros centrales, con una edad de al menos 5000 años (Peel, 2023).

Según Forbes Staff (2023), la primera evidencia que se tiene del origen de la cerveza es de una cueva en Israel, localizada cerca de lo que hoy es Haifa y data de 13 mil años atrás, cuando se encontraron agujeros en el piso que contenían restos de semillas que fueron deformadas por la fermentación, “semillas y cereales blancos que se deformaron por la fermentación, así que en cierto sentido es la primera evidencia de usar semillas para crear bebidas alcohólicas”.

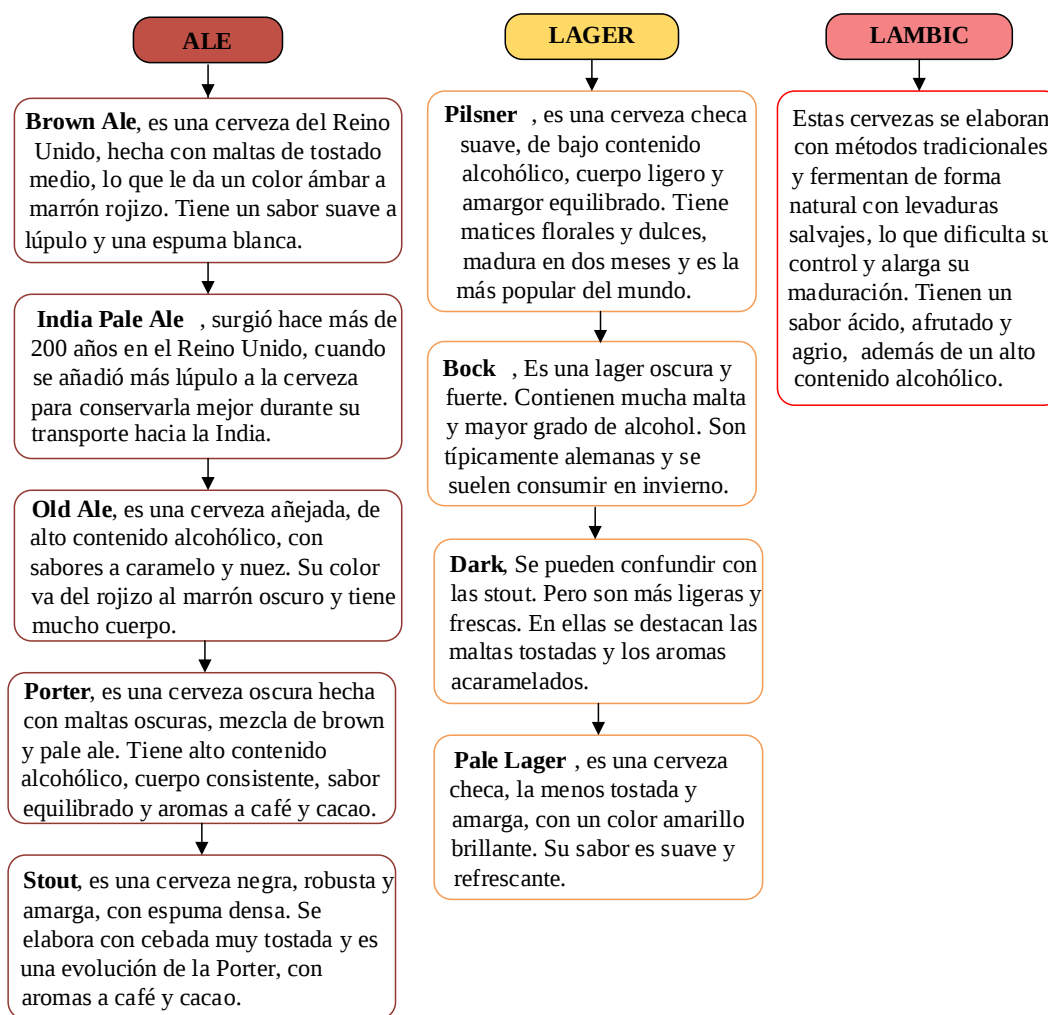
2.2 Definición de la cerveza en general

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

Según Pérez et al. (2017), la cerveza es considerada una bebida alcohólica, elaborada a través de la fermentación por levaduras de azúcares fermentables. Su base está compuesta por cebada, lúpulo, agua, levadura y adjuntos u otros ingredientes, la mayor porción de materia prima está formada por el agua, la cual influye en el carácter y la calidad de la cerveza.

2.3 Clasificación de las cervezas según su tipo de fermentación

Según Brucas, (2022) la cerveza se puede dividir en tres tipos según su fermentación, como se presenta en la Figura 2.1.



Fuente: Cristar, 2023

Figura 2.1: Clasificación de la cerveza según su tipo de fermentación

2.4 Clasificación de las cervezas según sus características

Según Sánchez, (2022) las cervezas también pueden diferenciarse por sus características, tomando en cuenta algunos atributos que se les suelen dar a las cervezas para diferenciarlas, como se detalla en la Figura 2.2.



Fuente: Sánchez, 2022

Figura 2.2: Clasificación de la cerveza según sus características

2.4.1 Cerveza artesanal Imperial Stout

Es una cerveza ale oscura intensamente saborizada, fuerte, con un amplio rango de balance e interpretaciones regionales. Malta torrada-quemada, con profundos sabores a frutos negros o secos y un final cálido y agri dulce. A pesar de los sabores intensos, los componentes tienen que fundirse para crear juntos una cerveza compleja y armoniosa (BJCP, 2022).

Comprende de un aroma rico y complejo, con cantidades variables de granos tostados, maltosidad, esteres frutales, lúpulos, y alcohol. El color puede variar desde un muy oscuro marrón-rojizo a negro azabache. Opaco, espuma color canela. IBUS 50-90, SRM 30-40, ABV 8-12% (BJCP, 2022).

2.5 Propiedades fisicoquímicas de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Tabla 2.1, se muestra la composición fisicoquímica la cerveza tipo Imperial Stout.

Tabla 2.1

Propiedades fisicoquímicas de la cerveza tipo Imperial Stout

Parámetros	Unidad	Valor
Densidad inicial	g/ml	1,086
Densidad final	g/ml	1,022
CO ₂	%(v/v)	2,6
Amargo	IBUs	38,4
Graduación alcohólica	ABV	12,0

Fuente: (BJCP, 2022)

2.5.1 Propiedades físicas de la cerveza tipo Imperial Stout

En la Tabla 2.2, se muestra la composición física la cerveza tipo Imperial Stout.

Tabla 2.2

Propiedades físicas de la cerveza tipo Imperial Stout

Parámetros	Unidad	Valor
Graduación alcohólica	ABV	8,0-12,0
pH	-	4,8
Color	SRM	35,65
CO ₂	Vols	2,6

Fuente: (BJCP, 2022)

2.5.2 Parámetros microbiológicos de la cerveza tipo Imperial Stout

En la Tabla 2.3 se muestra las características microbiológicas de la cerveza tipo Imperial Stout.

Tabla 2.3

Parámetros microbiológicos de la cerveza tipo Imperial Stout

Microorganismos	Límite máximo	Unidades
Mohos	20,0	UFC/ml
Coliformes y microorganismos patógenos	Ausente	UFC/ml

Fuente: (BJCP, 2022)

2.6 Beneficios del consumo de la cerveza tipo Imperial Stout en el ser humano

En la Figura 2.3 se muestra los beneficios que presenta la cerveza artesanal tipo Imperial Stout para su consumo en el ser humano.

Por salud cardiovascular	El consumo moderado de cerveza, favorece los procesos de reparación del corazón dañado, gracias a los nutrientes que contiene derivados de sus ingredientes naturales, el xanthohumol, uno de los polifenoles con efectos protectores en la salud cardiovascular (COFIB, 2015).
Por riqueza de nutrientes	La cerveza contiene varias vitaminas del complejo B (especialmente B6, ácido fólico y niacina), minerales como potasio y magnesio, así como fibra soluble, lo que puede contribuir a una dieta equilibrada si se consume con moderación (Cervecería Golden, 2020).
Reducción de la diabetes tipo 2	El consumo moderado de alcohol, incluida la cerveza, puede reducir el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2, posiblemente debido a la mejora en la sensibilidad a la insulina (Bermudo ,2014).
Por que mejora la digestión	La fibra, que proviene de la cebada, contribuye a mejorar el tránsito intestinal, lo que es útil para quienes sufren de estreñimiento o problemas digestivos leves. estimulante sobre la producción de jugos gástricos, lo cual podría facilitar la digestión de alimentos (García, 2024).
Funcion antioxidante y antiinflamatoria	Contiene polifenoles y las melanoidinas, además de (folatos, carbohidratos y magnesio) que trabajan como antibacteriano, antiinflamatorio, sedante y diurético (Opinión Bolivia, 2016).
Reducción del estrés y la ansiedad	El alcohol tiene un efecto sedante suave, ya que aumenta la actividad del neurotransmisor GABA, relacionado con relajación. Reduce el riesgo de estrés fisiológico, mejora la calidad de sueño y disminuye la activación del sistema nervioso (Benkherouf, 2020).

Figura 2.3: Beneficios del consumo de cerveza tipo Imperial Stout

2.7 Caracterización de materias primas para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

A continuación, se describen las materias primas para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

2.7.1 Agua purificada (*Agua Premium*)

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

Tabla 2.4

Limites de minerales en el agua en relación a la salud

Minerales	Valor
Antimonio	0,005 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l
Cadmio	0,003 mg/l
Calcio	15 mg/l
Cromo	0,05 mg/l,
Cobre	1 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Manganeso	0,4 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Nitrito	0,1 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sulfatos	250 mg/l

Fuente: FAO, 2019.

2.7.2 Malta (*Pale Ale*)

La malta, en particular, no es solo un componente; es el alma de la cerveza, ofreciendo no solo azúcares fermentables sino también color, sabor, y cuerpo. Para los cerveceros

artesanales, comprender los distintos tipos de malta, cómo utilizarlos, y cómo afectan al producto final es esencial (Bucarest, 2024). Según Mallet (2020), la malta contribuye con almidones y enzimas que degradan estos almidones en cadenas más simples que son los azúcares fermentables, nitrógeno amino libre, minerales y vitaminas traza. Todo es necesario para crear un mosto capaz de nutrir a la levadura mientras transforma los azúcares en alcohol durante la fermentación.

2.7.2.1 Características botánicas de la cebada cervecera

Las raíces de la cebada presentan un sistema radicular fasciculado, de consistencia fibrosa y alcanzan escasa profundidad. Presenta una estructura erecta, cilíndrica conformado por seis u ocho entrenudos de consistencia suave. La planta tiene un tallo principal y macollos o hijuelos. Las hojas están formadas por la vaina basal y la lámina, unidas por la lígula truncada y corta, además presentan prolongaciones membranosas largas y envolventes llamadas aurículas. El grano de cebada es un fruto seco indehisciente denominado cariópside. Una vez seco el grano, las paredes exteriores remanentes del ovario se unen íntimamente o se pegan con las glumillas, dando lugar a un grano de cebada “normal”, “cubierto” o “vestido” (Pinedo et al., 2020)

2.7.2.2 Taxonomía de la cebada cervecera

De acuerdo al Manual Cultivo de Cebada la cebada cervecera se clasifica taxonómicamente, como se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5

Clasificación taxonómica de la cebada cervecera

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Hordeum
Especie	Hordeum vulgare L

Fuente: Pinedo et al., 2020.

2.7.2.3 Composición fisicoquímica de la malta *Pale Ale*

Según la empresa Weyermann Malzfabrik, la malta Pale Ale presenta una composición fisicoquímica como se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6

<i>Composición fisicoquímica de la malta Pale Ale</i>			
Parámetro	Mínimo	Máximo	Unidad
Contenido de humedad	-	5,0	%
Extracto (seco)	79,0	-	%
Color (EBC)	5,5	7,5	EBC
Color (Lovibond)	2,5	3,3	Lovibond
Proteína (seca)	9,0	12,0	%
Índice de Kolbach	37,0	43,0	%
Tiempo de sacarificación	-	20,0	min
Viscosidad (8.6%)	-	1,69	m Pa s
Friabilidad	78,0	-	%
Granos vitreos	-	3,0	%

Fuente: Weyermann, 2024

2.7.2.4 Propiedades nutricionales de la malta

El azúcar del extracto de malta es principalmente maltosa, la cual no presenta tales riesgos. La maltosa se descompone en glucosa y puede ser utilizada por prácticamente todas las células del cuerpo. En el cerebro, es la fuente de energía preferida. Ciertas células, como los glóbulos rojos, solo pueden utilizar glucosa como fuente de energía. Contiene proteínas, aminoácidos esenciales, fibra soluble, vitaminas B2, B3 y B6, los minerales hierro, calcio y potasio, y los micro minerales magnesio, manganeso y selenio. A pesar de esto, el mayor valor nutricional del extracto de malta reside quizás en sus antioxidantes, en particular los polifenoles, cuyos beneficios para la salud incluyen propiedades antiinflamatorias, antitumorales, anticancerígenas, antimicrobianas y antialérgicas. Gramo por gramo, el extracto de malta tiene cinco veces más poder antioxidante que el brócoli fresco. Se han descubierto al menos 20 fenoles diferentes en cantidades sustanciales en la malta. Se ha demostrado que los oligómeros de proantocianidina son antidiabéticos y neuro protectores, y se está investigando activamente las propiedades antioxidantes y cardio protectoras de los

flavonoles. El ácido cafeico se ha relacionado con la salud ósea, y el ácido ferúlico con la salud de la piel. Cuanto más aprendemos sobre la complejidad del microbioma intestinal, más comprendemos su efecto en nuestra salud. Curiosamente, el extracto de malta puede desempeñar un papel importante en el mantenimiento de nuestro microbioma intestinal. Los probióticos actúan como fertilizante y pesticida para la flora intestinal. El extracto de malta es un edulcorante con propiedades beneficiosas. No contiene fructosa, el azúcar presente en los edulcorantes de caña de azúcar y el jarabe de maíz de alta fructosa (Targan, 2024).

2.7.2.5 Aplicaciones de la malta para el ser humano

La cebada malteada es versátil y se utiliza en diversas áreas. En la industria panadera, la cebada malteada se emplea para mejorar el sabor y color del pan, además de contribuir a su textura. En la producción de pan y productos horneados, la cebada malteada mejora la textura, el sabor y el color. En la industria cervecera, la cebada malteada es apreciada por su capacidad para aportar sabores y colores distintivos. Esto se traduce en una variedad de matices sensoriales que contribuyen a la calidad de la cerveza. En la destilería, la cebada malteada es esencial para la elaboración de whisky, aportando características únicas al destilado. La cebada malteada se utiliza en una variedad de productos alimenticios, desde cereales hasta barras energéticas, ofreciendo sus beneficios nutricionales y mejorando la calidad organoléptica (Monti, 2024).

2.8 Caracterización de los insumos para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Los insumos alimentarios utilizados para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout se describen a continuación:

2.8 .1 Lúpulo (*Cascade*)

El lúpulo genera el sabor amargo característico de la cerveza, este también facilita el equilibrio de sabores con la dulzura generada por los azúcares provenientes de la malta. Otra de las funciones del lúpulo es agregar aroma y sabor de diversas tonalidades, frutales, herbales, resinosos, terrosos, etc. Gracias a sus alfa-ácidos se generan los

niveles de amargor, además tiene propiedades antisépticas lo que retarda la generación de gérmenes e incrementa la vida útil de la cerveza (Revelo, 2021).

Tabla 2.7

<i>Ficha técnica del lúpulo tipo cascade</i>		
Componentes amargos	Valor	Unidad
Ácidos Alfa	8,0- 11,5	%
Ácidos Beta	5,5 – 65,0	%
Ratio alfa/beta	1,45 – 1,77	rel.
Co-humulonas	33,0 – 40,0	%
Aceites Totales	Valor (1.77 ml / 100 g)	Unidad
Beta-Pineno	0,8	%
Mirceno	62,5	%
Linalol	10,4	%
Geranio	10,15	%
Beta-Cariofileno	3,7	%
Alfa-Humuleno	9,8	%
Beta-Farneseno	4,8	%
Alfa-Silinenos	0,6	%
Beta-Silinenos	0,5	%
Isoamil Isobutirato	0,2	%

Fuente: Patagónicos, 2024

2.8.2 Levadura tipo S-04 (*Saccharomyces cerevisiae*)

Levadura de cepa tipo Ale Inglesa para cerveza. Esta cepa Ale Inglesa, es seleccionada por su rápida capacidad de fermentación y por ser capaz de formar un sedimento compacto al final de la fermentación, ayudando a la claridad de la cerveza. Puede trabajar entre (12 y 25) °C aunque el rango ideal es entre (15 y 20) °C. Se centra en los siguientes parámetros: producción de alcohol, azúcares residuales, floculación y cinética de fermentación. Dada la influencia de la levadura en la calidad de la cerveza final (Fermentis, 2024).

Tabla 2.8

<i>Ficha técnica de la levadura s-04</i>		
Componentes	Valor	Unidad
Esteres totales	37,0	ppm
alcoholes superiores totales	363,0	ppm
Azúcares residuales	18,0	g/l
Floculación	alta	-

Fuente: Fermentis, 2024

2.8.3 Azúcar

El azúcar es un carbohidrato cristalino, soluble en agua, que pertenece al grupo de los glúcidos simples. Su función principal es proporcionar energía al organismo y, en la industria alimentaria, se utiliza como edulcorante, conservante y agente de textura. En el ámbito cervecero, el azúcar contribuye a la fermentación, ya que sirve como fuente de alimento para las levaduras, generando alcohol y dióxido de carbono (FAO, 2021).

2.9 Proceso biotecnológico para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Las operaciones tecnológicas de transformación para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout, es:

2.9.1 Control de Calidad

El control de calidad de materias primas consiste en el examen exhaustivo de los materiales recibidos antes de su uso en el proceso de producción. Esto implica evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales, así como verificar su conformidad con las normas y especificaciones del sector (GIM, 2023).

2.9.2 Dosificado

La dosificación es el proceso mediante el cual se determina y se suministra una cantidad exacta de un ingrediente o aditivo en una formulación alimentaria. Este procedimiento busca garantizar la uniformidad, calidad sensorial y estabilidad del producto final, evitando desviaciones que puedan afectar su composición físico-química o su inocuidad. En la ingeniería de alimentos, la dosificación precisa es esencial para el

control de procesos, la optimización de recursos y el cumplimiento de normativas técnicas (García & Lopez, 2021).

2.9.3 Molturación

Para que las enzimas de la malta tengan la oportunidad, durante el macerado de actuar sobre el contenido de malta y descomponerlo, la malta debe romperse en pequeños fragmentos. Este proceso se llama molienda. la molienda es un proceso mecánico y durante el mismo las cascavas deben tratarse con cuidado por que se utilizan como material filtrante. La malta se fragmenta en un molino de grano. Dependiendo del proceso utilizado se hace una distinción (Kunze, 2014).

2.9.4 Maceración

En esta etapa, la malta molida junto con los adjuntos se añade y se mezcla en agua caliente. Las enzimas desprendidas por la malta disocian sus componentes sólidos, liberando diversos compuestos que forman una disolución. La función principal de esta etapa es obtener un alto rendimiento de extracto de la mejor calidad posible (Canales, 2009). Según Ferreyra, (2014) la maceración puede realizarse en forma isotérmica o bien con escalonamiento de temperatura. De este modo se procura mantener la mezcla a las temperaturas óptimas que ocurren las reacciones que se desea favorecer (degradación de almidón, proteínas, hemicelulosas).

2.9.5 Lavado del grano

Tras el macerado, hacemos pasar agua caliente a través del lecho de granos para extraer el mosto necesario. No se trata simplemente de enjuagar los azúcares de los granos, sino de permitir que el agua los disuelva, creando así el mosto. Este proceso requiere tiempo, por lo que es importante no apresurarlo. El lecho de grano está compuesto por partículas de grano, azúcares y cáscaras. Las cáscaras ayudan a formar un lecho filtrante natural que facilita la extracción. Los azúcares molidos son mayormente solubles, lo que también contribuye a la extracción (Smith, 2025).

2.9.6 Filtración del mosto

Tras la maceración, se separa el mosto líquido de los restos de malta. Para ello, se empleará la cuba filtro, un recipiente cilíndrico con un doble fondo. El bagazo se retira del fondo ranurado mientras que el mosto cervecero circula por el doble fondo. Estas cubas son generalmente de lecho de medio metro de profundidad, dando lugar a una recuperación bastante alta del mosto (98-99%), ocupando un tiempo de 2-3 horas de operación. Una vez evacuado el primer mosto, se hace un lavado del bagazo con agua caliente para obtener una mayor cantidad del mismo (Canales, 2009).

2.9.7 Cocción del mosto

Según (Revelo, 2021), define que “este mosto se introduce en una olla o en un sistema de macerado y cocción automática para limpiarlo de bacterias o contaminantes mediante la ebullición del mismo”. El mosto será evacuado a la caldera de cocción. En ese momento será cuando se incremente la temperatura hasta conseguir la ebullición, que se prolongará entre 1-2 horas. En cuanto a la adición de lúpulo, este podrá añadirse en ese momento o de manera posterior, dependiendo de la receta que se desee conseguir, ocurriendo lo mismo con la cantidad (Canales, 2009).

2.9.8 Enfriamiento

Según (Varela, 2019), afirma que se enfría la mezcla lo más rápido posible, para evitar contaminaciones o alteraciones de sabor, con el uso de serpentines metálicos. Se filtra y se trasvasa a un fermentador.

2.9.9 Inoculación

De acuerdo con (Varela, 2019), “al inocular la levadura en el fermentador, conviene remover la mezcla para oxigenarla; así se facilita la acción y reproducción de las levaduras”. Según (Fermentis, 2024), “espolvorear la levadura en mínimo 10 veces su peso en agua esterilizada a una temperatura de 25 a 29°C (77°F a 84°F). Dejar reposar de 15 a 30 minutos. Revolver suavemente”.

2.9.10 Fermentación alcohólica

La fermentación es la reacción principal que convierte el mosto enfriado en cerveza, a través del metabolismo de la levadura. En el caso de la cerveza, esta es de tipo alcohólica, pues consiste en la generación de alcohol y dióxido de carbono a partir de azúcares provenientes del mosto. Ya que no se necesita oxígeno, la reacción es considerada anaeróbica (Canales, 2009). En la fermentación para la cerveza tipo Imperial Stout la temperatura empleada es elevada entre (15 y 25) °C. Las células de la levadura son pequeñas, lo que provoca que las burbujas del CO₂ permanezcan en la parte superior del tanque. Esta elevada fermentación genera cerveza del tipo Ale. Esta fermentación tiene una duración entre (4 a 6) días. (Revelo, 2021)

Según Morales - Toyo (2018) la fermentación es uno de los pasos más importantes pues es entonces cuando los carbohidratos como la glucosa se convierten en etanol y dióxido de carbono, como se puede observar en la ecuación 2.1:



No obstante, esta no es la única reacción que ocurre cuando se produce la cerveza. Los carbohidratos están involucrados en varios procesos y mecanismos como la reacción de Maillard, la degradación de Strecker y algunos procesos oxidativos, los cuales acabarán influyendo en el color, olor y sabor de la cerveza. Las proteínas, por otro lado, influyen en todo el proceso de elaboración de la cerveza, ya que existen enzimas que degradan el almidón, β-glucanos y proteínas. La formación de enlaces proteína-proteína, por ejemplo, estabilizan la espuma y son responsables del sabor de la cerveza y de su estabilidad. Todas estas reacciones dan lugar a sustancias que son las responsables del sabor final y de la estabilidad general de esta bebida (Brañez, 2021).

2.9.11 Control de fermentación

Supervisar y controlar el proceso de fermentación para garantizar una calidad constante de la cerveza. El desarrollo de sistemas de bajo coste para la monitorización del proceso de producción ayudaría a las micro cervecerías a lograr la consistencia deseada en la calidad del producto. El proceso de fermentación se divide en tres fases: latencia,

exponencial y estacionaria. Durante la primera fase, que puede durar hasta 24 horas, las células de levadura consumen el oxígeno del mosto; posteriormente, el número de células crece exponencialmente y se produce un rápido aumento en la concentración de alcohol (Buonocore et al., 2024).

2.9.12 Filtración

La función de los filtros de cerveza es aumentar la vida útil del producto y su resistencia sin necesidad de pasteurización. La filtración elimina microorganismos, proteínas que pueden alterar el sabor, las levaduras y que ayudarán a aumentar la producción de una forma muy destacada, sin afectar a la personalidad de la cerveza (Hunter, 2021).

2.9.13 Carbonatación natural

El método de carbonatación natural consiste en agregar azúcar fermentable una vez que la cerveza está terminada y lista para ser envasada, de manera que la levadura lleve adelante una segunda fermentación. El CO₂ generando esta oportunidad, y a diferencia de los que ocurre en la fermentación primaria en la que se escapa por el airlock, quedara retenido en el propio envase tanto si fuera botella como barril (Oddone, 2021, p. 24).

2.10 Parámetros físicos en el proceso de fermentación alcohólica de la cerveza

Los factores que influyen durante el proceso de fermentación alcohólica, se describen a continuación:

2.10.1 Oxígeno

Las levaduras no son organismos estrictos, requieren oxígeno para la síntesis de ácidos grasos y ergosterol necesarios para el crecimiento. El ergosterol mantiene las paredes celulares flexibles y regula la permeabilidad lo que es beneficioso para la salud de la levadura. La falta de oxígeno disuelto puede causar problemas como, detención de la fermentación, largos tiempos de fermentación, cervezas sub atenuadas y sabores extraños. La cantidad adecuada de oxígeno disuelto en el mosto pre fermentación es de 8 a 10 partes por millón (Dalmasso, 2020).

2.10.2 Densidad

La densidad del líquido alcohólico cambia durante la fermentación, ya que el azúcar se convierte en alcohol y en el caso de la cerveza, también en burbujas de dióxido de carbono. Antes de la fermentación, el líquido que contiene azúcares que se convertirán en alcohol que es más denso (NIST, 2025).

2.10.3 pH

La transformación de mosto a cerveza se acompaña de una disminución del pH, típicamente de poco más de 5,0 a aproximadamente 4,0. Este cambio es consecuencia del metabolismo de la levadura, que implica la excreción de varios ácidos orgánicos y la extrusión de protones en respuesta a la asimilación de azúcares. El patrón de cambio de pH es característico de una fermentación determinada. Por lo tanto, la medición en línea podría utilizarse para monitorizar el progreso de la fermentación. Esto es especialmente cierto dado que ahora se dispone de electrodos de pH capaces de soportar las exigencias del entorno de producción (Boulton & Quain, 2020, p. 416).

2.10.4 Temperatura

Un rango adecuado de temperaturas de proceso, en particular la temperatura de fermentación establecida, es esencial para la rápida propagación de la levadura e influyen en la velocidad de fermentación. Un aumento de temperatura puede incrementar la actividad de la levadura, pero conlleva desventajas como menor estabilidad de la espuma, coloración deficiente de la cerveza, menor pH y mayor pérdida de compuestos amargos (Kucharczyk, 2025).

La temperatura óptima de fermentación depende del tipo de levadura, de la cepa, y del tipo de cerveza y de los sabores que busca el cervecero. Tradicionalmente los cerveceros fermentan las cervezas Ale alrededor de 20°C y Lager entre unos 10-12°C aproximadamente (Dalmasso, 2020).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación, se realizó en los ambientes del Laboratorio de la carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), dependiente de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

3.2. Tipo de intervención

La metodología que se utilizó para la obtención de resultados experimentales del presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

- Análisis fisicoquímico y microbiológico de la malta y agua.
- Análisis de pH, porcentaje de alcohol y densidad de cerveza tipo Imperial Stout.
- Análisis sensorial para elegir la muestra ideal de cerveza tipo Imperial Stout.
- Análisis del diseño factorial 2^3 en la etapa de maceración de la cerveza.
- Análisis físico, fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza tipo Imperial Stout.
- Operacionalización de variables en el proceso de elaboración de cerveza tipo Imperial Stout.

3.3. Paradigma investigativo

Para (Hurtado & Toro, 1997) definen como paradigma de investigación es una concepción del objeto de estudio de una ciencia, de los problemas para estudiar, de la naturaleza de sus métodos y de la forma de explicar, interpretar o comprender los resultados de la investigación realizada. Según (Guba, 1990, p. 26) el paradigma positivista es hermenéutico y dialéctico, refinamiento hermenéutico y contrastación dialéctica. Estas metodologías están orientadas por la fidelidad al objeto de estudio, la complementariedad, en el sentido que el investigador complementa la investigación.

3.3.1 Paradigma positivista

El paradigma positivista se realiza en laboratorios especialmente diseñados o ajustándose a condiciones previamente establecidas, como la selección de muestras estadísticas. La investigación que se orienta por la concepción dialéctica del

conocimiento se debe desarrollar directamente en el sitio en el que se da ordinariamente el fenómeno (Meza, 2015). Según Martínez (2013), el paradigma positivista se basa en la idea de que el conocimiento válido proviene de la experiencia y la observación empírica, buscando leyes universales a través de métodos rigurosos. Se caracteriza por la objetividad, la medición y el uso de la estadística para explicar y predecir fenómenos, especialmente en ciencias naturales y sociales.

3.4. Enfoque investigativo

La definen como “un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno”. En general es un proceso creativo que rige por unas reglas de validez y aceptabilidad compartidas por la comunidad científica y que busca resolver problemas observados y sentidos produciendo conocimientos nuevos. Esas reglas son las que hacen parte del método científico y presentan sus particularidades y diferencias según los distintos enfoques, (Monje, 2011).

El enfoque cuantitativo es un proceso secuencial y estructurado en el que cada etapa sigue a la anterior sin saltos. Parte de una idea que se delimita para formular objetivos, preguntas e hipótesis, definir variables y diseñar su comprobación. Incluye la revisión de literatura, el desarrollo de un marco teórico, la medición de variables en un contexto específico y el análisis estadístico de los datos, para finalmente obtener conclusiones sobre las hipótesis planteadas (Hernández & Baptista, 2014, p. 4).

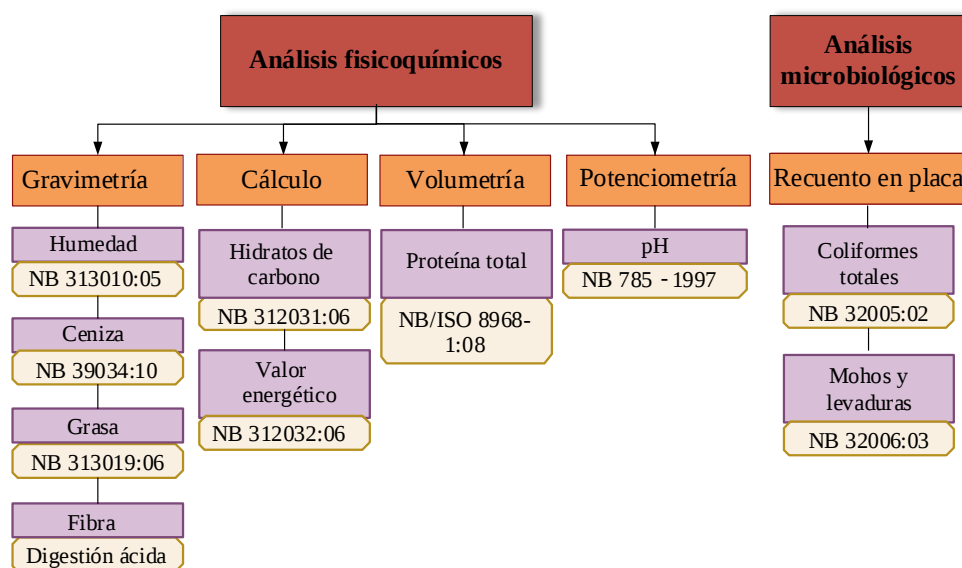
3.5. Métodos, técnicas e instrumentos

Según (Godínez, 2013), “La palabra método da la idea de orden y de pasos a seguir para lograr un objetivo. Cuando se habla de seguir un camino en la investigación, se está haciendo alusión a los pasos ordenados que permiten el acercamiento a la realidad; son posibles vías para llegar a un objetivo. La técnica propone las normas para ordenar las etapas del proceso de investigación, de igual modo, proporciona instrumentos de recolección, clasificación, medición, correlación y análisis de datos, y aporta a la ciencia los medios para aplicar el método. Lo que permite operativizar a la técnica es el instrumento de investigación”. Para Martínez (2013), los métodos, técnicas e

instrumentos son herramientas esenciales para obtener y analizar información. Los métodos son enfoques generales para abordar un problema, las técnicas son los procedimientos específicos para recolectar datos, y los instrumentos son las herramientas concretas utilizadas en esas técnicas.

3.5.1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la malta Pale Ale

En la Figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas que se utilizaron para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la malta Pale Ale. Realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

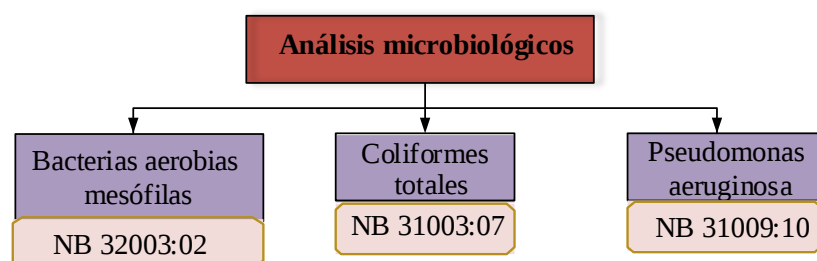


Fuente: CEANID, 2024

Figura 3.1: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la malta Pale Ale

3.5.2 Análisis microbiológicos en el agua de mesa purificada

En la Figura 3.2, se muestran las técnicas y métodos que se emplearon para determinar los análisis microbiológicos del agua de mesa purificada, realizado Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

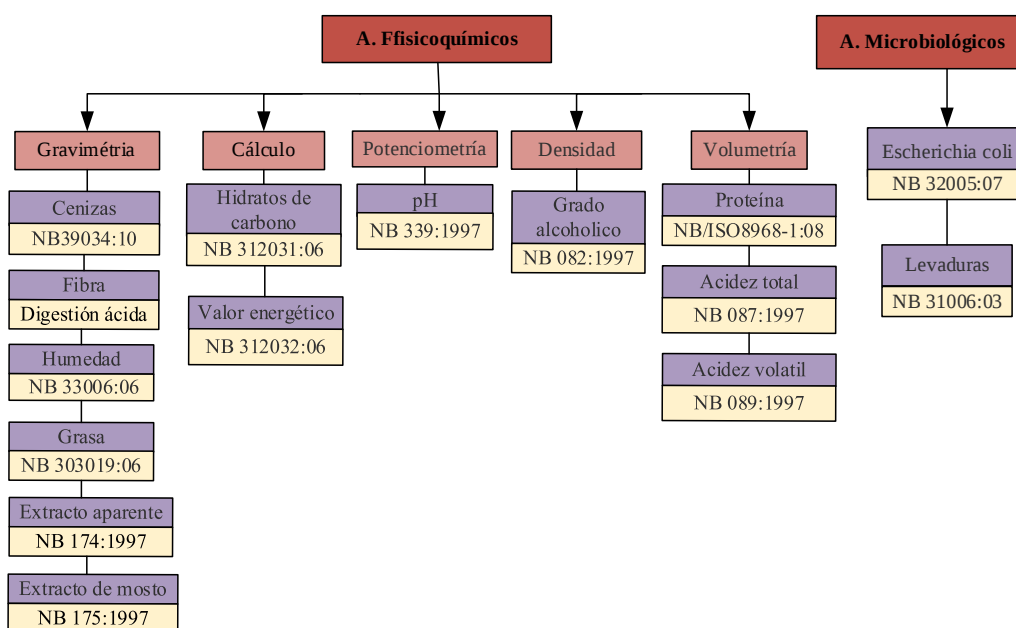


Fuente: CEANID, 2024

Figura 3.2: Análisis microbiológicos en el agua de mesa

3.5.3 Análisis microbiológicos y fisicoquímicos de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Figura 3.3, se muestran los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout. Realizado Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.



Fuente: CEANID, 2024

Figura 3.3: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza artesanal

3.6 Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Los equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina utilizados, se detallan a continuación:

3.6.1 Equipos de laboratorio

En la Figura 3.4, se detallan los equipos de proceso utilizados en la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

Fermentador Capacidad: 5 litros Tipo de material: plástico Tipo de cierre: rosca Tipo de tapa: plastico Marca: Flexiplast Altura: 21,5 cm Diámetro: 20 cm	Cocina industrial Capacidad: 2 hornillas Tipo de material: acero inoxidable Marca: todo inox s.r.l Industria: boliviana	Cooler Capacidad: 32,2 L Tipo de material: Plástico Marca: Rubbermaid Industria: E.E.U.U Diámetro: 54.6 cm Alto: 35 cm
Molino manual Capacidad: 0,7 kg Tipo de material: acero inoxidable Marca: Corons Altura: 62 cm Diámetro: 15 cm	Freezer Capacidad: 320 L Tipo de material: plástico Marca: Artic King Industria: Tipo de material: acero inoxidable, aluminio, plastico	Tapadora Capacidad: 350 ml a 1000 ml Tipo de material: acero inox y plástico Marca: QCHIAN Industria: China Diámetro: 46 cm

Fuente: LACIA, 2024

Figura 3.4: Equipos de laboratorio

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio utilizados para la realización del presente trabajo de investigación se detallan en la Figura 3.5:

Balanza analítica Rango: (4500-0,5)g Modelo: PS 4500. R2 Precision: ± 1g Dimesniones del platillo: 19,5*19,5 cm Industria: Poland	Alcoholómetro Rango: *0-100% vol. GL *10-44° (Cartier) Marca: Nahita Divisiones: *1/1 (Gay Lussac) *1/2 (Cartier) Calibracion: Manual Longitud: 29 cm	Refractómetro Rango: 0-32% Brix Presicion: ±0,2 % Calibracion: Con agua destilada Temperatura de referencia: 20°C Longitud: 17cm Material: Aluminio
Picnómetro Capacidad: 25 ml Material: Vidrio Precision: ± 2 ml Calibracion: Con agua destilada Temperatura de referencia: 20°C	Termómetro Material: Vidrio Rango: -10-200°C Longitud: 30cm Precision: ± 1°C	

Fuente: LACIA, 2024

Figura 3.5: Instrumentos de laboratorio

3.6.3 Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación se detallan en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1

<i>Materiales de laboratorio</i>			
Materiales	Cantidad	Capacidad	Material
Air lock	1	Mediano	Plástico
Embudo	1	Mediano	Plástico
Probeta	1	250,0 ml	Vidrio
Picnómetro	1	25,0 ml	Vidrio
Vaso de precipitación	2	100,0 ml	Vidrio

Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina utilizados en el presente trabajo de investigación se detallan en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2

<i>Utensilios de cocina</i>			
Utensilios	Cantidad	Capacidad	Material
Botellas	10	350,0 ml	Vidrio
Cuchillo	1	Mediano	Acero Inoxidable
Cuchara	1	Mediano	Acero Inoxidable
Espumadera	1	Grande	Acero Inoxidable
Olla	2	Mediana	Acero Inoxidable
Recipiente	2	Mediano	Plástico

Fuente: Elaboración propia

3.7 Insumo alimentarios

Los insumos alimentarios utilizados en el presente trabajo de investigación, se detallan en la Tabla 3.3:

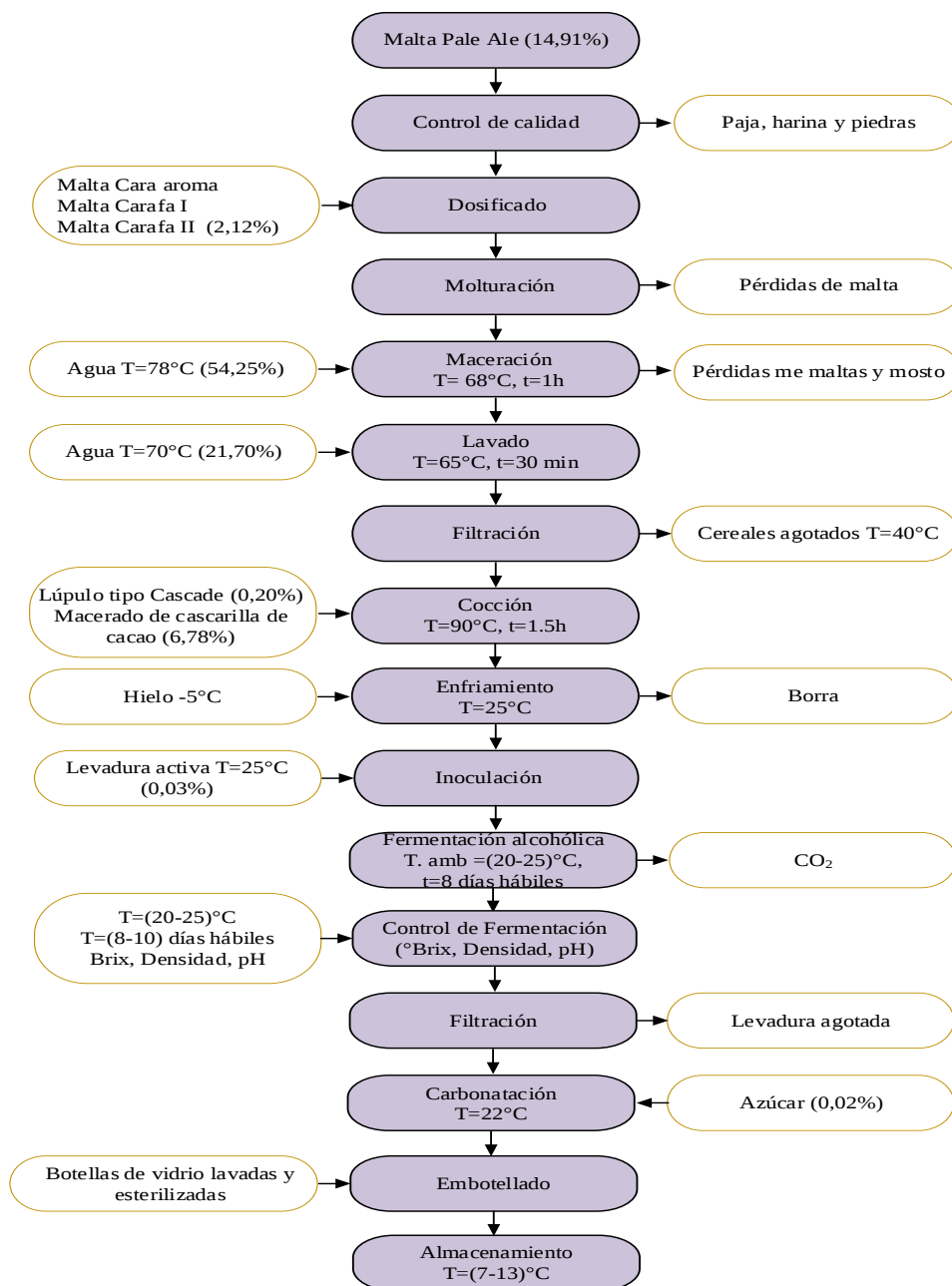
Tabla 3.3

<i>Insumos alimentarios</i>		
Insumos	Característica	Industria
Azúcar	Grano fino	Azúcar Bermejo-Tarija
Cascarilla de cacao	Cascarilla	Taboada-Sucre
Malta Cara Aroma	Grano	Weyerman-Argentina
Malta Carafa I	Grano	Weyerman-Argentina
Malta Carafa II	Grano	Weyerman-Argentina
Levadura S-04	Granulado	Weyerman-Argentina
Lúpulo	Pellets	Weyerman-Argentina

Fuente: Elaboración propia

3.8 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Figura 3.6, se muestra el diagrama de flujo para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout a nivel experimental:



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Diagrama de flujo para elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

3.9 Descripción del diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

A continuación, se describen el proceso de elaboración de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

3.9.1 Malta tipo Pale Ale

La malta tipo Pale Ale que fue obtenida de la cervecería artesanal MACABRA, su función principal es aportar azúcares fermentables necesarios para alcanzar la densidad inicial, sabor y color, sin la malta Pale Ale como base, la cerveza sería excesivamente densa y amarga. En la Figura 3.7 se muestra la malta tipo Pale Ale.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Malta tipo Pale Ale

3.9.2 Control de calidad

Se realizó principalmente en la malta el control visual y manual para separar pajas, harinas, granos en mal estado o piedras que puedan observarse en las maltas recibidas del proveedor, buenas materias primas garantizan un buen producto final. El control de calidad se realizó como se muestra en la Figura 3.8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Control de calidad

3.9.3 Dosificado

En esta etapa se realizó la dosificación de las maltas se pesaron en la balanza analítica la malta Pale Ale, malta Cara Aroma, malta Carafa I y malta Carafa II cada malta aportara características diferentes al producto final, se dosificaron los insumos como ser: lúpulo cascade (0,20%), levadura s-04 (0,03) y azúcar para la carbonatación natural (0,02). En la figura 3.9 se muestra el dosificado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Dosificado.

3.9.4 Molturación

La molturación se realizó triturando la malta mediante el molino manual marca “Corona” de acero inoxidable, con el objetivo de romper el endospermo, exponer los almidones y compuestos solubles que serán degradados durante el macerado. Es de prioridad mantener la cascara del grano lo más entero posible, ya que esta actúa como capa filtrante en el siguiente proceso. En la Figura 3.10 se muestra la molturación de las maltas con el molino manual.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Molturación de las maltas con el molino manual

3.9.5. Maceración

En esta etapa del proceso, con el propósito de activar las enzimas presentes en el grano que degradan los almidones en azúcares fermentables en el cual dentro de un cooler se coloca una tela filtrante cubriendo la base, se pone las maltas crudas acondicionadas sobre la tela y se vierte encima en agua a 78°C para que al nivelar su temperatura con la malta-cooler la maceración baje y se mantenga en 68°C, posteriormente se cierra el cooler y se deja reposando por el tiempo de una hora, controlando la temperatura en el macerado. La eficiencia del macerado determinará el perfil del mosto influyendo en el contenido alcohólico, cuerpo, color, espuma y características sensoriales. En la figura 3.11 se muestra la maceración de las maltas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11: Maceración de las maltas

3.9.6 Lavado

El lavado del grano se realiza en la etapa posterior a la maceración en el cooler con una tela filtrante se enjuaga el lecho de granos con agua caliente a 78°C con el fin de extraer los azúcares residuales, proteínas solubles, minerales y compuestos aromáticos que permanecen en la cama de malta, también optimiza el proceso del rendimiento extractivo de la malta contribuyendo a obtener un mosto con la densidad esperada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Lavado

3.9.7 Filtración

En esta etapa se agarra dentro de la tela filtrante los cereales agotados o bagazo con el fin de separar el mosto que será limpio y rico en azúcares fermentables. Este bagazo como residuo cervecero puede ser reutilizado como harina. En la Figura 3.13 se muestra la filtración.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Filtración

3.9.8 Cocción

En esta etapa se realizó la cocción del mosto que es un proceso de concentración de los azúcares del mosto por evaporación dentro de este proceso se añade el lúpulo tipo cascade en dos tandas, al minuto que empieza la ebullición del mosto se añadió 10g de lúpulo cascade y a los 75 minutos 5g de lúpulo cascade junto con el macerado de cascarilla de cacao. Durante este proceso se esteriliza el mosto eliminando los microorganismos no deseados que puedan adherirse. En la Figura 3.14 se muestra la cocción del mosto y adición del lúpulo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14: Cocción del mosto y adición del lúpulo cascade

3.9.9 Enfriamiento

Para el enfriamiento del mosto se utilizó una bañera con hielo y agua para bajar la temperatura del mosto a 25°C esta operación se debe hacer muy rápido con la tapa cerrada, pero sin movimientos bruscos ya que en la base de la olla quedarán los restos de lúpulo y realizar con mucha asepsia ya que el mosto rico en azúcares es altamente propenso a la contaminación microbiana. En la Figura 3.15 se muestra el enfriamiento del mosto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15: Enfriamiento del mosto

3.9.10 Inoculación

La inoculación del mosto es la etapa en la que se incorpora la levadura activa de acuerdo al tipo de cerveza que adquirimos de la tienda “El Barón de la Cerveza” que llega en sobres de 15g. Se preparo una solución con 125 ml de agua a 30°C en un vaso de precipitación se dejó activar por 10 minutos y después agregarle al mosto previamente aireado y enfriado al introducir la levadura inicio el proceso de fermentación alcohólica. En la Figura 3.16 se muestra la levadura activa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16: Levadura activa

3.9.11 Fermentación alcohólica

La fermentación se llevó a cabo durante 10 días en un valde de plástico con grifo y con un airlock de plástico para permitir la salida de CO₂ incluido en la tapa. Donde se realizó el control de la densidad, Brix y pH durante el proceso de fermentación alcohólica del mosto. El envase con el mosto debe permanecer inmóvil en un lugar sin luz solar y oscuro, ya que esta puede dañar la cerveza y afectar su sabor, la temperatura optima de fermentación del mosto será entre 20 y 25°C. en la Figura 3.17 se muestra la fermentación alcohólica del mosto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17: Fermentación alcohólica del mosto

3.9.12 Filtración

Transcurrido 10 días de fermentación realizaremos el trasvase del mosto ya fermentado para separar la borra que se formó al fondo del envase que consta de las levaduras y otras partículas del mosto, lo que mejora la claridad y vida útil de la cerveza.

3.9.13 Carbonatación

Se realizó la carbonatación natural añadiendo azúcar disuelto en 100 ml de agua de acuerdo al porcentaje de gas carbónico que se quiera obtener y después añadiendo esta solución en el mosto fermentado. En la Figura 3.18 se muestra la carbonatación.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.18: Carbonatación

3.9.14 Embotellado

El embotellado se realizó en botellas lavadas y esterilizadas de 300ml de color ámbar se procedió a envasar lentamente sin añadir oxígeno a la cerveza con tapas Corona y una tapadora de banco metálica. En la Figura 3.19 se muestra la cerveza embotellada.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.19: Embotellado

3.9.15 Almacenamiento

El almacenamiento de cerveza embotellada, se realizó en un lugar fresco, oscuro y estable, preferiblemente entre 7 y 13 °C, y con la botella en posición vertical. Evita la luz solar directa y los cambios bruscos de temperatura, ya que estos factores aceleran el envejecimiento y pueden alterar su sabor y aroma. En la Figura 3.20 se muestra el almacenamiento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20: Almacenamiento.

3.10 Evaluación sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial se ha definido como la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar esas respuestas a los productos percibidos a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Severiano, 2021). Según Lázaro (2023), las aplicaciones de los análisis sensoriales de alimentos son numerosas y se emplean con distintos objetivos: controlar procesos, control de calidad de un alimento, estudios de aceptabilidad o como herramienta para tomar decisiones en relación a nuevos ingredientes o procesos de producción.

En la Figura 3.21, se detallan las evaluaciones sensoriales realizadas para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

Evaluación sensorial	Código	Atributos	Escala hedónica	Test	Jueces
Pruebas preliminar 1	M01, M02, M03, M04	Aroma, amargor, color, sabor	Test 1	7 puntos	20
Prueba preliminar 2	M05, M06, M07, M08	Aroma, amargor, color, sabor	Test 2	7 puntos	20
Prueba preliminar 3	M04, M05	Aroma, amargor, color, sabor	Test 3	7 puntos	20
Prueba experimental 1	CIS01, CIS02, CIS03, CIS04	Aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma, sabor	Test 4	7 puntos	20
Prueba experimental 2	CIS05, CIS06, CIS07, CIS08	Aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma, sabor	Test 5	7 puntos	20
Prueba final	CIS09, CIS10, CIS11	Aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma, sabor	Test 6	7 puntos	20

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21: Evaluaciones sensoriales de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

3.11 Diseño experimental

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejores situaciones complejas de relación causa-efecto (Gutierrez & De la Vara, 2008, p. 6).

La aplicación del diseño experimental son técnicas de estadística que permiten identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto (Castro et al., 2017).

3.12 Diseño factorial

El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Los factores pueden ser de tipo cualitativo o de tipo cuantitativo (Salazar, 2008). Según (Gabriel et al, 2017), “un factor es un tipo de tratamiento y en un experimento factorial cualquier factor tendrá varios tratamientos asociados llamados niveles”.

En el diseño factorial 2^k a ser utilizado en la parte experimental del presente trabajo de investigación se muestra en la ecuación 3.1

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

En donde:

2 = número de niveles

k = número de variables

3.12.1 Diseño experimental 2^3 en el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Para realizar el diseño experimental en la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout, se aplicó de acuerdo a la ecuación 3.1, cuyo diseño factorial correspondió a la ecuación 3.2.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

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

A = Temperatura de maceración **(A)** = 2 niveles

B = Tiempo de cocción **(B)** = 2 niveles

C = Carbonatación **(C)** = 2 niveles

En la Tabla 3.4, se muestran los niveles de variación de los factores que se aplicaron en el proceso de maceración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

Tabla 3.4

Factores en la etapa de maceración de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Factores	Nivel	Nivel	Unidad
	inferior	superior	
Temperatura de maceración (A)	63	68	°C
Tiempo de cocción (B)	1	2	Horas
Carbonatación (C)	2	4	%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.5 Se muestra la matriz del diseño factorial aplicado en la etapa de maceración, cocción y carbonatación, conformada por 3 variables: temperatura de maceración (A), tiempo de cocción (B) y carbonatación (C).

Tabla 3.5

Matriz experimental de factores para elaboración de cerveza tipo Imperial Stout

Combinaciones de tratamientos	Variables			Interacciones				Respuesta
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Yi
(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

3.13 Operacionalización de variables para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Tabla 3.6, se muestra la operacionalización de las variables dependiente e independiente del presente trabajo de investigación para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

Tabla 3.7

Operacionalización de variables de la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Hipótesis	Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala	
El proceso de fermentación alcohólica permitió obtener cerveza artesanal tipo Imperial Stout al fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado del departamento de Tarija.	Independiente	Proceso de fermentación alcohólica	Es el proceso de fermentación anaeróbica que convierte el azúcar en etanol y dióxido de carbono y se utiliza para la elaboración de cerveza y la fermentación alcohólica de bebidas (FAO, 2023).	Densidad	Picnómetro	g/ml
				Temperatura	Termómetro	°C
				Sólidos solubles	Brixometro	°Brix
				Tiempo de cocción	horas	1-2
				Grado alcohólico	Alcoholímetro	°GL
				Tiempo de fermentación	Días	8-12
	Dependiente	Cerveza tipo Imperial Stout	Definición de la cerveza Es el producto de fermentación alcohólica mediante levaduras cerveceras de un mosto de malta de cebada o extracto de malta, elaborado a base de agua potable, malta de cebada, lúpulo y eventualmente adjuntos (IBNORCA, 2001).	Evaluación sensorial	Aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma, sabor	Escala hedónica
				Análisis fisicoquímico	Carbohidratos, cenizas, humedad, proteína, fibra, grasa	g/100g
				Análisis microbiológico	Escherichia Coli, Mohos y levaduras	UFC/g
				pH	pH metro	1-14

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 Caracterización de la malta *Pale Ale*

En el proceso de caracterización de la malta *Pale Ale*, se han considerado parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales se detallan a continuación.

4.1.1 Propiedades fisicoquímicas de la malta *Pale Ale*

En la Tabla 4.1, se presentan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la malta *Pale Ale*.

Tabla 4.1

<i>Análisis fisicoquímico de malta <i>Pale Ale</i></i>		
Parámetros	Unidad	Resultados
Ceniza	g/100g	1,48
Grasa	g/100g	1,45
Fibra	g/100g	11,53
Hidratos de carbono	g/100g	80,03
Humedad	g/100g	6,82
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	10,22
Valor energético	kcal/100g	374,05

Fuente: CEANID, 2024

La Tabla 4.1 muestra los resultados del análisis fisicoquímico realizado en la malta *Pale Ale*, los cuales expresan los siguientes valores: Ceniza 1,48 %, grasa 1,45%, fibra 11,53%, hidratos de carbono 80,03%, humedad 6,82%, proteína total (Nx6,25) 10,22% y valor energético 374,05 Kcal/100g.

4.1.2 Análisis microbiológico de la malta *Pale Ale*

En la Tabla 4.2, se presentan los resultados del análisis microbiológico realizado en la malta *Pale Ale*.

Tabla 4.2

<i>Análisis microbiológico de la malta Pale Ale</i>		
Microorganismos	Unidad	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	$2,1 \times 10^3$
Mohos y levaduras	UFC/g	$1,1 \times 10^4$

Fuente: CEANID, 2024

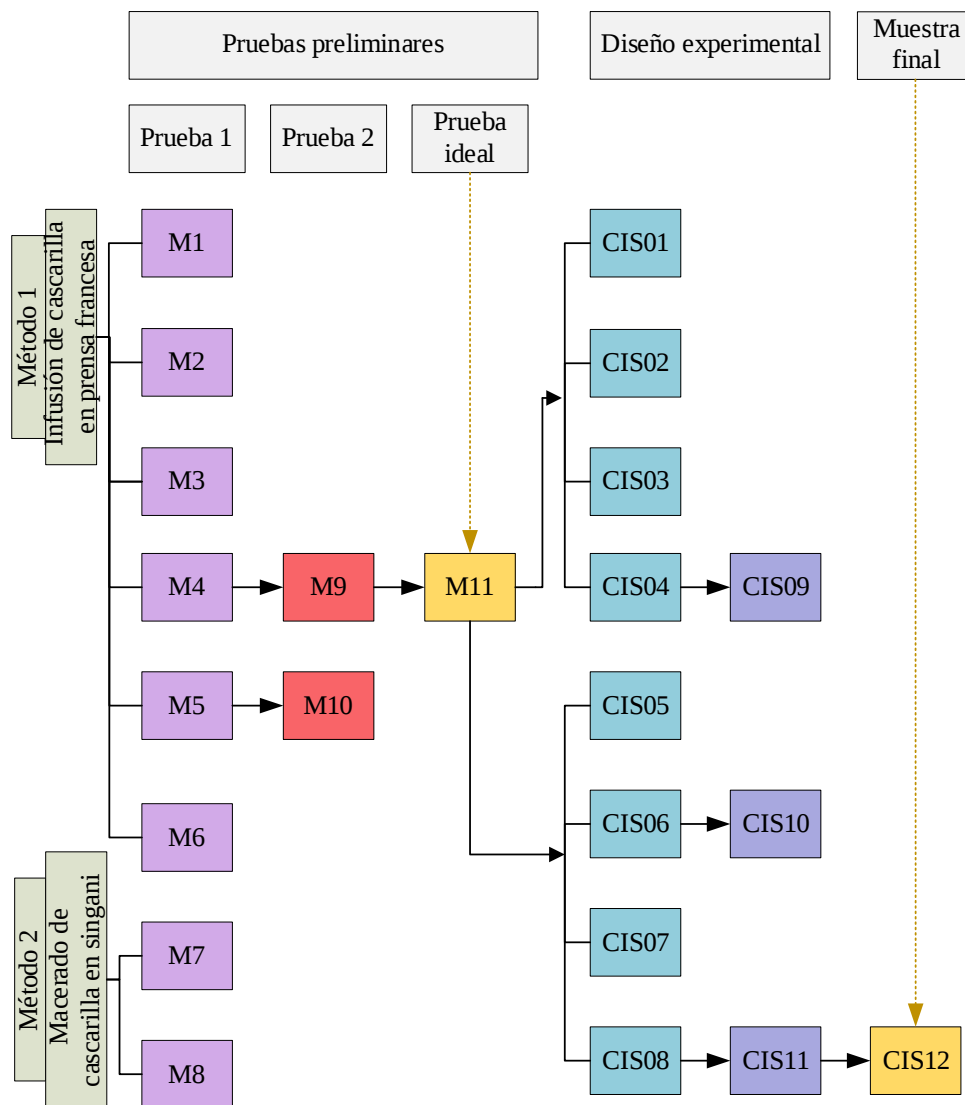
En la Tabla 4.2, se muestra que la malta *Pale Ale* presenta: *Coliformes totales* $2,1 \times 10^3$ UFC/g y *mohos y levaduras* $1,1 \times 10^4$ UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Con el objetivo de caracterizar las variables en la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout, se realizaron pruebas preliminares con el fin de establecer los parámetros de laboratorio para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

4.2.1 Pruebas preliminares para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En base a la dosificación de Strong & England (2015), se procedió a la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout, con el propósito de llevar a cabo pruebas preliminares a nivel experimental. Utilizando dos métodos: Método 1 (Infusión de cascarilla en prensa francesa) y Método 2 (Macerado de cascarilla en singani). Para tal efecto se realizaron seis pruebas para el Método 1 (M1, M2, M3, M3, M4, M5 y M6) y dos pruebas para el Método 2 (M7 y M8), con un total de ocho muestras. En el proceso de elaboración se procedió a la variación del tiempo de infusión y porcentaje de malta y lúpulo, siendo seleccionadas las muestras (M4 y M5) para su posterior recodificación como: M9 y M10, respectivamente. La muestra M9 fue identificada como la muestra ideal, siendo aquella que mejor se adecuó a los criterios de calidad y aceptabilidad establecidos mediante evaluación sensorial. Como se muestra en la Figura 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Pruebas preliminares para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

4.2.2 Variación en la dosificación de materia prima e insumos en las pruebas preliminares de la prueba 1

Para la dosificación de las materias primas e insumos, se realizó la variación de ocho ensayos (M1, M2, M3, M3, M4, M5, M6, M7 y M8) que se describen en la Figura 4.2.

M1	Porcentaje (%)	M2	Porcentaje (%)	M3	Porcentaje (%)	M4	Porcentaje (%)
Pale ale	14,20	Pale ale	14,02	Pale ale	14,03	Pale ale	14,07
Cara aroma	1,16	Brown	1,15	Cara aroma	1,15	Cara aroma	1,15
Carafa I	0,43	Carafa I	0,42	Carafa II	0,42	Carafa I	0,42
Chocolate	0,43	Chocolate	0,42	Chocolate	0,42	CArafa II	0,42
Levadura	0,04	Levadura	0,04	Levadura	0,04	Levadura	0,03
Lupulo	0,13	Lupulo	0,06	Lupulo	0,13	Lupulo	0,13
Infusion	12,65	Infusion	12,49	Infusion	12,25	Infusion	12,15
Agua	70,98	Agua	71,39	Agua	71,57	Agua	71,63

M5	Porcentaje (%)	M6	Porcentaje (%)	M7	Porcentaje (%)	M8	Porcentaje (%)
Pale ale	14,15	Pale ale	14,07	Pale ale	15,23	Pale ale	15,23
Cara aroma	1,16	Brown	1,15	Cara aroma	1,25	Chocolate	1,25
Perla negra	0,42	Carafa I	0,42	Perla negra	0,46	Carafa I	0,46
Chocolate	0,42	Chocolate	0,42	Carafa II	0,46	Biscuit	0,46
Levadura	0,04	Levadura	0,04	Levadura	0,04	Levadura	0,03
Lupulo	0,19	Lupulo	0,13	Lupulo	0,21	Lupulo	0,21
Infusion	11,58	Infusion	12,65	Macerado	4,15	Macerado	4,18
Agua	72,04	Agua	71,62	Agua	78,21	Agua	78,07

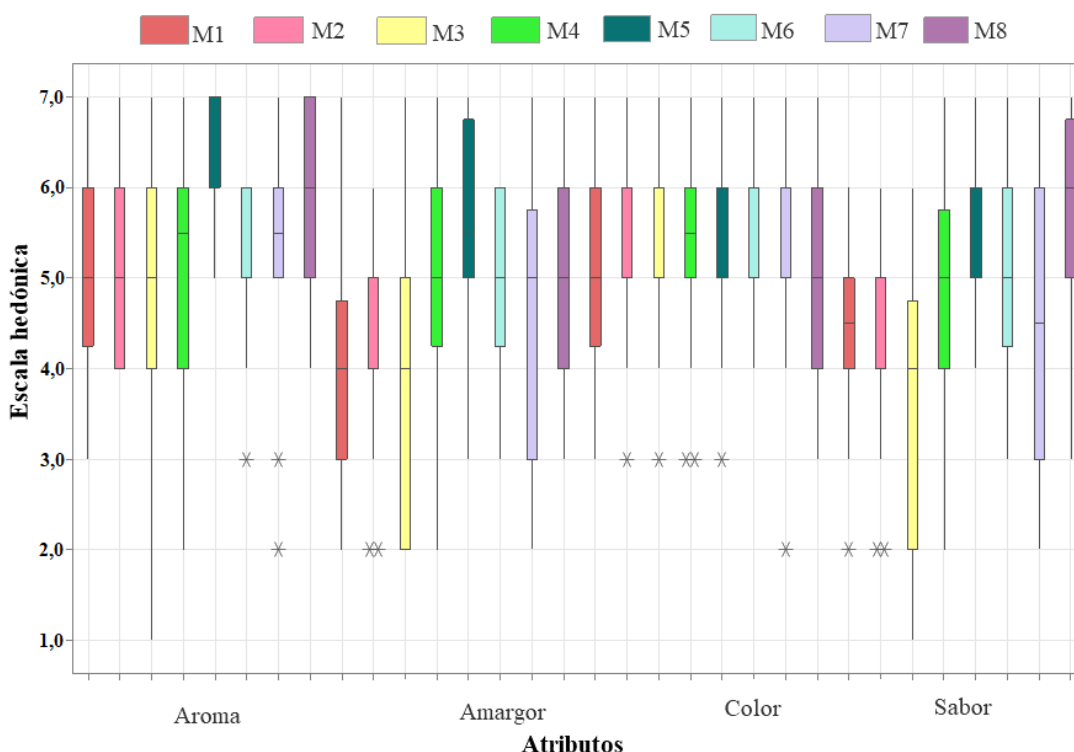
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Variación en la dosificación de materia prima e insumos para la prueba 1

En base a las muestras preliminares presentadas en la Figura 4.2, identificadas como M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 y M8, se llevaron a cabo una evaluación sensorial para los atributos: aroma, amargor, color y sabor. Aplicando una escala hedónica de siete puntos con 20 jueces no entrenados.

4.2.2.1 Estadístico de caja y bigote de las pruebas preliminares para la prueba 1

En la Figura 4.3 se presenta el análisis estadístico de caja y bigote correspondiente a los datos extraídos de los atributos de: aroma, amargor, color y sabor; realizado en el software estadístico Minitap19 para Windows 10.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Caja y bigote de las pruebas preliminares para la prueba 1

Según la Figura 4.3, se puede observar los resultados estadísticos de caja y bigote para la prueba 1, en función de las medianas para los atributos: aroma 5,0 (M1, M2, M3 y M6), 5,5 (M4 y M7), 6,0 (M5 y M8); amargor 4,0 (M1 y M3); 5,0 (M2, M4, M6, M7 y M8), 5,5 (M5); color 4,0 (M1, M2, M3, M5, M6, M7 y M8), 5,5 (M4) y sabor 4,5 (M1 y M7), 4,0 (M2 y M3), 5,0 (M4, M5 y M6), 6,0 (M8). Se determina que la preferencia de los jueces es por las muestras M4 y M5 por ser las que mayor mediana presentan en sus atributos sensoriales para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.3 Variación en la dosificación de materia prima e insumos en las pruebas preliminares para la prueba 2

En función del resultado de la Figura 4.3, las muestras M4 y M5 recodificadas como M9 y M10 se modificó la dosificación de malta y lúpulo, para mejorar el amargor, sabor y color. En la Tabla 4.3 se detalla dicha dosificación para cada una de las muestras.

Tabla 4.3

Variación porcentual de materia prima e insumos para la prueba 2

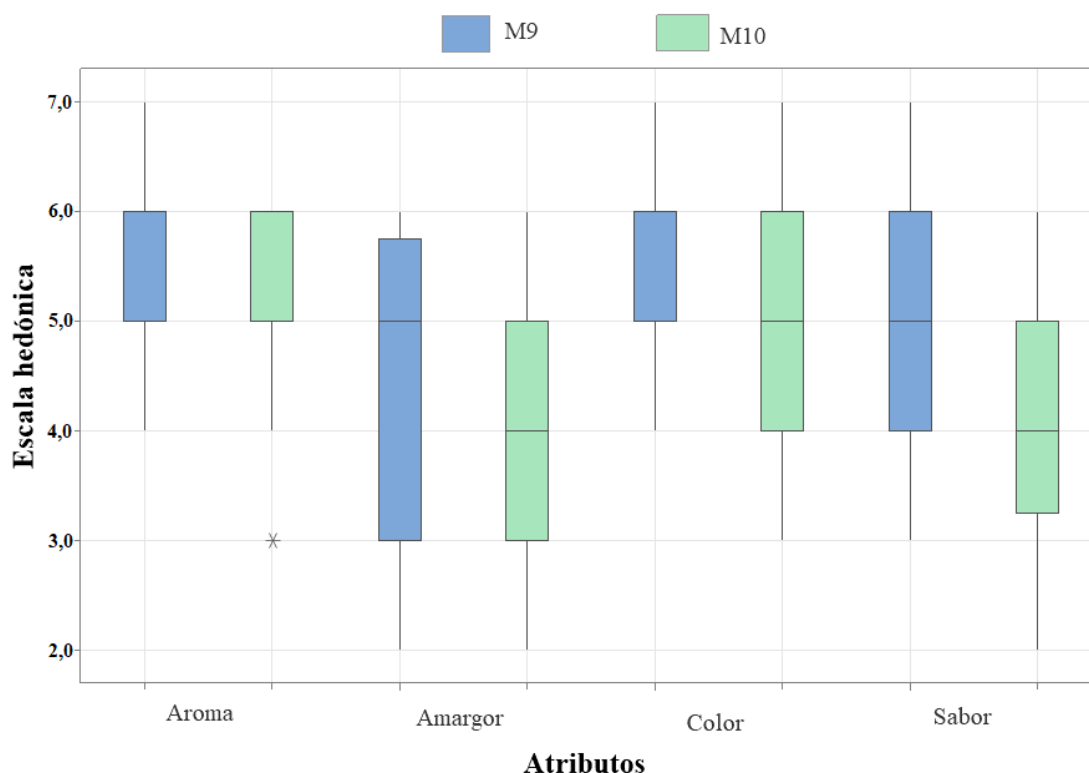
M9			M10		
Materia prima e insumos	Cantidad (g)	Porcentaje (%)	Materia prima e insumos	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Pale ale	1100	14,02	Pale ale	1100	14,15
Cara aroma	90	1,15	Cara aroma	90	1,16
Carafa I	33	0,42	Perla negra	33	0,42
Carafa II	33	0,42	Chocolate	33	0,42
Levadura	2,3	0,03	Levadura	2,8	0,04
Lúpulo	15	0,19	Lúpulo	5	0,06
Infusión	950	12,11	Infusión	900	11,58
Agua	5600	71,39	Agua	5600	72,04
Total	7823,3	99,74	Total	7763,8	99,87

Fuente: Elaboración propia

En base a la dosificación de las muestras presentadas en la Tabla 4.3, se llevó a cabo una evaluación sensorial aplicando una escala hedónica de siete puntos con la participación de 20 jueces no entrenados en donde valoraron los atributos: aroma, amargor, color y sabor.

4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote de las pruebas preliminares para la prueba 2

En la Figura 4.4, muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del (Anexo C.2), para los atributos: aroma, amargor, color y sabor de las dos muestras (M09 y M10).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Caja y bigote de las pruebas preliminares para la prueba 2

Según la Figura 4.4, se puede observar los resultados en función de las medianas y cuartiles, para los atributos: aroma 5,0 en la muestra (M9) y (M10); amargor 5,0 en la muestra (M9) y 4,0 en (M10); color 5,0 en (M9) y (M10); sabor 5,0 en la muestra (M9) y 4,0 en (M10). Se considera de acuerdo al tamaño y ubicación de la caja si hay diferencia, entre los atributos: apariencia, olor, sabor y textura, en base a este criterio se secciona la muestra M9 como muestra ideal.

4.3 Diseño factorial 2^3 en el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

La aplicación del diseño experimental en la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout, se realizó en base a la muestra ideal (M9) (Figura 4.4), considerando las variables: tiempo de maceración (A), tiempo de cocción (B) y Carbonatación (C), los cuales son factores influyentes en la elaboración del producto, para esto se tomó en cuenta como variables respuesta de pH y °Brix.

4.3.1 Análisis de varianza para la variable pH en la elaboración de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

La variable evaluada es el pH en la cerveza artesanal tipo Imperial Stout, cuya determinación se llevó a cabo mediante el empleo del pHmetro, conforme se detalla en el (Anexo D.2). En base al diseño experimental durante la elaboración del producto, se procedió a efectuar el análisis estadístico correspondiente a la variable pH, detallado en la Tabla 4.4, este análisis se llevó a cabo mediante la aplicación del programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para el sistema operativo Windows. Los resultados detallados se encuentran en el (Anexo F.1).

Tabla 4.4

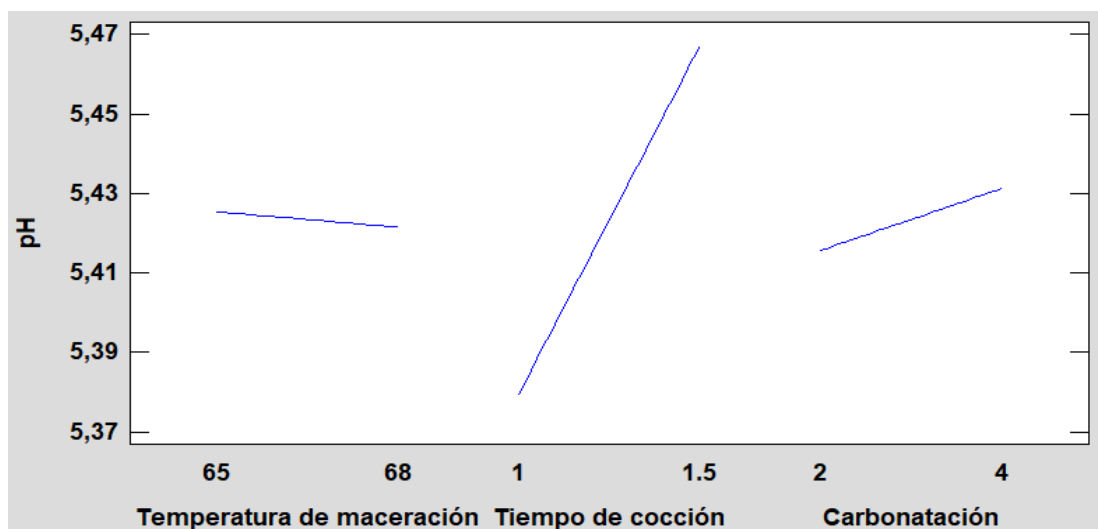
Análisis de varianza en función de la variable pH

<i>Factor</i>	<i>SC</i>	<i>Gl</i>	<i>CM</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Temperatura	0,0000601	1	0,0000601	0,02	0,8984
B: Tiempo	0,0307126	1	0,0307126	8,88	0,0176
C: Carbonatación	0,0009766	1	0,0009766	0,28	0,6095
AB	0,0102516	1	0,0102516	2,97	0,1234
AC	0,0009766	1	0,0009766	0,28	0,6095
BC	0,0008266	1	0,0008266	0,24	0,6380
ABC	0,0123766	1	0,0123766	3,58	0,0951
Error	0,0276595	8	0,0034574	-	-
Total	0,0838399	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 4.4, donde detalla el análisis de varianza, se puede observar que los factores A, C e interacciones AB, AC, BC y ABC no existe diferencia significativa ya que Valor-P > 0,05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor B, existe diferencia significativa, debido a que tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ se rechaza la hipótesis planteada.

En la Figura 4.6, se muestra los efectos principales para los factores A (temperatura de maceración), B (tiempo de cocción) y C (carbonatación).

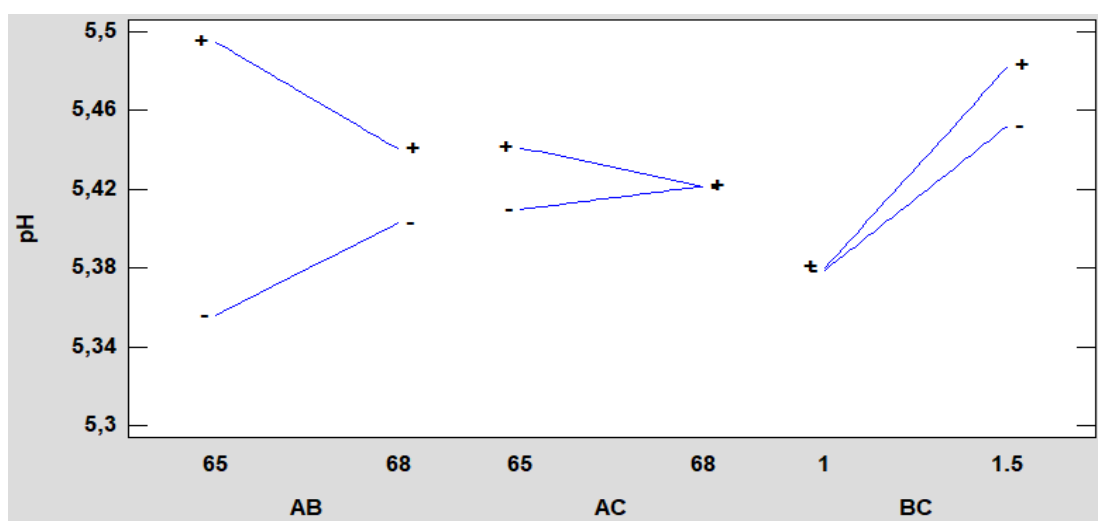


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Efectos principales para el pH

Según la Figura 4.5, se puede observar que los factores tiempo de cocción (1,0 – 1,5) horas incide significativamente en el pH cuando se encuentran en su nivel alto y bajo, en cuanto al factor temperatura de maceración (65 - 68) °C y factor carbonatación (2 – 4) % no inciden significativamente en el pH cuando se encuentra en su nivel alto y bajo.

La Figura 4.6, muestra las interacciones AB (temperatura de maceración – tiempo de cocción), AC (temperatura de macerado - porcentaje de carbonatación) y BC (tiempo de cocción - porcentaje de carbonatación), para la variable respuesta pH.

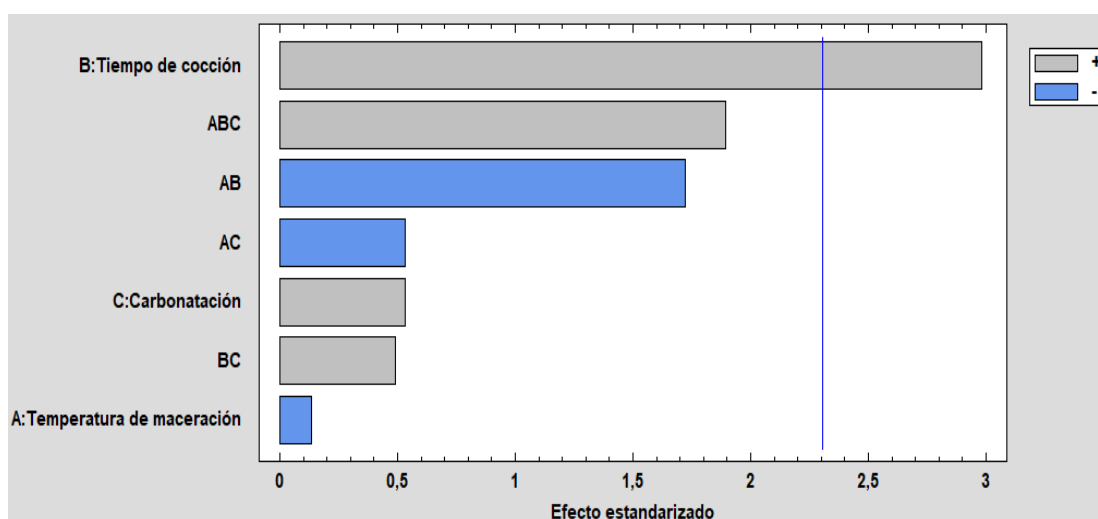


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Interacciones de factores para el pH

En la Figura 4.6, se puede observar que la interacción AB (temperatura de maceración- tiempo de cocción) y BC (tiempo de cocción – porcentaje de carbonatación), estando en su nivel alto y bajo no son significativos, ya que los factores de las variables no interaccionan entre sí. Sin embargo, en la interacción AC (temperatura de maceración- porcentaje de carbonatación) y BC estando en el nivel alto y bajo es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí.

En la Figura 4.7, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con el valor de 2,3, de tal manera si los valores exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Diagrama de Pareto estandarizada para el pH

En la Figura 4.7, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde el factor: tiempo de cocción (B), es estadísticamente significativo y los factores temperatura– tiempo– carbonatación (ABC), temperatura – tiempo (AB), temperatura - carbonatación (AC), carbonatación (C), tiempo – carbonatación (BC) y temperatura (A) no son estadísticamente significativos, debido a que ninguna de los valores de los factores sobrepasan la línea de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2 Análisis de varianza para variable °Brix en la elaboración de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

La variable evaluada es °Brix de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout, cuya determinación se llevó a cabo mediante el empleo de refractómetro, conforme detalla en el (Anexo). En base al diseño experimental durante la elaboración del producto, se procedió a efectuar el análisis estadístico correspondiente a la variable respuesta °Brix, detallado en la Tabla 4.5, este análisis se llevó a cabo mediante la aplicación del programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para el sistema operativo Windows. Los resultados detallados se encuentran en el (Anexo F.2).

Tabla 4.5

Análisis de varianza en función de la variable °Brix

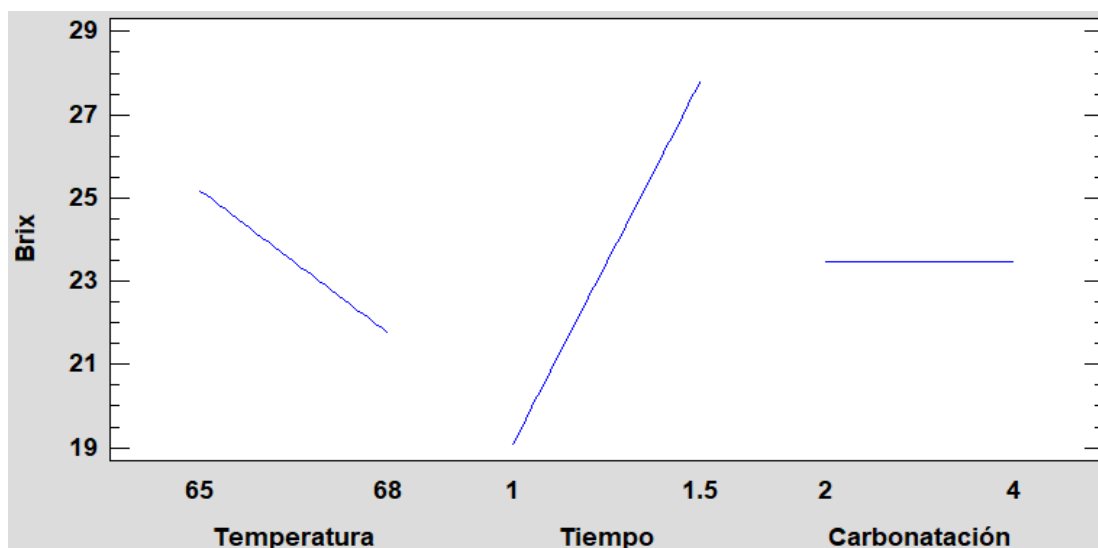
Factor	Suma de Cuadrados	Gl	CM	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	46,9225	1	46,9225	87,91	0,0000*
B: Tiempo	304,503	1	304,503	570,50	0,0000*
C: Carbonatación	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
AB	34,2225	1	34,2225	64,12	0,0000*
AC	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
BC	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
ABC	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
Error total	4,27	8	0,53375	-	-
Total (corr.)	389,918	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

(*) significativo

Según la Tabla 4.5, donde detalla el análisis de varianza, se puede observar que el factor C e interacciones AC, BC y ABC, no existe diferencia significativa ya que Valor-P > 0,05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor A, B y la interacción AB, existe diferencia significativa, debido a que tienen un valor-P < 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de significancia $\alpha=0,05$ se rechaza la hipótesis planteada.

En la Figura 4.8, se muestra los efectos principales para los factores temperatura de maceración (A), tiempo de cocción (B) y carbonatación (C)

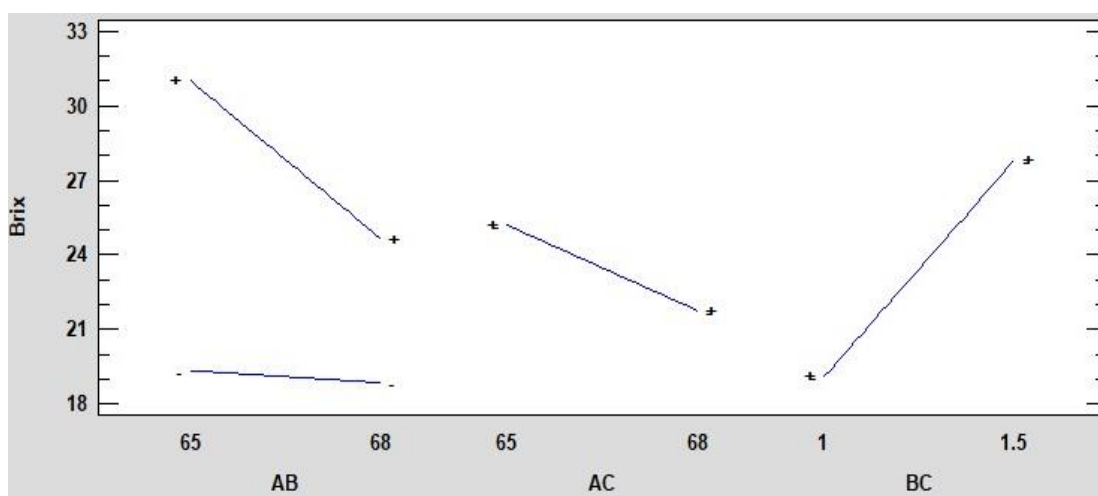


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Efectos principales de la variable respuesta °Brix

Según la Figura 4.8, se puede observar que los factores temperatura (65 - 68) °C y tiempo (1,0- 1,5) horas inciden significativamente en los °Brix cuando se encuentran en su nivel alto y bajo. Sin embargo, el factor carbonatación (2- 4) % no incide significativamente en los °Brix cuando se encuentra en su nivel alto y bajo.

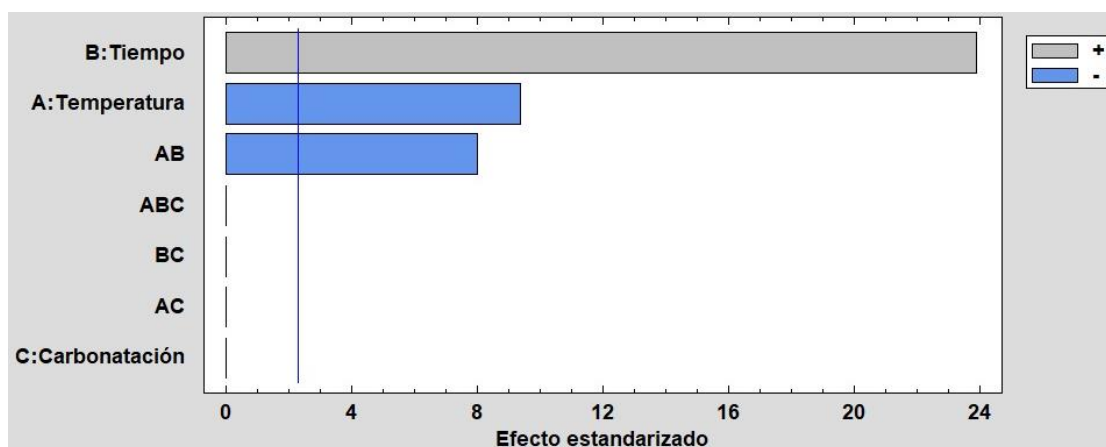
La Figura 4.9, muestra las interacciones temperatura de maceración- tiempo de cocción (AB), temperatura - carbonatación (AC) y tiempo - carbonatación (BC), para la variable respuesta °Brix.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Interacciones de factores para °Brix

En la Figura 4.10, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con el valor de 2,306, de tal manera si los valores exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Diagrama de Pareto estandarizada para °Brix

En la Figura 4.10, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; Donde los factores temperatura – tiempo (AB), temperatura (A), y tiempo (B) son estadísticamente significativos; en cambio los factores temperatura – tiempo – carbonatación (ABC), tiempo – carbonatación (BC), temperatura – carbonatación (AC) y el factor espesor de carbonatación (C) no son estadísticamente significativos, debido a que los valores de dicho factores no sobrepasan la línea de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.3 Evaluación sensorial del factor temperatura en la etapa de maceración

Para realizar la evaluación sensorial de las ocho muestras experimentales de cerveza tipo Imperial Stout, se procedió a evaluar las muestras en función del factor temperatura en la etapa de maceración de su nivel alto y bajo, detallado en la Tabla 4.6, Con la finalidad de complementar el diseño experimental y corroborar los efectos de los factores tomados en cuenta; así mismo, obtener la muestra final de cerveza tipo

Imperial Stout cumpliría con los criterios establecidos para su desarrollo y aceptabilidad sensorial.

Tabla 4.6

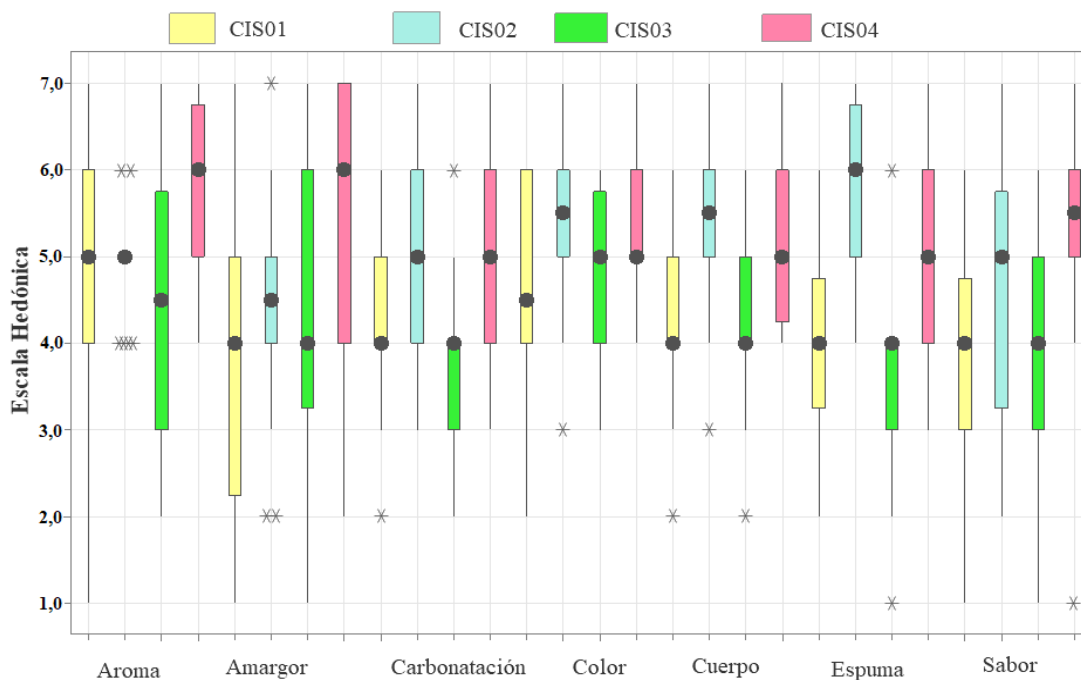
Factor temperatura en la etapa de maceración

Nivel superior		Nivel inferior	
Muestras	(63 °C)	Muestras	(68 °C)
CIS01	+1	CIS05	-1
CIS02	+1	CIS06	-1
CIS03	+1	CIS07	-1
CIS04	+1	CIS08	-1

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.1 Estadístico de caja y bigote para el factor temperatura en la etapa de maceración del diseño experimental en el nivel superior

La Figura 4.11, muestra los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos del (Anexo C.2), para atributos evaluados: aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma y sabor.



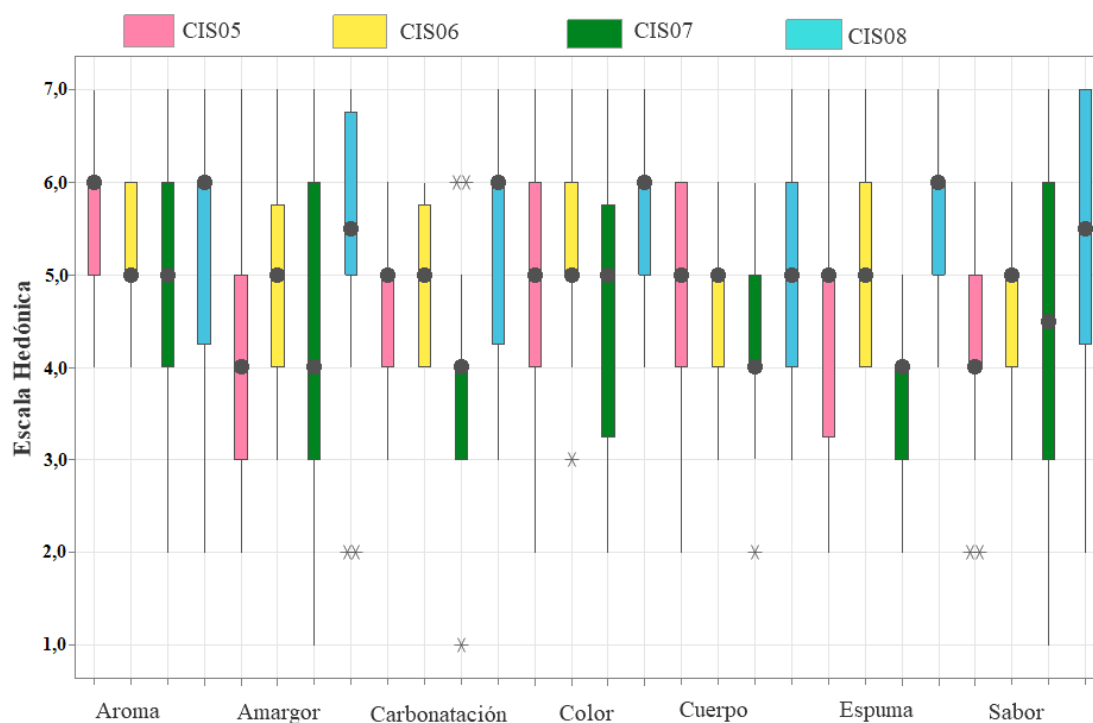
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Estadístico caja y bigote de muestras de nivel superior para el factor temperatura de maceración

Según la Figura 4.11, se puede observar que los resultados de la mediana en función de los atributos de las muestras evaluadas no tienen diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, excepto en el atributo aroma y amargor, donde existe diferencia significativa entre las muestras CIS01, CIS02, CIS03 y CIS04; de esta manera, de acuerdo al análisis de tamaño y ubicación de la caja y de la mediana si hay diferencia, entre los atributos: aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma y sabor en base a este criterio se selecciona la muestra CIS04 como la muestra más aceptada por los jueces.

4.3.3.2 Estadístico de caja y bigote para el factor temperatura en la etapa de maceración del diseño experimental en el nivel inferior

La Figura 4.12, muestra los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos del (Anexo C.2), para atributos evaluados: aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma y sabor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Estadístico caja y bigote de muestras de nivel inferior para el factor temperatura de maceración

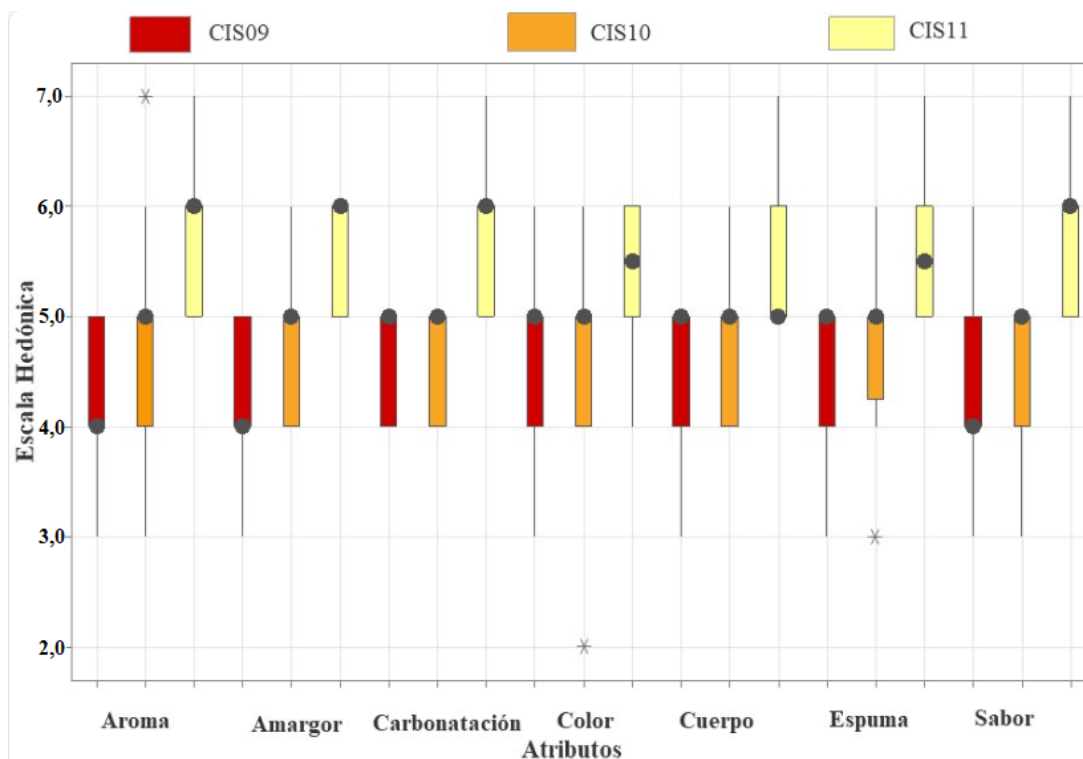
Según la figura 4.12, se puede observar que los resultados de la mediana en función de los atributos de las muestras evaluadas no tienen diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, excepto en el atributo sabor y amargor, donde existe diferencia significativa entre las muestras CIS05, CIS06, CIS07 y CIS08; de esta manera, de acuerdo al análisis de tamaño y ubicación de la caja y de la mediana si hay diferencia, entre los atributos: aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma y sabor en base a este criterio se selecciona la muestra CIS06 y CIS08 como las muestras más aceptadas por los jueces.

4.4 Evaluación sensorial para elegir la muestra final de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Para elegir la muestra final se hizo una evaluación sensorial con escala hedónica de siete puntos, donde se evaluaron la muestra ideal (M9) recodificada como (M11) juntamente con 3 muestras del diseño experimental; muestra (CIS04) de nivel superior, recodificada como (CIS09); muestra (CIS06) recodificada como (CIS10) y la muestra (CIS08) recodificada como (CIS11), de nivel inferior.

4.4.1 Estadístico de caja y bigote para elegir la muestra final de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Figura 4.13, se muestra los estadísticos de caja y bigote de los datos extraídos del (Anexo C.2), para atributos evaluados: aroma, amargor, carbonatación, color, cuerpo, espuma y sabor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Estadístico caja y bigote para muestra final de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Según la Figura 4.13, se puede observar los resultados en función de las medianas para los atributos de las muestras evaluadas; aroma y amargor 4,0 (CIS09), 5,0 (CIS10), 6,0 (CIS11); carbonatación 5,0 (CIS09 y CIS10) y 6,0 (CIS11); color y espuma 5,0 (CIS09 y CIS10), 5,5 (CIS11); cuerpo 5,0 (CIS09, CIS10 y CIS11) y sabor 4,0 (CIS09), 5,0 (CIS10) y 6,0 (CIS11), Así mismo se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, de acuerdo a este análisis se elige la muestra CIS11 como muestra más aceptada por los jueces.

4.5 Caracterización de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la caracterización del producto terminado, se tomaron en cuenta la dosificación, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout, que se detallan a continuación:

4.5.1 Dosificación del producto terminado de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Tabla 4.7, detalla la dosificación del producto terminado de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

Tabla 4.7

Dosificación de muestra final de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Materia prima e insumos	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Pale ale	1100	14,91
Cara aroma	90	1,22
Carafa I	33	0,45
Carafa II	33	0,45
Levadura	2,3	0,03
Lúpulo	15	0,20
Infusión	500	6,78
Agua	5600	75,95

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Análisis fisicoquímico de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Tabla 4.8, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la cerveza artesanal de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.8

Análisis fisicoquímico de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Parámetros	Cantidad	Unidad
Acidez total (como ac. Láctico)	0,36	%
Acidez volátil (como ac. Acético)	(*)	%
Cenizas	0,32	g/100g
Extracto aparente	4,08	g/100g
Extracto de mosto original	2,88	° Plato
Fibra	(*)	g/100g
Materia grasa	0,02	g/100g
Grado alcohólico (20°C)	9,00	°GL
Grado de fermentación real	96,85	°GL
Hidratos de carbono	6,49	g/100g
Humedad	92,30	g/100g
Proteína total (Nx6,25)	0,87	g/100g
pH (20°C)	4,50	
Valor energético	80	kcal/100g
Donde (*) = significa que no hay desarrollo de colonias.		

Fuente: CEANID, 2024

En la Tabla 4.8, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico realizado en la cerveza artesanal tipo Imperial Stout. Los datos obtenidos expresan los siguientes valores: acidez total (como ácido láctico) 0,36%, acidez volátil (como ácido acético) no detectado, ceniza 0,32%, extracto aparente 4,08 %, extracto de mosto original 2,88 % fibra no detectada, grasa 0,02%, grado alcohólico (20°C) 9 °GL, grado de fermentación real 96,85 °GL, hidratos de carbono 0,87%, humedad 92,30%, pH (20 °C) 4,50, proteína total (Nx6,25) 0,87%, y valor energético 80 Kcal/100g.

4.5.3 Análisis microbiológico de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la Tabla 4.9, se presentan los resultados del análisis microbiológico realizado en la cerveza artesanal de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.9

Análisis microbiológico de la cerveza artesanal		
Microrganismos	Cantidad	Unidad
<i>Escherichia coli</i>	<1,0x10 ¹ (*)	UFC/ml
Levaduras	<1,0x10 ¹ (*)	UFC/ml
Donde (*) = significa que no hay desarrollo de colonias.		
Fuente: CEANID, 2024		

En la Tabla 4.9, los datos indican que se detectó la presencia de *Escherichia coli* en una cantidad inferior a 1,0 x 10¹ UFC/ml. Además, se verificó la ausencia de levaduras en una cantidad menor a 1,0 x 10¹ UFC/ml (*) no se observa desarrollo de colonias.

4.6 Control de °Brix, pH y densidad de la cerveza artesanal durante la etapa de fermentación

Para realizar el control de °Brix, pH y densidad durante la etapa fermentación de la cerveza artesanal, se elaboraron muestras con la formulación de la muestra final (Tabla 4.7) la muestra (CIS11), la cual fue envasada en botella de vidrio. Se realizó el control de las muestras diariamente.

En la Tabla 4.10, muestran los resultados obtenidos del control de variación de °Brix de la muestra final de cerveza artesanal en función del tiempo de almacenamiento de 8 días, en función a las técnicas del (Anexo D.1). Ver (Anexo E, tabla E.1).

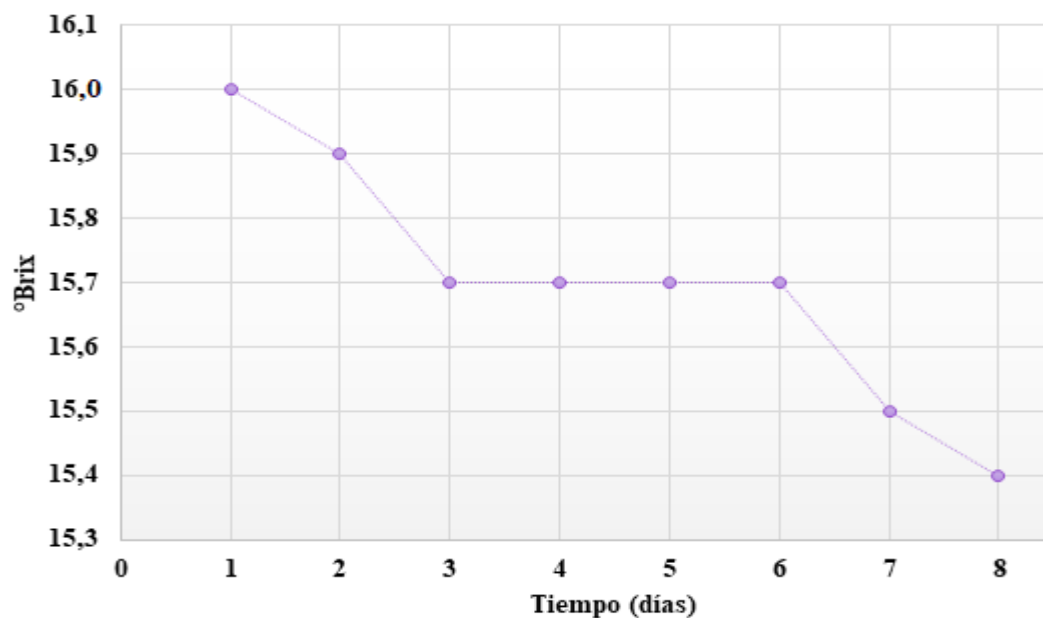
Tabla 4.10

Contenido de °Brix de la cerveza artesanal en la etapa de fermentación

Tiempo (días)	°Brix
1	16,00
2	15,9
3	15,7
4	15,7
5	15,7
6	15,7
7	15,5
8	15,4

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.14, muestra el control de °Brix en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación en base a los datos de la Tabla 4.10



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Control de variación de °Brix en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación

En la Figura 4.14, se observa la curva de control de °Brix, donde la muestra inicia 16 %, seguidamente desciende hasta alcanzar 15,7% al tercer día, se mantiene constante durante cuatro días, para luego disminuir a 15,4%, presentando una variación del descenso de °Brix en la etapa de almacenamiento.

4.6.1 Control del pH en la cerveza artesanal durante la etapa de fermentación

En la Tabla 4.11, muestra los resultados obtenidos de la variación de pH de la muestra final de cerveza artesanal, en un tiempo de almacenamiento de 8 días no hábiles, en función a las técnicas detalladas en el (Anexo D.2). Ver (Anexo E, tabla E.2).

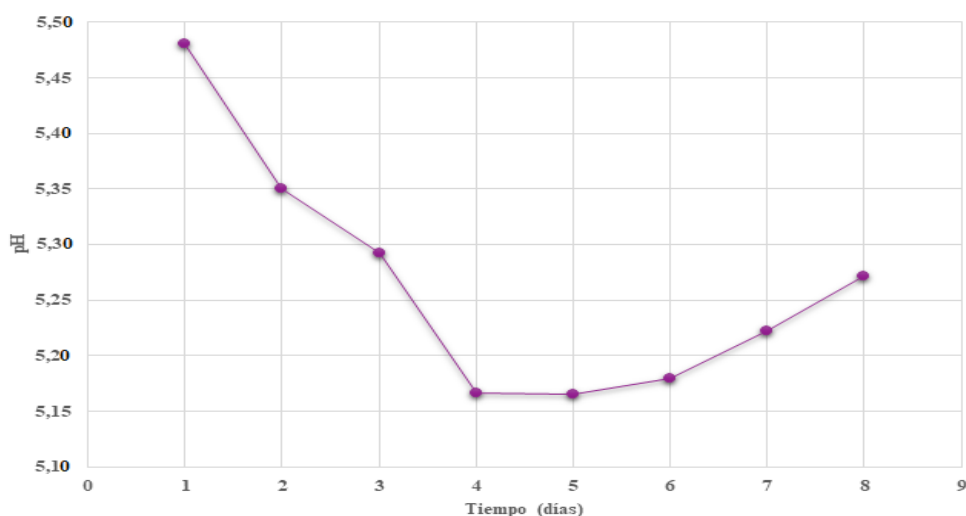
Tabla 4.11

Control del pH en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación

Tiempo (días)	pH
1	5,48
2	5,35
3	5,29
4	5,17
5	5,16
6	5,18
7	5,22
8	5,27

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.15, muestra la variación de pH en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación en base a los datos de la Tabla 4.11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Variación de pH en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación

En la Figura 4.15, se observa la curva de control de pH, donde la muestra inicia con 5,48, seguidamente desciende hasta alcanzar 5,165 en el cuarto día, de esta manera se mantuvo estable hasta el quinto día para después ascender de manera progresiva para finalizar con 5,272 durante la etapa de fermentación en los 8 días.

4.6.2 Control de la densidad en la cerveza artesanal durante la etapa de fermentación

En la Tabla 4.12, muestra los resultados obtenidos de la variación de la densidad en la muestra final de cerveza artesanal en un tiempo de fermentación de 8 días no hábiles, en función a las técnicas del (Anexo D.3). Ver (Anexo E, tabla E.3)

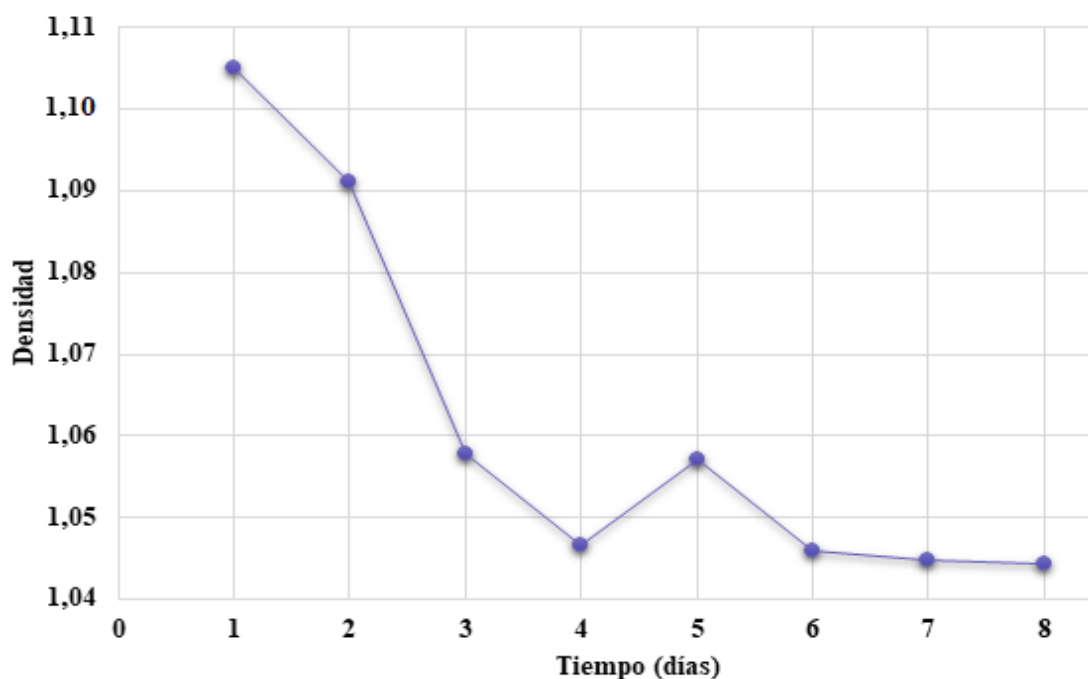
Tabla 4.12

Control de la densidad en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación

Tiempo (días)	Densidad
1	1,105
2	1,091
3	1,0578
4	1,0467
5	1,0572
6	1,0459
7	1,0448
8	1,0443

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.16, muestra la variación de la densidad en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación en base a los datos de la tabla 4.12.



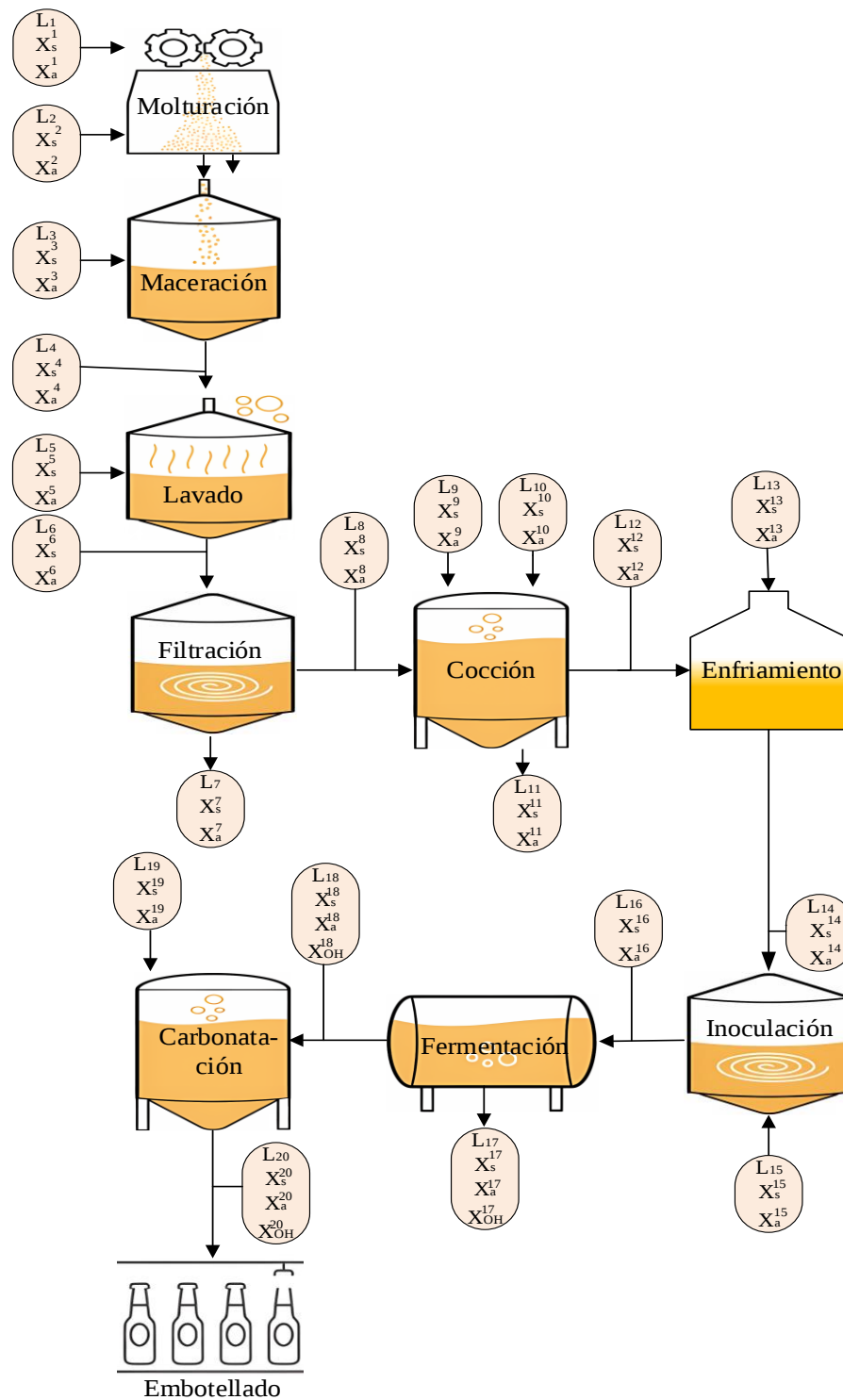
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Variación de la densidad en la cerveza artesanal en la etapa de fermentación

En la Figura 4.16, se observa la curva de control de la densidad, donde la muestra inicia con 1,105, seguidamente desciende hasta alcanzar 1,0467 en el cuatro día, en el quinto día asciende hasta 1,0572 después desciende para finalizar con 1,0443, presentando un descenso notable de la densidad en la etapa fermentación en los 8 días no hábiles.

4.7 Balance de materia en el proceso de elaboración de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Para el balance de materia en el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout, se utilizó 1100 gramos de malta *Pale Ale*. En la Figura 4.17 se detallan las etapas que se tomaron en cuenta para realizar el balance de materia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Balance de materia para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Donde:

L_1 = Malta *Pale Ale* (g)

L_2 = Maltas especiales (g)

L_3 = Agua (g)

L_4 = Maceración de maltas (g)

L_5 = Agua (g)

L_6 = Mosto (g)

L_7 = Cereales agotados (g)

L_8 = Mosto filtrado (g)

L_9 = Lúpulo (g)

L_{10} = Macerado de cascarilla de cacao (g)

L_{11} = Agua evaporada (g)

L_{12} = Mosto estéril (g)

L_{13} = Borra (g)

L_{14} = Mosto concentrado y filtrado (g)

L_{15} = Levadura (g)

L_{16} = Mosto inoculado (g)

L_{17} = Levadura agotada (g)

L_{18} = Cerveza turbia (g)

L_{19} = Azúcar para carbonatar

L_{20} = Cerveza

X_s^1 = Fracción de sólidos de Malta *Pale Ale*

X_a^1 = Fracción de agua de Malta *Pale Ale*

X_s^2 = Fracción de sólidos de Maltas

X_a^2 = Fracción de agua de Maltas

X_s^3 = Fracción de sólidos de Agua

X_a^3 = Fracción de agua de Agua

X_a^4 = Fracción de agua de Macerado de cascarilla

X_s^4 = Fracción de sólidos de Macerado de cascarilla

X_s^5 = Fracción de sólidos de Agua

X_a^5 = Fracción de agua de Agua

X_s^6 = Fracción de sólidos de Mosto

X_a^6 = Fracción de agua de Mosto

X_s^7 = Fracción de sólidos de Cereales agotados

X_a^7 = Fracción de agua de Cereales agotados

X_a^8 = Fracción de agua de Mosto filtrado

X_s^8 = Fracción de sólidos de Mosto filtrado

X_a^9 = Fracción de agua de Lúpulo

X_s^9 = Fracción de sólidos de Lúpulo

X_a^{10} = Macerado de cascarilla de cacao

X_a^{10} = Macerado de cascarilla de cacao

X_a^{11} = Fracción de agua de Agua evaporada

X_s^{11} = Fracción de sólidos de Agua evaporada

X_a^{12} = Fracción de agua de Mosto estéril

X_s^{12} = Fracción de sólidos de Mosto estéril

X_a^{13} = Fracción de agua de Borra

X_s^{13} = Fracción de sólidos de Borra

X_a^{14} = Fracción de agua de Mosto concentrado y filtrado

X_s^{14} = Fracción de sólidos de Mosto concentrado y filtrado

X_a^{15} = Fracción de agua de Levadura

X_s^{15} = Fracción de sólidos de Levadura

X_a^{16} = Fracción de agua de mosto inoculado

X_s^{16} = Fracción de sólidos de mosto inoculado

X_a^{17} = Fracción de agua de Levadura agotada

X_s^{17} = Fracción de sólidos de Levadura agotada

X_{OH}^{17} = Fracción de alcohol de Levadura muerta

X_a^{18} = Fracción de agua de Cerveza turbia

X_s^{18} = Fracción de sólidos de Cerveza turbia

X_{OH}^{18} = Fracción de alcohol de Cerveza turbia

X_a^{19} = Fracción de agua de azúcar para carbonatar

X_s^{19} = Fracción de sólidos de azúcar para carbonatar

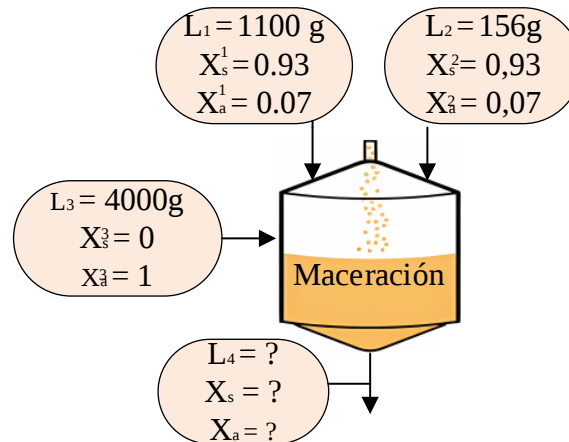
X_a^{20} = Fracción de agua de Cerveza artesanal tipo Imperial Stout

X_s^{20} = Fracción de sólidos de Cerveza artesanal tipo Imperial Stout

X_{OH}^{20} = Fracción de alcohol de Cerveza artesanal tipo Imperial Stout

4.7.1 Balance de materia en el proceso de maceración

La Figura 4.18 muestra el balance de materia del proceso de maceración de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Balance de materia en el proceso de maceración

Para obtener la fracción másica maceración de malta se realiza los siguientes cálculos:

4.7.1.1 Balance general de maceración de maltas en la etapa de maceración:

$$L_1 + L_2 + L_3 = L_4$$

Ecuación 4.1

$$(1100 \text{ g}) + (156 \text{ g}) + (4000 \text{ g}) = L_{g4}$$

$$L_{g4} = 5256 \text{ g} + L_g$$

4.7.1.2 Balance parcial de humedad de maceración de maltas en la etapa de maceración

$$L_1 * X_a^1 + L_2 * X_a^2 + L_3 * X_a^3 = L_4 * X_a^4$$

Ecuación 4.2

$$(1100 \text{ g} * 0.07) + (156 \text{ g} * 0.07) + (4000 \text{ g} * 1) = (5256 \text{ g} * X_a^4)$$

$$X_a^4 = 0.78 \text{ fracción de agua maceración de maltas}$$

4.7.1.3 Balance parcial de sólidos solubles de maceración de maltas en la etapa de maceración

$$L_1 * X_{ss}^1 + L_2 * X_{ss}^2 + L_3 * X_{ss}^3 = L_4 * X_{ss}^4$$

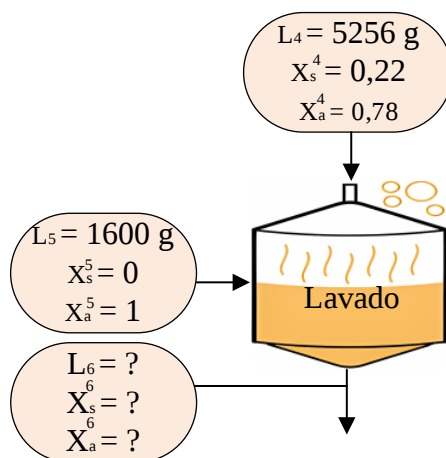
Ecuación 4.3

$$(1100 \text{ g} * 0,93) + (156 \text{ g} * 0,93) + (4000 \text{ g} * 0) = (5256 \text{ g} * X_a^4)$$

$$X_{ss}^4 = 0,22 \text{ fracción de sólidos de maceración de maltas}$$

4.7.2 Balance de materia en la etapa de lavado de las maltas

La Figura 4.19 muestra el balance efectuado para calcular la cantidad del mosto con bagazo, se realizó los siguientes cálculos:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Balance de materia en el lavado de maltas

Para encontrar la cantidad de mosto con bagazo (L_6), se aplica los siguientes cálculos:

4.7.2.1 Balance general del mosto con bagazo en la etapa de lavado

$$L_4 + L_5 = L_6$$

Ecuación 4.4

$$5256 \text{ g} + 1600 \text{ g} = L_6$$

$$L_6 = 6856 \text{ g}$$

4.7.2.2 Balance parcial de humedad del mosto con bagazo en la etapa de lavado

$$L_4 * X_a^4 + L_5 * X_a^5 = L_6 * X_a^6$$

Ecuación 4.5

$$(5256 \text{ g} * 0,78) + (1600 \text{ g} * 1) = (6856 \text{ g} * X_a^6)$$

$$X_a^6 = 0,83 \text{ } \rightarrow \text{L}_g$$

4.7.2.3 Balance parcial de solidos solubles del mosto con bagazo en la etapa de lavado

$$L_4 * X_{ss}^4 + L_5 * X_{ss}^5 = L_6 * X_{ss}^6$$

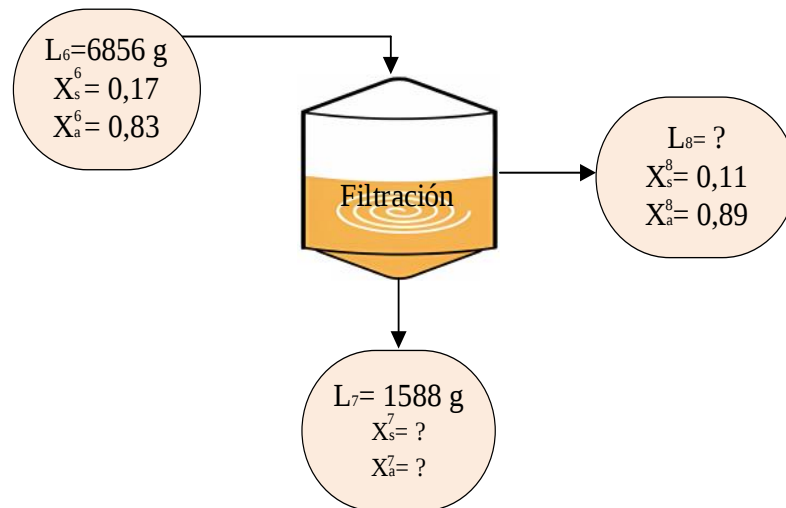
Ecuación 4.6

$$(5256 \text{ g} * 0,22) + (1600 \text{ g} * 0) = (6856 \text{ g} * X_{ss}^6)$$

$$X_{ss}^6 = 0,17 \text{ } \rightarrow \text{L}_g$$

4.7.3 Balance de materia en el proceso de filtración

En la Figura 4.20, se muestra el balance de materia efectuado en el proceso de filtración con el fin de determinar la cantidad de bagazo (cereales agotados) que se elimina en esta parte del proceso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Balance de materia en el lavado de maltas

Para encontrar la cantidad de mosto filtrado (L_8), se aplica los siguientes cálculos:

4.7.3.1 Balance general del mosto filtrado en la etapa de filtración

$$L_6 = L_7 + L_8 + L_9$$

Ecuación 4.7

$$6856 \text{ g} = 1588 \text{ g} + L_8 + L_9$$

$$L_{88} = 5268 \text{ g} + L_9$$

4.7.2.2 Balance parcial de humedad del bagazo (cereales agotados) en la etapa de filtración

$$L_6 * X_a^6 = L_7 * X_a^7 + L_8 * X_a^8$$

Ecuación 4.8

$$(6856 \text{ g} * 0,83) = (1588 \text{ g} * X_a^7) + (5268 \text{ g} * 0,89)$$

$$X_a^7 = 0,63 + L_9$$

4.7.2.3 Balance parcial de solidos solubles del bagazo (cereales agotados) en la etapa de filtración

$$L_6 * X_{ss}^6 = L_7 * X_{ss}^7 + L_8 * X_{ss}^8$$

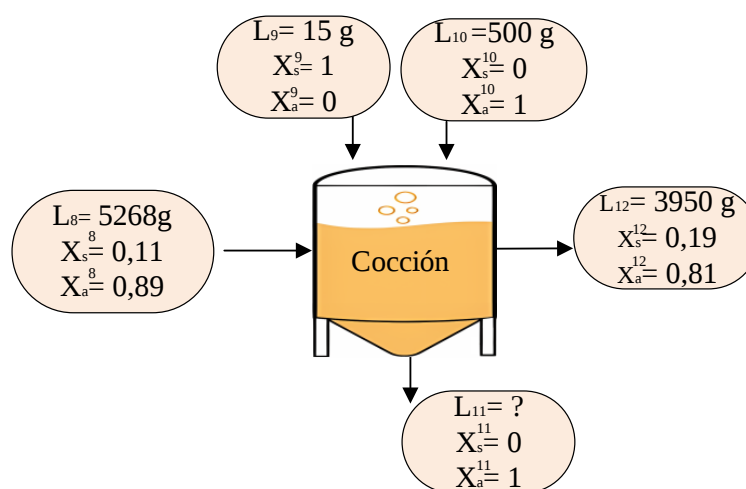
Ecuación 4.9

$$(6856 \text{ g} * 0,17) = (1588 \text{ g} * X_{ss}^7) + (5268 \text{ g} * 0,11)$$

$$X_{ss}^7 = 0,37$$

4.7.4 Balance de materia en el proceso de cocción

En la Figura 4.21, se muestra el balance de materia efectuado en el proceso de cocción con el fin de determinar la cantidad de agua que se elimina en esta parte del proceso



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Balance de materia en el proceso de enfriamiento

Para encontrar la cantidad de pérdida de agua por evaporación (L_{11}) durante la cocción (una hora), se aplican los siguientes cálculos:

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

$$L_8 * X_a^8 + L_9 * X_a^9 + L_{10} * X_a^{10} = L_{11} * X_a^{11} + L_{12} * X_a^{12}$$

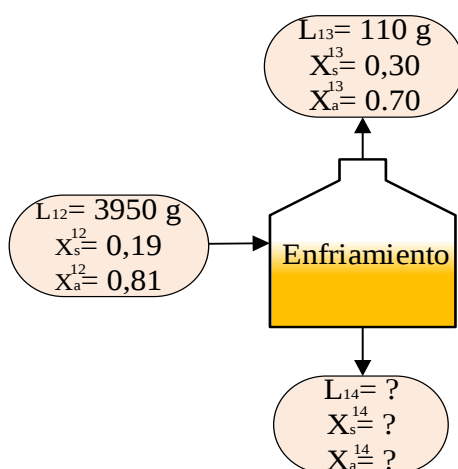
Ecuación 4.10

$$(5268 \text{ g} * 0,89) + (15 \text{ g} * 0) + (500 \text{ g} * 1) = (L_{11} * 1) + (3950 \text{ g} * 0,81)$$

$$L_{11} = 1989,02 \text{ g de agua evaporada}$$

4.7.5 Balance de materia en el proceso de enfriamiento

En la Figura 4.22, se muestra el balance de materia efectuado en el proceso de enfriamiento con el fin de determinar la cantidad de borra que se elimina en esta parte del proceso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Balance de materia en el proceso de enfriamiento

4.7.5.1 Balance general de mosto en la etapa de enfriamiento

$$L_{12} = +L_{13} + L_{14}$$

Ecuación 4.11

$$3950 \text{ g} = 110 \text{ g} - L_{14}$$

$$L_{14} = 3840 \text{ g}$$

4.7.5.2 Balance parcial de humedad de mosto en la etapa de enfriamiento

$$L_{12} * X_a^{12} = L_{13} * X_a^{13} + L_{14} * X_a^{14}$$

Ecuación 4.12

$$(3950 \text{ g} * 0,81) = (110 \text{ g} * 0,70) + (3840 \text{ g} * X_a^{14})$$

$$X_a^{14} = 0,81 \text{ fracción de agua del mosto}$$

4.7.5.3 Balance parcial de sólidos solubles de borra que se desecha en la etapa de enfriamiento

$$L_{12} * X_{ss}^{12} = L_{13} * X_{ss}^{13} + L_{14} * X_{ss}^{14}$$

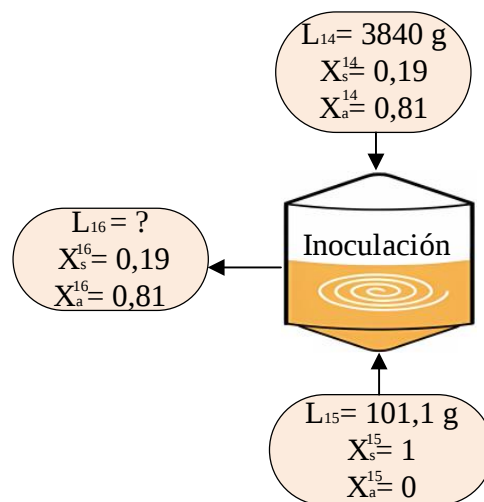
Ecuación 4.13

$$(3950 \text{ g} * 0,19) = (110 \text{ g} * 0,30) + (3840 \text{ g} * X_{ss}^{14})$$

$$X_{ss}^{14} = 0,19 \text{ fracción de sólidos solubles del mosto}$$

4.7.6 Balance de materia en el proceso de inoculación

La Figura 4.23 muestra el balance en el proceso de inoculación, donde se busca obtener la cantidad de producto que se obtuvo para fermentar.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Balance de materia en el proceso de inoculación

4.7.6.1 Balance general de mosto en la etapa de inoculación

$$L_{15} + L_{14} = L_{g16} + L_{bg}$$

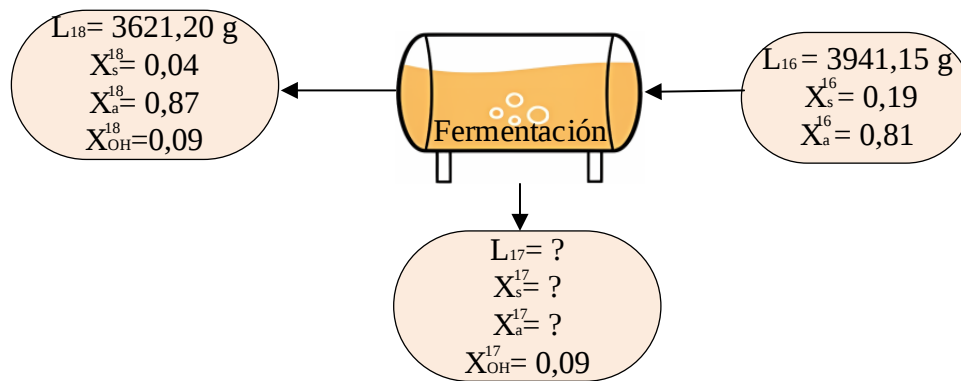
Ecuación 4.14

$$101,15 \text{ g} + 3840 \text{ g} = L_{g16} + L_{bg}$$

$$L_{g16} = 3941,15 \text{ g} + L_{bg}$$

4.7.7 Balance de materia en el proceso de fermentación

La Figura 4.24 muestra el balance en el proceso de fermentación, donde se busca obtener la cantidad de borra (levadura agotada) que se elimina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Balance de materia en el proceso de fermentación

En el proceso de fermentación, donde se busca obtener la cantidad de borra (levadura agotada), se detalla en la siguiente ecuación:

4.7.7.1 Balance general de borra (levaduras agotadas) en la etapa de fermentación:

$$L_{16} = L_{17} + L_{18}$$

Ecuación 4.15

$$L_{17} = 3941 \text{ g} + 3621,20 \text{ g}$$

$$L_{17} = 319,95 \text{ g de borra}$$

4.7.7.2 Balance parcial de humedad de la borra (levaduras agotadas) en la etapa de fermentación:

$$L_{16} * X_a^{16} = L_{17} * X_a^{17} + L_{18} * X_a^{18}$$

Ecuación 4.16

$$(3941,15 \text{ g} * 0,81) = (319,95 \text{ g} * X_a^{17}) + (3621,20 \text{ g} * 0,87)$$

$$X_a^{17} = 0,13 - L_{17}$$

4.7.7.3 Balance parcial de sólidos solubles borra de (levaduras agotadas) en la etapa de fermentación:

$$L_{16} * X_{ss}^{16} = L_{17} * X_{ss}^{17} + L_{18} * X_{ss}^{18}$$

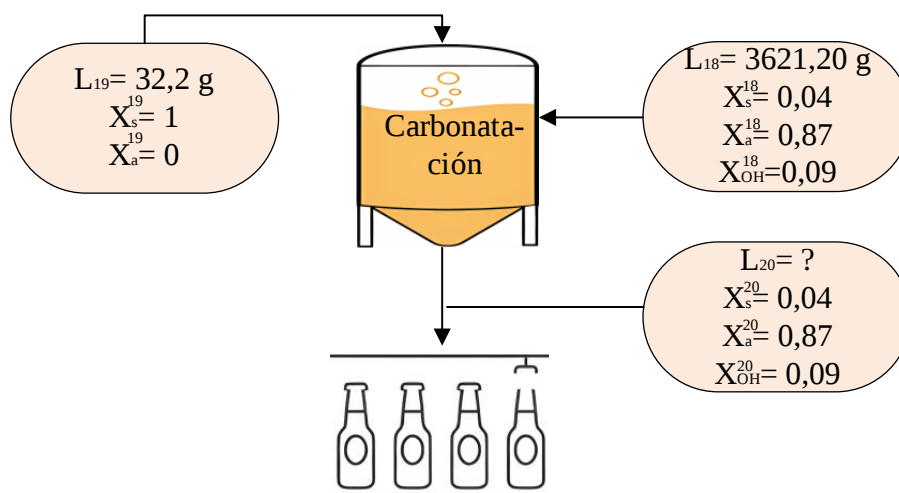
Ecuación 4.17

$$(3941,15 \text{ g} * 0,19) = (319,95 \text{ g} * X_{ss}^{17}) + (3621,20 \text{ g} * 0,04)$$

$$X_{ss}^{17} = 0,77 - L_{17}$$

4.7.8 Balance de materia en el proceso de carbonatación

La Figura 4.25 muestra el balance en el proceso de carbonatación, donde se busca obtener la cantidad de producto final



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Balance de materia en el proceso de carbonatación

En el proceso de filtración se calcula cuanto de cerveza será nuestro producto final.

4.7.7.1 Balance general de carbonatación en la etapa de carbonatación:

$$L_{18} + L_{19} = L_{20}$$

Ecuación 4.18

$$L_{20} = 3921,20 \text{ g} + 32,20 \text{ g}$$

$$L_{17} = 3653,40 \text{ g de cerveza}$$

4.7.6 Rendimiento del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

Según (Pino et al, 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.

$$R_v = \frac{V_f}{V_i} * 100 \%$$

Ecuación 4.19

Donde:

R_v = Rendimiento volumétrico expresado en porcentaje (%)

V_f = Volumen final de la cerveza (L)

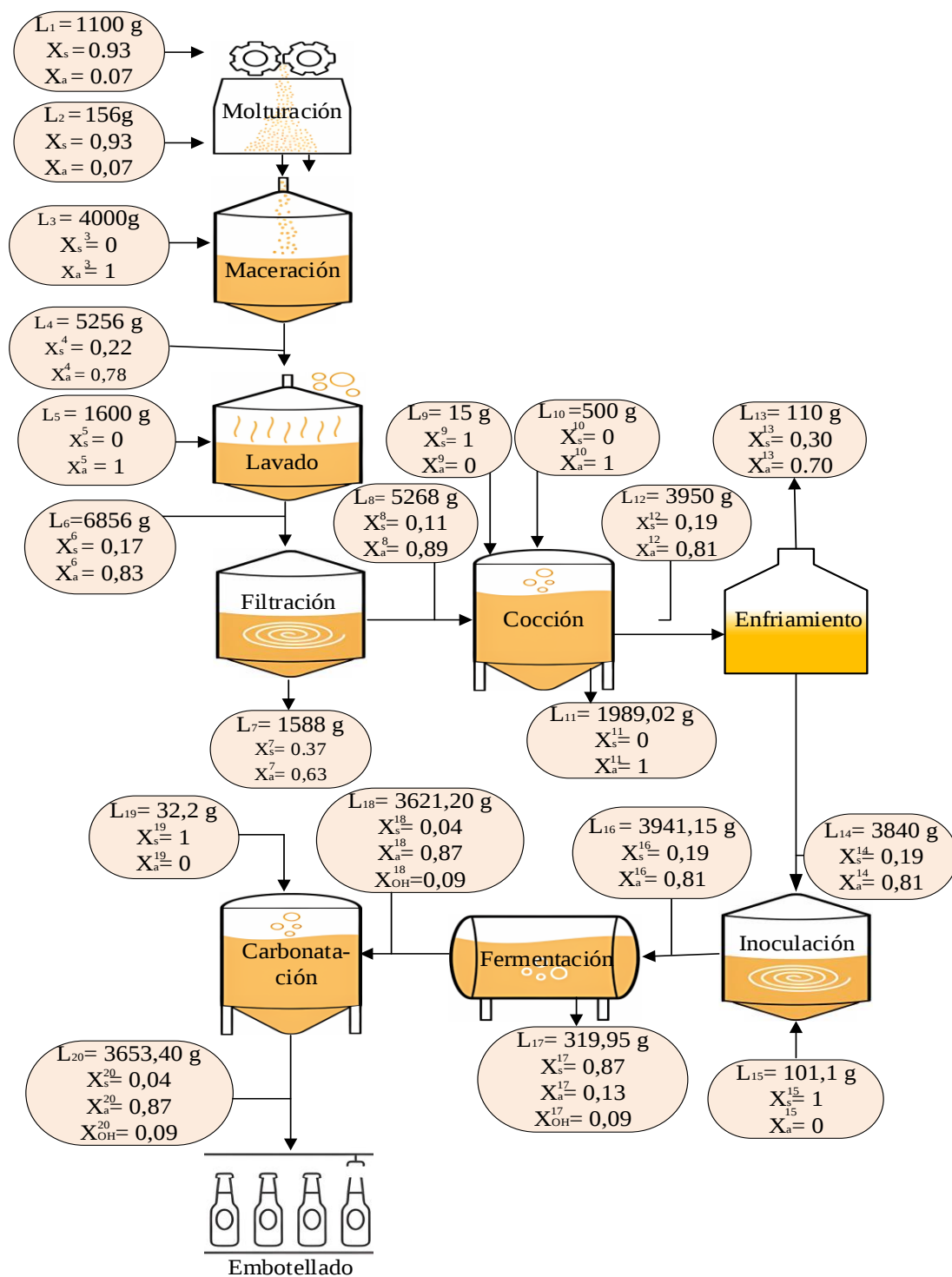
V_i = Volumen inicial del agua (L)

$$R_v = \frac{3653,40 \text{ L}}{5600 \text{ L}} * 100 \% = 65,24 \%$$

El porcentaje de del rendimiento volumétrico del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout es 65,24 %.

4.8 Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

En la figura 4.24, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia para la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperia Stout.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Resumen del balance general de materia para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

4.9 Balance de energía para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

A continuación, se presentan las ecuaciones de balance de energía empleadas en la etapa de concentración del mosto, según Banderas (1994).

$$Q_T = Q_g + Q_p$$

Ecuación 4.20

Donde:

Q_T = Calor total (kj)

Q_g = Calor ganado (kj)

Q_p = Calor perdido (kj)

$$Q = m * C_p * (T_2 - T_1)$$

Ecuación 4.22

Q = es el calor generado durante el proceso

m = es la masa de la muestra (g)

C_p = calor específico (kJ/kg°C)

T_2 = temperatura final del proceso (°C)

T_1 = temperatura inicial del proceso (°C)

Según Banderas (1994), para determinar la energía necesaria cuando una sustancia experimenta un cambio de estado físico a temperatura constante, el calor latente se calcula mediante:

$$Q_L = L\Delta$$

Ecuación 4.23

Donde ΔL es el calor latente de cambio de estado de la sustancia en consideración.

De acuerdo con Banderas (1994), los calores latentes dependen de la temperatura, la sustancia y sus estados físicos. Al combinarlos con los calores sensibles, se obtiene el calor total, es decir, el cambio de energía interna de una sustancia al variar su temperatura.

$$Q = L * C_{p\text{Líquido}} * (T_f - T_i) + \Delta_e L$$

Ecuación 4.24

Donde:

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

L = masa del líquido (l)

T_f = temperatura final (°C)

T_i = temperatura inicial (°C)

$C_{p\text{líquido}}$ = calor específico del líquido (kJ/kg°C).

4.9.1 Cálculo de necesidades frigoríficas

Según Martin (2015), las necesidades frigoríficas totales en la industria microcervecera se destinan principalmente al enfriamiento del mosto después de la cocción. El cálculo teórico de estas necesidades se incrementa en un 20% como margen de seguridad. Así:

$$Q = m * C_p * (T_f - T_i) = p * V * C_p * (T_f - T_i)$$

Ecuación 4.25

Donde:

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

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

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

T_f = temperatura del mosto enfriado en (°C)

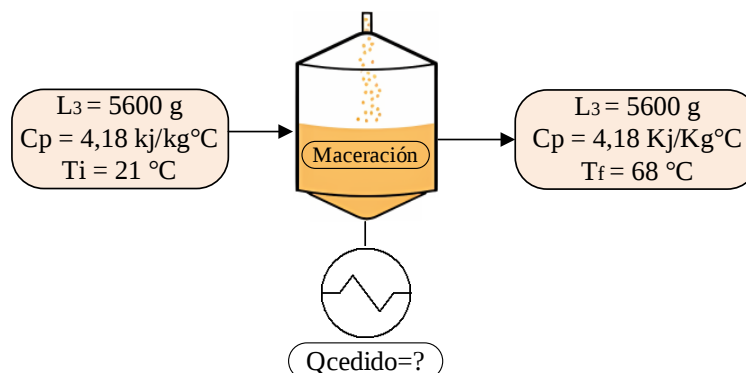
p = densidad media del mosto enfriado en (kg/L).

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

Según Martin (2015), para fines de cálculo se asume que la capacidad calorífica es la misma que la del agua, con un valor de $C_p = 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.

4.9.2 Balance de energía en el proceso de maceración

En el proceso de maceración se necesita 5,6 kg de agua a 68 °C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: 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 4.24):

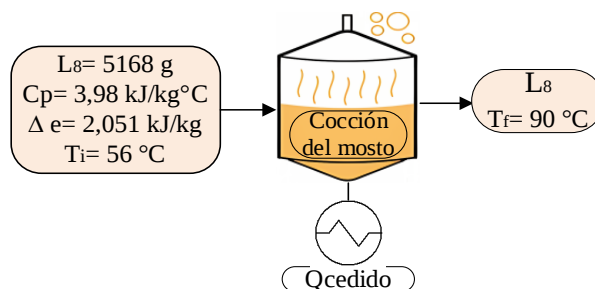
$$Q_{cedido} = L * C_{p\text{Líquido}} * (T_f - T_i) + \Delta_e L$$

$$Q_{cedido} = 5,6 \text{ kg} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (68 - 21)^\circ\text{C}$$

$$Q_{cedido} = 1100,18 \text{ kJ}$$

4.9.3 Balance de energía en el proceso de cocción de mosto

En la Figura 4,28, se muestra el balance de energía en la etapa de cocción (concentración del mosto) en la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Balance de energía en el proceso de cocción del mosto

Para determinar el calor requerido en la concentración del mosto de cerveza artesanal tipo Imperial Stout, se calcularon las corrientes de calor involucradas en el proceso utilizando la ecuación 4.24.

$$Q = L * C_{p\text{Líquido}} * (T_f - T_i) + \Delta_e L$$

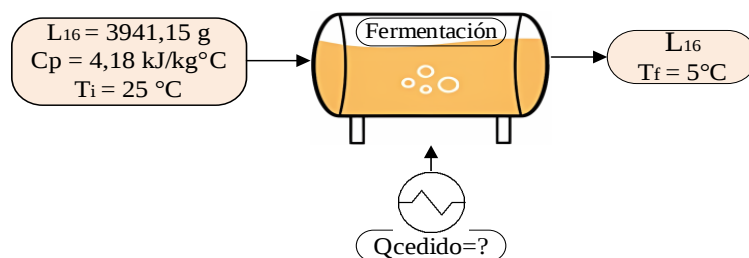
Según Ortega (2016), el valor de C_p para el mosto es de $3,26 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ y su calor latente es de $2,051 \text{ kJ/kg}$. Al sustituir estos valores en la ecuación 4.14, se obtiene el calor generado durante la concentración del mosto.

$$Q = 5,27 \text{ kg} * 3,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (90 - 56)^\circ\text{C} + \left(2,051 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 5,17 \text{ kg} \right)$$

$$Q = 594,73 \text{ kJ}$$

4.9.4 Balance de energía en el proceso de fermentación

En la Figura 4,29, se muestra el balance de energía en la etapa de fermentación la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Balance de energía en el proceso de fermentación

Para determinar la cantidad de calor necesaria para enfriar la cerveza hasta 5°C desde 25°C se resuelve reemplazando la ecuación 4.22.

$$Q = m * C_p * (T_f - T_i)$$

$$Q = 3,94 * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (5 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q = -329,38 \text{ kJ}$$

4.9.5 Energía generada durante la elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout

La energía generada durante el proceso de elaboración se detalla a continuación:

Balance de energía total del proceso = $1100,18 \text{ kJ} + 594,73 \text{ kJ} - 329,38 \text{ kJ}$

Balance de energía total del proceso = $1365,53 \text{ kJ}$

Se requiere $1365,53 \text{ kJ}$ de energía para el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Según los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la malta, contiene: ceniza 1,48%; fibra 11,53%; grasa 1,45%; hidratos de carbono 80,03%; humedad 6,82%; proteína total 10,22%; valor energético 374,05 kcal; coliformes totales $2,1 \times 10^3$ y mohos y levaduras $1,1 \times 10^4$.
- De acuerdo a los resultados de la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout, se consideró la muestra M11 como la muestra ideal más aceptada por los jueces siendo seleccionada para el diseño experimental.
- Según la observación del comportamiento de las variables (pH, °Brix, densidad) en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares de cerveza artesanal tipo Imperial Stout en un tiempo de 8 días, se estableció las condiciones adecuadas para el proceso de elaboración del producto.
- En base al diseño factorial 2^3 en el proceso de fermentación alcohólica, se determinó que entre las variables; temperatura de maceración (A), tiempo de cocción (B) y porcentaje de carbonatación (C), e interacciones existe significancia para las variables respuesta; densidad, pH y grado alcohólico, siendo el factor (B) el que más influye en las variables.
- Según los resultados de la evaluación sensorial de las pruebas experimentales del factor temperatura de maceración y prueba ideal, se evidencia que existe diferencia estadística para el atributo sabor. Así mismo, considerando el análisis estadístico de caja y bigote, de acuerdo al valor de las medianas y la selección de los jueces, se eligió la muestra CIS11 como la muestra final de cerveza artesanal tipo Imperial Stout.
- Según los resultados de análisis fisicoquímico de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout, presenta: acidez total (como ac. Láctico) 0,36 %; acidez volátil (como ac. Acético) (*); cenizas 0,32 g/100 g; extracto aparente 4,08 g/100g; extracto de mosto original 2,88 °Plato; fibra (*); materia grasa 0,02 g/100g; grado alcohólico 9,00°GL; grado de fermentación real 96,85°GL; hidratos de

carbono 6,49 g/100g ; humedad 92,30 g/100g; proteína total 0,87 g/100g; pH 4,50 y valor energético 80 kcal/100g.

- Según los resultados del análisis microbiológico de la cerveza artesanal tipo Imperial Stout, presenta: *Escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ UFC/ml (*) y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/ml (*). Donde (*) = Lo que significa que no hay desarrollo de colonias.
- De acuerdo al balance de materia y energía del proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Imperial Stout aplicado a 1,256g de malta Pale Ale se obtuvo 3653,4 g de cerveza artesanal tipo Imperial Stout y la cantidad de energía total fue de 1365,53 kJ

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda profundizar el desarrollo de cervezas artesanales que incorporen ingredientes como la miel para la carbonatación y frutas propias de la región como agentes del saborizado, con el fin de poder ofrecer más variedad a la población. Este enfoque contribuye a fortalecer la identidad productiva regional y a ampliar la oferta de cervezas artesanales dentro del mercado local.
- Se sugiere promover el uso sistemático de insumos nacionales y regionales mediante el abastecimiento de productores locales, con el propósito de asegurar una cadena de suministro estable y de calidad. La identificación de proveedores confiables, la evaluación de la disponibilidad estacional y la implementación de criterios de control de calidad permitirán optimizar los costos de producción y fomentar la micro industrialización cervecera en Tarija. Esta estrategia favorece el desarrollo económico local y contribuye a consolidar a la cerveza artesanal como una alternativa competitiva dentro del sector alimentario boliviano.
- Se recomienda continuar con la evaluación técnica del bagazo cervecero como subproducto de valor nutricional, debido a que, tras su adecuado secado y almacenamiento, puede emplearse en la elaboración de productos alimenticios

para consumo humano o animal. La valorización del bagazo contribuye a reducir los residuos orgánicos generados durante la producción y promueve prácticas de sostenibilidad acordes a los lineamientos ambientales vigentes.