



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y**  
**BIOTECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**



---

Diseño de un proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo Lambic sabor a capulí  
(*Prunus serotina* var. *capuli* (Cav.) McVaugh)

---

Trabajo de Titulación, Modalidad: Propuesta Tecnológica, previo la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

**Autor:** Carlos Ivan Tucumbi Millingalli

**Tutor:** Ing. M.Sc. Julio César Sosa Cárdenas

**Ambato - Ecuador**

**Septiembre - 2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Ing. M.Sc. Julio César Sosa Cárdenas

### **CERTIFICA**

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo su presentación, bajo la modalidad de Propuesta Tecnológica, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 26 de julio del 2022.

---

Ing. M.Sc. Julio César Sosa Cárdenas.

C.I. 1716650849

**Tutor**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Carlos Ivan Tucumbi Millingalli, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



---

Carlos Ivan Tucumbi Millingalli

C.I. 0504320805

**Autor**

## **APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Propuesta Tecnológica, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

---

Presidente del Tribunal

---

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

C.I. 180414808-6

---

Dr. Esteban Mauricio Fuentes Pérez

C.I. 1803321502

Ambato, 24 agosto del 2022

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que este Trabajo de Titulación o parte de él, se encuentre como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autores.



---

Carlos Ivan Tucumbi Millingalli

C.I. 050432080-5

**Autor**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este presente trabajo a Dios por darme la fuerza, salud y sabiduría de culminar mis estudios, a mis amados padres José y María, aunque ya no están presentes físicamente siempre fueron una fuente de inspiración para lograr esta meta.

A mi abuelita María Isabela que me enseñó los valores de la vida y me dio todo el cariño desde que mis padres fallecieron, la amo con todo mi corazón.

A mi tía María Nieves por su apoyo incondicional, cariño y consejos para seguir adelante y no darme por vencido.

A mi amiga Daniela por brindarme su cariño, amor y apoyo incondicional, eres una persona con mucho carisma, sencilla, inteligente y sincera que siempre estuvo en mis momentos buenos y malos de mi vida estudiantil, te quiero mucho.

A mis hermanos que siempre me forjaron en mis estudios, velaron por mí y fueron una fuente de inspiración para ser un gran profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias Dios por la fortaleza y la salud que me brindo durante mi etapa estudiantil, gracias a la Universidad Técnica de Ambato por abrirme las puertas y formarme como profesional.

A mis Abuelos Félix y María Isabela que fueron mis segundos padres y siempre estuvieron enseñándome a ser mejor persona ellos fueron el motor fundamental en mi educación.

A mi Familia Paterna que siempre me apoyo económicamente y moralmente para mi educación desde que era muy pequeño.

A mis docentes Dra. Liliana Cerda, Ing. Diego Salazar, Dr. Homero Vargas, Ing. Oscar Ruiz por brindarme sus conocimientos, apoyo incondicional y ser mi inspiración como profesionales de calidad, siempre los llevare en mi corazón.

A mi tutor Ing. Julio Sosa por su amistad, paciencia y conocimientos brindado durante todo el desarrollo de mi tesis para que este proyecto salga de la mejor manera.

A todos mis amigos que conocí durante todo este tiempo de preparación académica Xavier, Paul, Steven, Fabricio y Pablo que me siempre estuvieron apoyándome en la parte experimental de mi proyecto

Finalmente quiero terminar agradeciendo de todo corazón a mi querida Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología que fue mi segunda casa y me formó como un excelente profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DERECHOS DE AUTOR .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Producción de cerveza artesanal en el Ecuador.....	1
1.1.2. Cerveza artesanal.....	2
1.1.3. Fermentación alcohólica.....	3
1.1.4. Materias primas del proceso .....	3
1.2. Objetivos.....	7
1.2.1. Objetivo General .....	7
1.2.2. Objetivos Específicos .....	7
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>8</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
5.1. Materiales.....	8
5.1.1. Obtención de materia prima .....	8
5.1.2. Diseño experimental.....	8
5.1.3. Tratamientos para el estudio .....	9

5.1.4. Análisis estadístico.....	10
5.1.5. Diagrama de flujo.....	10
5.1.6. Descripción del proceso .....	12
5.2. Métodos .....	14
5.2.1. Análisis fisicoquímicos de materias primas.....	14
5.2.1.1. Sólidos solubles (°Brix) .....	14
5.2.1.2. Determinación de pH .....	14
5.2.1.3. Acidez titulable .....	15
5.2.1.4. Índice de madurez .....	15
5.2.1.5. Dureza del agua.....	16
5.2.1.6. Alcalinidad .....	16
5.3.1. Características físico químicas del producto final .....	17
5.3.1.1. Determinación de la densidad .....	17
5.3.1.2. Determinación de grados de alcohol .....	17
5.3.1.3. Color.....	17
5.4.1. Calidad sensorial .....	18
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>19</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
3.1. Caracterización de la materia prima .....	19
3.2. Determinación del tratamiento óptimo para la elaboración de cerveza artesanal.....	20
3.3. Características físico químicas del producto final .....	22
3.4. Análisis Sensorial .....	23
3.4. Diagrama PFD .....	25
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>29</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>29</b>
4.1. Conclusiones.....	29
4.2. Recomendaciones .....	29

BIBLIOGRAFÍA ..... 31

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estructura del diseño experimental.....	9
<b>Tabla 2.</b> Combinaciones experimentales.....	9
<b>Tabla 3.</b> Caracterización del capulí.....	19
<b>Tabla 4.</b> Características del agua.....	20
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de tratamiento óptimo .....	22
<b>Tabla 6.</b> Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos de cerveza artesanal.....	23
<b>Tabla 7.</b> Características físico químicas obtenidas de la cerveza artesanal final .....	39
<b>Tabla 8.</b> Análisis de Varianza para DENSIDAD .....	39
<b>Tabla 9.</b> Análisis de Varianza para % ALCOHOL .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ) se clasifica en a) cebada de 2 hileras b) cebada 6 hileras carreras .....	4
<b>Figura 2.</b> Tipos de maltas a) Malta Pilsen b) Malta Pale Ale y c) Malta Munich .....	5
<b>Figura 3.</b> Frutos de capulí ( <i>Prunus serotina</i> var. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh) .....	6
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo de extracción de pulpa de capulí .....	10
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo de cerveza artesanal tipo Lambic .....	11
<b>Figura 6.</b> Refractómetro ATAGO .....	14
<b>Figura 7.</b> pH-metro Mettler Toledo .....	15
<b>Figura 8.</b> Escala de color SRM para cerveza. ....	18
<b>Figura 9.</b> Interacción de los factos A y factor B sobre las respuestas experimentales densidad y %alcohol B) Gráficas de las medias del factor A .....	21
<b>Figura 10.</b> Análisis sensorial .....	24
<b>Figura 11.</b> Diagrama PFD de la planta procesadora de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí.....	25
<b>Figura 12.</b> Análisis físico químicos del capulí y agua. ....	42
<b>Figura 13.</b> Proceso de elaboración de cerveza con malta Pilsen.....	43
<b>Figura 14.</b> Catación de los tratamientos de cerveza artesanal.....	44
<b>Figura 15.</b> Operacionalización en Planta Piloto de la elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí .....	44

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ec. 1.</b> Fermentación .....	5
<b>Ec. 2.</b> Determinación de acidez.....	15
<b>Ec. 3.</b> Índice de madurez.....	15
<b>Ec. 4.</b> Determinación de dureza .....	16
<b>Ec. 5.</b> Determinación de alcalinidad .....	16
<b>Ec. 6.</b> Determinación de porcentaje de alcohol.....	17

## RESUMEN

La cerveza artesanal es una bebida alcohólica elaborada en pequeñas cantidades que se caracteriza por la innovación de sabores. El objetivo de este trabajo es diseñar y optimizar el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí. Como metodología se estableció un diseño experimental AxB (2x3), se realizó el análisis físico químicos del capulí y el agua, mediante un diagrama de flujo se identificó las etapas a realizarse para la elaboración de cerveza. Como resultados, el capulí presentó parámetros adecuados para agregar a la cerveza con 23,4 grados Brix y 4,92 pH, el análisis estadístico permitió determinar que los factores A y B no interactúan sobre la densidad y porcentaje de alcohol, sin embargo, el tratamiento más óptimo fue el a1b3 con un grado de alcohol de 6,04 y una densidad de 1012 kg por metro cubico. De igual manera en el análisis sensorial lo catadores describieron al tratamiento con buena intensidad en el aroma y sabor, la persistencia de la espuma fue estable, a pesar de la turbidez que presento. Durante el procesamiento los parámetros a controlar en las diferentes etapas son temperaturas y tiempos principalmente como en el macerado (65-70 grados Celsius por una hora) y fermentado (10 días, 18-20 grados Celsius). En conclusión, los parámetros óptimos establecidos a pequeña escala en los tratamientos permitieron estandarizar el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí y reproducir en planta piloto, donde se controló tiempos, temperaturas y cantidades de las materias primas.

**Palabras claves:** cerveza artesanal, lambic, capulí, diseño de procesos, industria alimentaria, estandarización de procesos.

## ABSTRACT

Craft beer is an alcoholic beverage brewed in small quantities that is characterized by the innovation of flavors. The objective of this work is to design and optimize the process for the elaboration of capuli-flavored lambic craft beer. The methodology used was an AxB experimental design (2x3), the physical and chemical analysis of the capuli and water was carried out, and a flow chart was used to identify the stages to be carried out in the brewing process. As results, the capuli presented adequate parameters to add to the beer with 23.4 degrees Brix and 4.92 pH; the statistical analysis allowed determining that factors A and B do not interact on the density and percentage of alcohol; however, the most optimal treatment was a1b3 with a degree of alcohol of 6.04 and a density of 1012 kg per cubic meter. Similarly, in the sensory analysis, the tasters described the treatment as having good intensity in aroma and flavor, and the persistence of the foam was stable, despite the turbidity it presented. During processing, the parameters to be controlled in the different stages are temperatures and times, mainly during maceration (65-70 degrees Celsius for one hour) and fermentation (10 days, 18-20 degrees Celsius). In conclusion, the optimal parameters established on a small scale in the treatments made it possible to standardize the process of making capuli-flavored lambic beer and to reproduce it in a pilot plant, where times, temperatures and quantities of raw materials were controlled.

**Keywords:** craft beer, lambic, capuli, process design, food industry, process standardization.

## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes Investigativos

##### 1.1.1. Producción de cerveza artesanal en el Ecuador

Actualmente, una de las tendencias más populares dentro de los países de América Latina es la elaboración de cerveza artesanal. En Ecuador, la cerveza tradicional abarca un alto índice de consumo en el mercado con un 99,48%, dentro de la cual la cerveza artesanal representa solo el 0,52%, debido a los elevados costos de producción. Durante la pandemia de COVID-19, las cervecerías artesanales se han visto afectadas negativamente por la paralización de las actividades, lo que ha provocado la reducción de sus ventas en un 79% (**Paguay, 2016**). Sin embargo, la reactivación económica ha incrementado la demanda de las cervecerías al máximo, logrando recuperar los niveles de producción pre pandemia.

De acuerdo a Katherine Gárate administradora de la Asociación de Cervecerías artesanales menciona que habido un aumento alrededor del 20% en marcas de cerveza artesanal en comparación antes de pandemia, ya que se estima una producción de 250 marcas de cerveza artesanal (**Coba, 2021**). Donde la producción de cerveza artesanal en el país es de 60.000 litros mensuales promedio, con una frecuencia de consumo de 1 a 3 veces por semana de los consumidores (**Asocerv, 2021**). A pesar de ello, la Cervecería Nacional se ha posicionado como una de las principales empresas con alta producción y ventas a nivel nacional, seguido de Heineken Ecuador y Cervecería Sabaibeer (**Andrade, Pisco, Quinde, & Coronel, 2020**), mismas que abarcan gran parte del mercado nacional poniendo en desventaja a los productores de cerveza artesanal, ya que no cuentan con un proceso industrializado en su totalidad para abarcar una mayor demanda de los consumidores.

### 1.1.2. Cerveza artesanal

La cerveza artesanal es una bebida elaborada a partir de ingredientes naturales de manera rústica o siguiendo una receta propia. Se produce en pequeños lotes, lo cual facilita la experimentación con diferentes sustitutos naturales, a diferencia de una producción industrial (**Baiano, 2021**).

#### 1.1.2.1. Tipos de cervezas artesanales

Las cervezas se pueden clasificar de acuerdo al tipo de proceso de fermentación como: alta fermentación (tipo Ale), baja fermentación (tipo Lager) y espontánea (Lambic). (**Galeano Sánchez & Ramírez López, 2022**).

Dependiendo de los tipos de ingredientes que se empleen, existen muchas variedades de cervezas, como la cerveza tipo lambic que es una bebida alcohólica producida a través de una fermentación espontánea, compuesta principalmente por trigo crudo (30%-40%) y cebada poco malteada (60%-70%). En la cual se emplea lúpulos viejos que han perdido todo el aroma y amargor, sin embargo, conservan sus propiedades antisépticas. Es una bebida seca con un bajo contenido de gas carbónico, donde el porcentaje de alcohol es de 4% - 6% (**Checerveza, 2019**).

Este tipo de cerveza se puede clasificar en tres estilos diferentes, como:

- **Falcon:** Es la mezcla de lambic joven endulzada con azúcar caramelizada, es una cerveza dulce y ligera con aproximadamente 4,5% de alcohol.
- **Gueuze:** Es la re fermentación de la mezcla de lambic envejecida con lambic joven, dando como resultado una cerveza adulzada con carácter burbujeante, afrutada y a veces seca con un poco más de alcohol que las lambic base.
- **Frutales:** Se elabora por la maceración de la fruta con lambic joven creando una re fermentación por los azúcares, proporcionando sabores y aromas frutales, con espuma bastante colorida, se encuentran tanto dulces como secas y su % de alcohol puede ir de un 5% - 7% (**Guinard, 1990**).

### **1.1.3. Fermentación alcohólica**

Según **Figueiras (2021)** y **Lumitos (2022)** mencionan que es un proceso de fermentación anaeróbico (ausencia de oxígeno), donde las levaduras transforman los hidratos de carbono (glucosa, fructosa, sacarosa y almidón) en alcohol etílico, dióxido de carbono y moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético.

### **1.1.4. Materias primas del proceso**

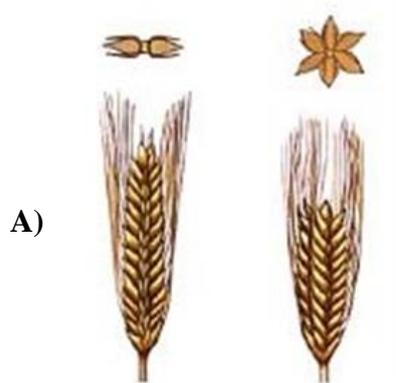
La cerveza es una bebida preparada principalmente con cuatro ingredientes fundamentales: agua, cebada, lúpulo y levadura.

#### **1.1.4.1. Agua**

Dentro de la elaboración de cerveza uno de los ingredientes principales es el agua que representa el 95% de la misma. Debido a las diferentes fuentes naturales de donde se puede obtener agua es necesario realizar un análisis previo. Principalmente la dureza del agua que identifica la concentración de compuestos minerales (específicamente calcio y magnesio) que presenta determinada cantidad de agua, en concentración de carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ . Generalmente para la elaboración de cervezas ligeras se requiere de agua con un bajo contenido de sales carbonatadas, mientras que para cervezas fuertes y oscuras se admite aguas más duras (**Quiroga Fernández, 2018**).

#### **1.1.4.2. Cebada**

Es un cereal compuesto por almidón y otros carbohidratos, considerado como materia prima principal en la elaboración de cerveza, debido a que a partir de ella se puede obtener diferentes tipos de maltas y por ende distintos estilos de cerveza. La planta de cebada pertenece a la especie *Hordeum vulgare* (Figura 3), se puede clasificar de 2 y 6 hileras, sin embargo, la cebada de 2 hileras (*Hordeum distichon*) es la que se utiliza para la elaboración de cerveza, ya que presenta granos más desarrollados que conllevan más rendimiento en el almidón que posteriormente será transformado en azúcares fermentables (maltosa) (**González, 2017**).



**Figura 1.** Cebada (*Hordeum vulgare*) se clasifica en a) cebada de 2 hileras b) cebada 6 hileras carreras

**Fuente: (Cervezomicón, 2015)**

La cebada es sometida a germinación por un tiempo corto, secado y tostado con el fin de producir enzimas (amilolíticas) en el grano que catalizan la rotura del almidón y con ello la producción de azúcares fermentables necesarias para la obtención del mosto. La cebada germinada con actividad enzimática, recibe el nombre de malta. Que es una fuente rica de almidones y sobre todo de enzimas amilolíticas como la amilasa. Las maltas llevan los nombres de los tipos de cerveza que se elaboran con ellas, como: Pilsen, Pale Ale, Munich, etc, que se diferencian principalmente por el tiempo de horneado que recibe cada malta.

**Malta Pilsen:** Es la malta más suave de todas con un EBC de 3 a 4, se caracteriza por ser pálida y darle a la cerveza un sabor dulce. Presenta mayor potencia enzimática y contiene menos carbohidratos. Este tipo de malta produce mostos de color pajizo y amarillo pálido (Figura 2.a).

**Malta Pale Ale:** Es una malta bastante pálida, su actividad enzimática es un poco más baja y tiene bajo contenido de proteínas con un EBC 5-10 Tiene un aroma y sabor con toques a galleta y pan seco, por lo que con un tostado suave se consiguen maltas que van a dar mostos algo más oscuros que las maltas Pilsen (Figura 2.b) (**Canalupe, 2022**).

**Malta Munich:** Aporta a la cerveza un color poco más oscuro, se puede encontrar malta Munich pálida (EBC 12-17) y oscura (EBC 20-28). Es muy utilizado por

conservar gran parte de su poder enzimático, es producida con grano de calidad inferior, por lo que contiene mucha proteína. Tiene actividad enzimática más baja que la malta Pilsen. Requiere alargar tiempos de sacarificación y el escalón proteínico. Aporta a la cerveza un color un poco más oscuro, rojizo/ámbar, y sabor fuerte a malta (Figura 2.c) (Valdés, 2016).



**Figura 2.** Tipos de maltas a) Malta Pilsen b) Malta Pale Ale y c) Malta Munich

**Fuente: (Perez, 2017)**

#### **1.1.4.3. Levadura**

Son hongos unicelulares capaces de inducir la fermentación. Juegan un papel primordial en la producción de cerveza, ya que convierte el mosto en cerveza a través de un proceso bioquímico de fermentación alcohólica (Ec.1). La cual produce alcohol etílico y CO<sub>2</sub>, además confiere compuestos que dan olor, sabor y textura. Existen una gran variedad de levaduras, sin embargo, habitualmente se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (González, 2017).



#### **1.1.4.4. Lúpulo**

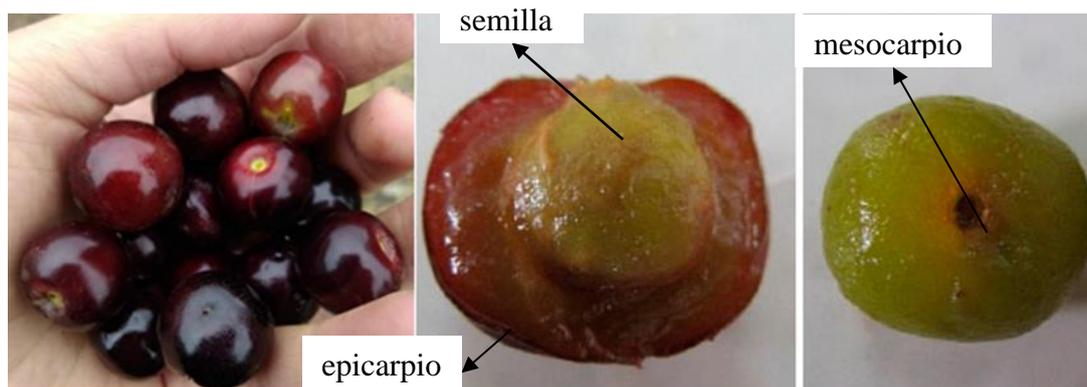
Es un ingrediente el cual confiere el amargor y el olor dentro de la elaboración de cerveza, brinda estabilidad de la espuma y protección frente a las bacterias. Se puede clasificar de acuerdo a su funcionalidad en: lúpulos amargos que por su alto contenido de alfa-ácidos imparte amargor, lúpulos aromáticos por su alto contenido de aceites esenciales se emplean para proporcionar aromas variados a la cerveza y lúpulos duales

o mixtos presenta un equilibrio en sus propiedades de amargor y aroma, por lo que se puede emplear en ambos propósitos (Hough, 1990).

Adicionalmente, se puede ocupar como ingredientes secundarios frutas, hierbas y especies en bajas cantidades para que no afecten significativamente las características organolépticas del mosto. En el caso de añadir fruta se puede incorporar en dos etapas de la elaboración de cerveza, la primera en los últimos minutos de hervor de la cocción del mosto o la segunda durante la fermentación a partir del cuarto día, ya que su influencia es más pronunciada en la cerveza (Hough, 1990).

#### 1.1.4.5. Capulí

El capulí es una fruta tropical originaria de México, perteneciente a la familia de las *Rosaceae*, sin embargo, la mejor variedad de capulí se da en algunas provincias de la región Sierra del Ecuador sobre los 1200m de altitud. Se caracteriza por su forma esférica, su diámetro oscila entre 1,5 a 2 cm, presenta una cáscara de color rojizo y negro, tiene un sabor dulce cuando están maduros. La semilla representa aproximadamente el 60% del fruto. Aporta un alto valor nutricional de vitaminas A, B y C, fortalece el sistema inmunológico, disminuye el colesterol en la sangre, favorecen en la formación de colágeno y regeneración de tejidos (León, 1987; Melara, 2022)



**Figura 3.** Frutos de capulí (*Prunus serotina* var. *capuli* (Cav.) McVaugh)

**Fuente:** (Ruiz Reyes, Venegas Casanova, Valdiviezo Campos, Ocaña Ventura, & Tadeo Horna, 2018)

Su color rojo morado es producto de la presencia de antocianinas que son pigmentos fenólicos naturales que pertenecen al grupo de los flavonoides. Presenta una estructura básica compuesta por una aglicona, además consta de un anillo aromático unido a un anillo heterocíclico que contiene oxígeno, unido por un enlace carbono-carbono a un tercer anillo aromático. Son más estables en medio ácido que en un medio neutro o alcalino, sin embargo, cuando el pH se eleva, las antocianinas pasan a ser una base quinónica de color azulado (**Hurtado & Pérez, 2014; Santacruz Cifuentes, 2011**)

Según **Tamayo Ortiz, Mena Medina, y Dilas Jiménez (2022)** menciona que el capulí es una fruta que esta valorizada principalmente para el consumo familiar, medicina ancestral, comida complementaria para crianza de especies menores o delimitación en cercas vivas. Por lo cual ofrecer un valor agregado a este fruto es de gran beneficio para los agricultores, mediante la elaboración de cerveza que resulta una nueva alternativa para su aprovechamiento.

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Diseño y optimización de un proceso de elaboración de cerveza tipo lambic sabor a capulí (*Prunus serotina var. capuli (Cav.) McVaugh*).

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar los parámetros físico químicos de la materia prima.
- Desarrollar el proceso más óptimo para la elaboración de la cerveza.
- Operacionalizar el proceso de elaboración de la cerveza en la planta piloto de la FCIAB.
- Analizar las características físico químicas y sensoriales del producto final.

## CAPITULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 5.1. Materiales

Para el diseño de procesos de elaboración de cerveza artesanal, los materiales empleados fueron:

- Balanza
- Molino
- Ollas
- Fermentador
- Serpentín
- Cocina
- Densímetro
- Brixómetro
- pH-metro
- probeta
- cucharas

##### 5.1.1. Obtención de materia prima

Para la elaboración de la cerveza artesanal se utilizó capulí (*Prunus serotina var. capuli* (Cav.) McVaugh), proveniente del cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, la cual fue recolectada en envases plásticos y posterior a ello se transportó a la planta piloto de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato, donde se realizó los diferentes análisis tomando en cuenta su estado de madurez óptimo. Además, se empleó agua purificada, lúpulos, maltas y levaduras que se adquirieron de una tienda de suministros para elaboración de cerveza artesanal.

##### 5.1.2. Diseño experimental

Para el análisis de los datos se aplicó un diseño experimental AxB (2x3) con dos réplicas, de esa manera se determinó el mejor tratamiento con características de aceptabilidad y calidad sensorial en él consumidor. Los factores y niveles evaluados

en la elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Estructura del diseño experimental.

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>
<b>A: Peso de capulí</b>	a <sub>0</sub> : 200 g
	a <sub>1</sub> : 500 g
<b>B: Tipos de maltas</b>	b <sub>0</sub> : Pilsen
	b <sub>1</sub> : Pale Ale
	b <sub>2</sub> : Munich

**Elaborado por:** Autor

El factor de estudio de peso de capulí se dividió en dos niveles que son 200 g y 500 g, mientras que el factor de tipo de malta se dividió en tres niveles Pilsen, Pale Ale y Munich.

### 5.1.3. Tratamientos para el estudio

Para la elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí se desarrolló combinaciones experimentales, las cuales permitieron identificar el mejor tratamiento y realizar los respectivos análisis. Como se observa en la Tabla 2, se describe el peso de capulí, el tipo de malta con el que se trabajó y resultados experimentales que se tomaron de cada tratamiento. La codificación de cada tratamiento se utilizó para el análisis sensorial de la cerveza.

**Tabla 2.** Combinaciones experimentales

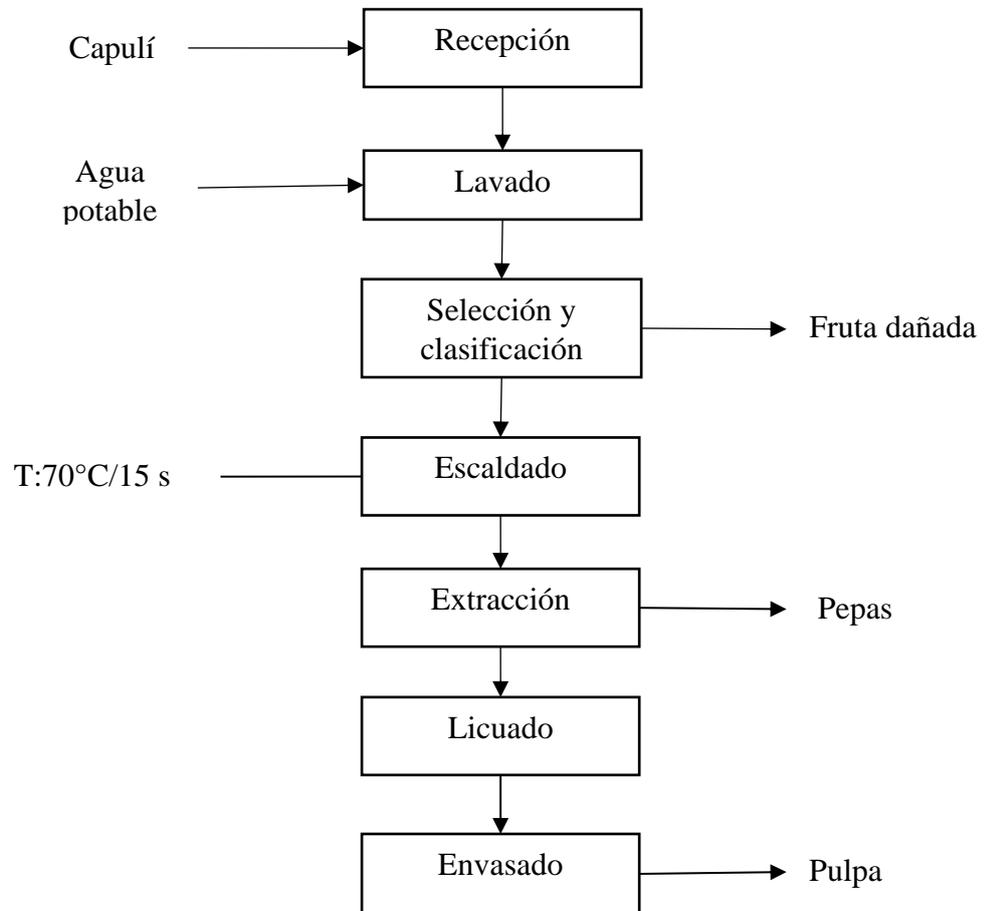
<b>Tratamiento</b>	<b>Combinaciones</b>	<b>Peso de capulí (g)</b>	<b>Tipos de malta</b>	<b>Resultados experimentales</b>
T1	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub>	200	Pilsen	
T2	a <sub>0</sub> b <sub>2</sub>	200	Pale Ale	
T3	a <sub>0</sub> b <sub>3</sub>	200	Munich	Densidad
T4	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	500	Pilsen	% de Alcohol
T5	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	500	Pale Ale	
T6	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	500	Munich	

**Elaborado por:** Autor

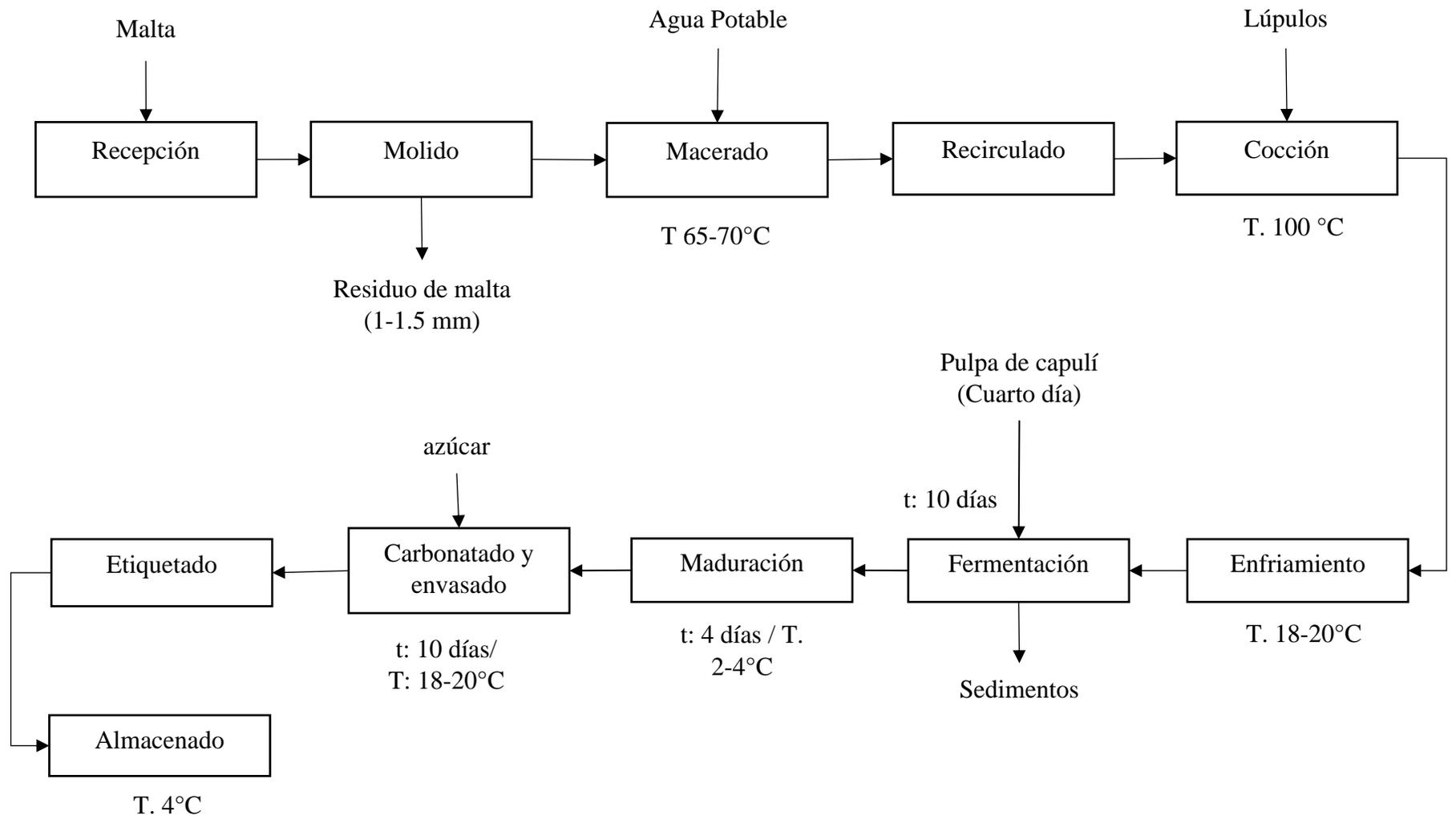
#### 5.1.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados por medio de la herramienta informática Statgraphics para el análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

#### 5.1.5. Diagrama de flujo



**Figura 4.** Diagrama de flujo de extracción de pulpa de capulí



**Figura 5.** Diagrama de flujo de cerveza artesanal tipo Lambic

### 5.1.6. Descripción del proceso

#### Pulpa de capulí

- a) **Recepción:** Se pesó con una balanza la cantidad de capulí recolectado.
- b) **Lavado:** Con agua mineral se realizó la limpieza de las frutas para eliminar residuos de tierras o basuras que puedan encontrarse en el capulí
- c) **Selección:** Una vez limpio el capulí, se procedió a clasificar las frutas sanas de las dañadas para evitar contaminación.
- d) **Escaldado:** Se realizó un escaldado a 70°C por 15s para eliminar cualquier microorganismo. El capulí al ser una fruta muy delicada es sometido a cortos tiempos para evitar daños y pérdidas de las características organolépticas y nutricionales.
- e) **Extracción:** En este paso, se procedió a extraer las pepas de cada capulí para obtener solo la parte carnosa del fruto.
- f) **Triturado:** En un mortero se coloca la parte carnosa del fruto y se procede a triturar, para obtener una pulpa homogénea y se almacenó en recipiente de vidrio en refrigeración para utilizarlo posteriormente.

#### Cerveza artesanal

- a) **Recepción de materia prima:** Se recepto malta, agua purificada, lúpulos y capulí para la producción de cerveza en la planta piloto de la Facultad en Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato, donde se verificó la calidad y los pesos con una balanza electrónica y analítica, posteriormente se almaceno hasta su proceso.
- b) **Molido:** Los granos de maltas se molieron de manera homogénea en medidas estimadas de 1 a 1,5 mm con un molino manual, con el fin de que almidón entre en contacto con el agua.
- c) **Macerado:** Previamente se hirvió agua de 65-70 °C, el agua usada deberá ser potable. La maceración es el proceso en el cual la malta molida y el agua hervida entran en contacto, obteniéndose el mosto que contiene diferentes azucares que se liberan de la malta, es importante controlar la temperatura y el tiempo de macerado dependiendo de la receta cervecera.

- d) **Recirculado o lavado:** El recirculado se realizó con el fin de obtener la mayor cantidad de azúcares del tanque de maceración derivados de la malta, en este proceso se usó agua a la misma temperatura del macerado que es de 65-70°C aproximadamente, que se mezclara con el bagazo de la malta.
- e) **Cocción del mosto:** Una vez extraído el mosto a través de telas filtro se colocó en un recipiente cuidadosamente para la cocción durante 1 hora a 100°C, es importante tener cuidado para evitar contaminación de microorganismos no deseados, en este punto se colocó los lúpulos a los 30 minutos de cocción para darle sabor, aroma y amargor a la cerveza.
- f) **Enfriamiento:** Una vez terminada la cocción, se utilizó un serpentín para bajar la temperatura de manera drástica hasta llegar a una temperatura estable entre 18-20°C.
- g) **Fermentación:** Se colocó el mosto en un fermentador FermZilla, y se añadió una cantidad previamente calculada de levadura la misma que se encargará de fermentar y convertir los azúcares en alcohol etílico y gas, también le dará un aroma netamente de cerveza, este proceso duro 10 días donde los sedimentos del macerado se depositaron en la parte inferior del fermentador. En el quinto día de fermentación se procedió a añadir la pupa de capulí.
- h) **Maduración:** Transcurrido los 10 días de fermentación se colocó el mosto en refrigeración de 2-4°C durante 4 días para una mejor clarificación y estabilización de sabores.
- i) **Envasado y carbonatación:** El envasado se realizó en la embotelladora ubicada en la planta piloto y posterior a ellos se colocó una cantidad de azúcar previamente pesada en cada botella. Finalmente se selló por medio de la enchapadora Ferrari y se dejó carbonatar por 10 días de 18-20°C.
- j) **Almacenado:** La temperatura recomendable para almacenar la cerveza terminada es a 4°C.

## 5.2. Métodos

### 5.2.1. Análisis fisicoquímicos de materias primas

#### 5.2.1.1. Sólidos solubles (°Brix)

Este parámetro cuantifica la cantidad de sólidos solubles que se encuentra en la fruta, para dicha determinación se utilizó un refractómetro digital ATAGO con escala de 0 a 65°Brix (Figura 6). Se colocó una pequeña muestra de zumo de capulí sobre el prisma de modo que cubra toda la superficie y posteriormente se registró los °Brix. Después de cada medición se limpió con agua destilada y se secó con un paño suave. El análisis se realizó por triplicado (**Restrepo, Cortés, & Rojano, 2009**).



**Figura 6.** Refractómetro ATAGO

#### 5.2.1.2. Determinación de pH

De acuerdo a la normativa **NTE INEN 1842 (2013)** especifica el método potenciómetro. Se utilizó un pH-metro digital de la marca Mettler Toledo (Figura 7). En un vaso de precipitación se colocó la muestra y agua destilada en una relación 1:1, luego se introdujo el electrodo de vidrio del pH-metro y se realizó las mediciones por triplicado. La misma metodología se empleó para la determinación de pH del agua.

El pH-metro empleado fue calibrado diariamente para mayor veracidad de los datos obtenidos.



**Figura 7.** pH-metro Mettler Toledo

### 5.2.1.3. Acidez titulable

Para la determinación de acidez titulable se realizó según la normativa **NTE INEN 750 (2013)**. Se diluyó 20 gramos de capulí con la misma cantidad de agua destilada (1:1) y se agregó 5 gotas de fenolftaleína. Con ayuda de una bureta se procedió a titular con la solución de NaOH 0,1N hasta obtener una coloración rosa por un lapso de 30 segundos. Posteriormente se registró el volumen de NaOH consumido y mediante la siguiente ecuación (Ec. 2) se calculó la acidez titulable en porcentaje de ácido málico.

$$\% \text{Acido málico} = \frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * \text{Meq}_{\text{ácido}}}{C} * 100 \quad \text{Ec. 2.}$$

#### **Dónde:**

$V_{\text{NaOH}}$  = ml gastados de NaOH 0.1N en la titulación

$N_{\text{NaOH}}$  = Normalidad del NaOH 0.1N

$\text{Meq}_{\text{ácido}}$  = Miliequivalentes del ácido dominante (ácido málico 0.067 g/L)

C= peso en gramos de la muestra utilizada

### 5.2.1.4. Índice de madurez

De acuerdo a **Alvarado (1998)** el índice de madurez se determina a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Im} = \frac{\text{Sólidos solubles}}{\text{Acidez total}} \quad \text{Ec. 3.}$$

### 5.2.1.5. Dureza del agua

Para la determinación de dureza se tomó 10 ml de agua y se trasvaso a un matraz Erlenmeyer de 250 ml, posteriormente se agregó la solución amortiguadora hasta obtener un pH=10. Luego se agregó 5 gotas de indicador negro de eriocromo T y se empezó a titular en una bureta con la solución EDTA 0,02 M hasta que la muestra se torne de color azul. Se expreso la dureza en ppm de CaCO<sub>3</sub> mediante la siguiente ecuación(Hernández Valdez, Cabrera Osorio, Sánchez, Salazar Guzmán, & Ortega Rodríguez, 2013). La determinación se realizó por triplicado.

$$\text{ppmCaCO}_3 = \frac{(\text{ml EDTA})(\text{M EDTA})(\text{mmolCaCO}_3)\text{X}10^6}{\text{Alicuota}} \quad \text{Ec. 4.}$$

### 5.2.1.6. Alcalinidad

En un matraz Erlenmeyer de 250 ml se colocó 50 ml de muestra de agua. Frente a presencia de cloro libre se deberá añadir 1 gota de tiosulfato de sodio 0,1M y de 3 a 4 gotas de fenolftaleína. La alcalinidad es cero si no se presenta ningún cambio de color a la fenolftaleína.

En el caso de que la muestra se torne de color rosado se titulara con la solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02N hasta que el color desaparezca. Reportar la cantidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastada. Seguidamente se añadió de 3 a 4 gotas de anaranjado de metilo en el mismo matraz y titular nuevamente hasta observar un cambio de color de amarillo a anaranjado y reportar el volumen de ácido utilizado (Pachacamac Dueñas, 2018).

Para determinar la alcalinidad total se sumó el volumen gastado de fenolftaleína y anaranjado de metilo. Finalmente, con los datos obtenidos se calculó la alcalinidad mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ppm CaCO}_2 = \frac{A \times N \times 50000}{\text{Volumen de muestra(ml)}} \quad \text{Ec. 5.}$$

Donde:

A= volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastado (ml) en la titulación.

N= normalidad del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### **5.3.1. Características físico químicas del producto final**

#### **5.3.1.1. Determinación de la densidad**

Para la determinación de la densidad se llenará una probeta de 250 ml completamente con la muestra, después se procederá a introducir el densímetro y se registrará las mediciones. Cabe mencionar que el densímetro viene calibrado a 20°C, por ende, la muestra se debe colocar a tal temperatura, en el caso de no ser así, se deberá realizar las respectivas correcciones de acuerdo al Anexo 1.

Este procedimiento se realizará antes y después de la fermentación para posteriores cálculos (**Barbon Beer, 2018**).

#### **5.3.1.2. Determinación de grados de alcohol**

Para la determinación de grados de alcohol en la cerveza se procederá a determinar de acuerdo a la siguiente formula:

$$\%alcohol = (DI - DF) * 0,13125 \qquad \text{Ec. 6.}$$

Donde:

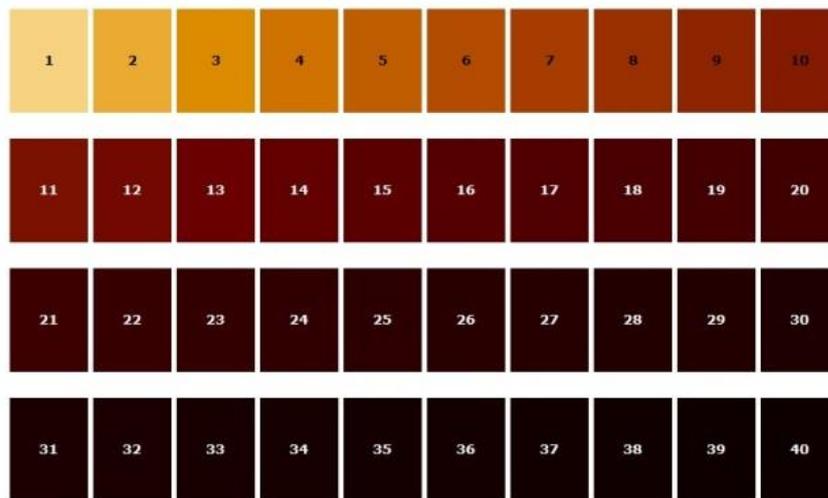
DI= Densidad inicial antes de la fermentación

DF= Densidad final después de la fermentación

Los niveles de alcohol en cervezas Lambic se debe encontrar entre 5-7% y se caracteriza por su sabor ácido y agrio (**Barbon Beer, 2018**).

#### **5.3.1.3. Color**

Para la determinación del color se empleará una escala del Método estándar de referencia (SRM) para cervezas (Figura 2.) planteado por la American Society of Brewing Chemists (ASBC) (**Revista Mash, 2021a**).



**Figura 8.** Escala de color SRM para cerveza.

**Fuente: (Revista Mash, 2021a, 2021b)**

#### **5.4.1. Calidad sensorial**

Para determinar la percepción de las características evaluadas se realizará un análisis sensorial mediante una escala hedónica estructurada a 15 catadores semi entrenados. En este punto se evaluará las características de sabor, aceptabilidad (Anexo 2). Los resultados serán representados mediante gráficas y tablas.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización de la materia prima

En la tabla 3, se detalla los datos obtenidos en la caracterización físico química del capulí, donde se puede observar que todos los parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos, de acuerdo, **Falcón Romero (2020) y Villarroel Diaz (2008)** el capulí debe presentar de 22 a 24 °Brix y un pH entre 4,7 – 5,1 de tal forma que el proceso de elaboración de cerveza sea adecuado, lo cual la materia prima se encontró dentro de los parámetros establecidos con un 23,4 °Brix, y un pH de 4,92. Asimismo, **Chalán Analuisa (2019) y Parra Coronado, Hernández Hernández, y Camacho Tamayo (2006)** menciona que, el porcentaje de ácido málico en la materia prima deberá estar presente en un rango de 0,60% - 0,80%, encontrándose como resultado un el 0,636% que contrasta con datos bibliográficos. Adicional a esto el capulí se encontró con un índice de madurez de 36,79.

**Tabla 3.** Caracterización del capulí

Parámetros	Valores obtenidos
Sólidos solubles (°Brix)	23,4
pH	4,92
Acidez titulable (ml)	19
% Ácido málico	0,636
Índice de madurez (°Brix/% de acidez)	36,79

\*n=3 mediciones ± desviación

#### **Elaborado por:** Autor

En el caso del agua, se encontró con un pH de 6,77 el cual se considera adecuado, debido a que se recomienda que el agua debe presentar pH inferiores a 7, debido a que el agua al ser muy básica dificulta la acidificación del mosto, afectando al resultado final de la cerveza (**Cocinista, s.f.**), de igual manera **Picón Sánchez (2020)** concuerda que desde el momento inicial, en el que se dispone del agua para la maceración se debe controlar y estima que debe encontrarse en valores específicos de pH, de entre 6,5-7, debido a que valores más altos provocarían problemas en la conversión enzimática esperada durante el macerado.

**Tabla 4.** Características del agua

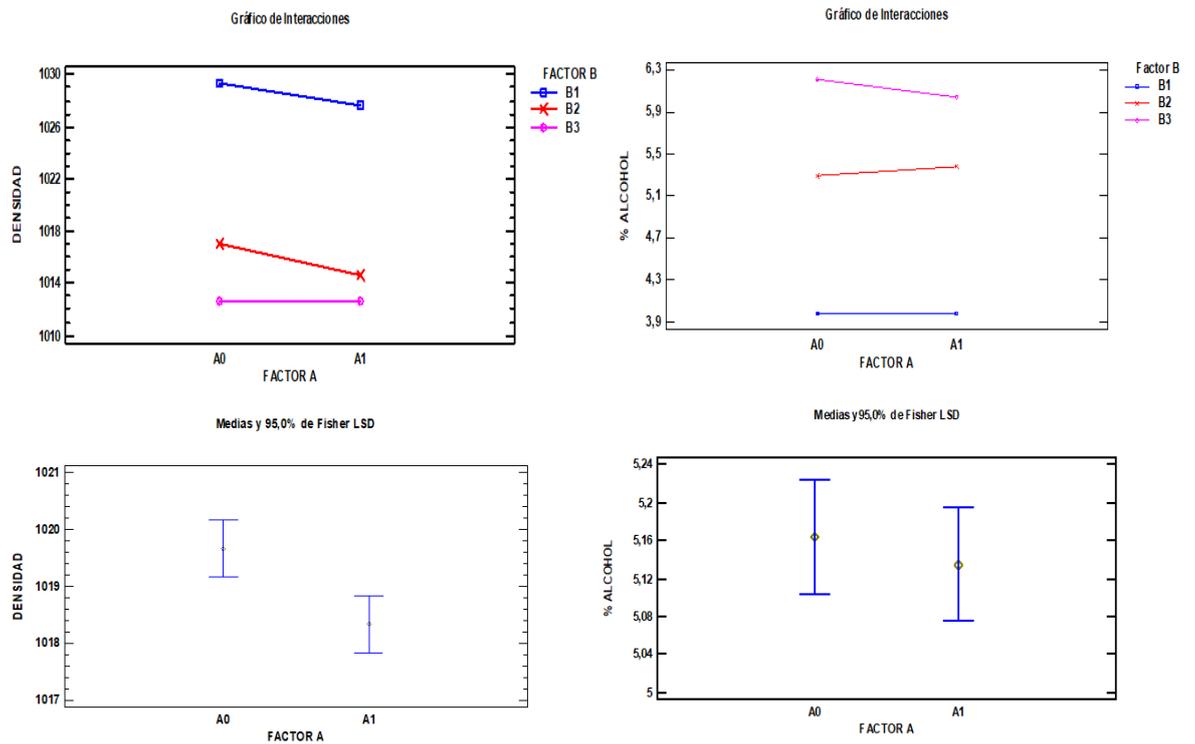
<b>Materia prima</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Valor obtenido</b>
Agua	Dureza (ppm)	210
	pH	6,77
	Alcalinidad (ppm)	0

**Elaborado por:** Autor

En el análisis del agua para la elaboración de cerveza artesanal presentó una dureza de 210 ppm de carbonato de calcio, que es categorizada como ligeramente dura (**Instituto de la cerveza artesana, 2020**), dicho valor es óptimo para el procesamiento, ya que de acuerdo a **Rodríguez (2017)** menciona que el agua para hacer cerveza debe ser moderadamente dura con un nivel mínimo de dureza total de 150 ppm aproximadamente, sin embargo el valor de la alcalinidad dio cero, es decir, no existe presencia de  $\text{CaCO}_2$  o la cantidad es muy pequeña que no es detectable.

### **3.2. Determinación del tratamiento óptimo para la elaboración de cerveza artesanal.**

En base a las diferentes respuestas experimentales obtenidas: densidad y porcentaje de alcohol se estableció el tratamiento óptimo, a través de un análisis de varianza, donde, los datos demostraron que no existe interacción entre los niveles del factor A con los niveles del factor B o es mínima sobre las variables de respuesta como se puede observar en la Figura 9. Sin embargo, al analizar la gráfica de medias del Factor A se pudo identificar que los tratamientos con el factor  $a_1$  (500 g de capulí) presentaron densidades y porcentaje de alcohol inferiores al final de la fermentación en comparación al factor  $a_0$ .



**Figura 9.** Interacción de los factos A y factor B sobre las respuestas experimentales densidad y %alcohol B) Gráficas de las medias del factor A

**Elaborado por: Autor**

Los parámetros del tratamiento óptimo en cada etapa como se detalla en la Tabla 6, inicia con la elaboración de la pulpa del capulí donde se debe considerar que el capulí por ser una fruta muy delicada debe recibir un escaldado rápido (70°C/15 seg), para evitar su cocción. Continuamente en la elaboración de la cerveza, durante el molido de la malta los granos deben tener un tamaño promedio de 1 a 1,5 mm, para una mayor extracción de los azúcares y proteínas durante el macerado. En la etapa de macerado se debe realizar a condiciones de 65-70°C por 60 min evitando la sobrecocción que puede conllevar que no se genere una maltosa de manera adecuada influenciando en la fermentación y provocando que la densidad sea muy alta, además se recomienda realizar un reciruclado con agua caliente para una mayor extracció del mosto. En la etapa de hervido, se realiza el lupulado donde el 50% del lúpulo se añade al inicio de la ebullición, el siguiente 25% a los 45 min aproximadamente y el último 25% a los 55 minutos, finalizada la etapa de hervido se realiza el enfriamiento que debe realizarse manera rápida (máx 25 min) hasta llegar de 18 -20°C, debido a que un enfriamiento

demasiado lento del mosto provoca turbidez o contaminación microbiana en la cerveza.

Para la etapa de fermentación, es importante conocer el tipo de levadura con la que se va a trabajar, en este caso se trabajó con la levadura S-04 que su rango de temperatura es de 18-20°C, por lo cual se puede trabajar a temperatura ambiente, cubierto de la luz solar, por 10 días, ya que sobrepasar este tiempo puede empezar adquirir sabores y olores no deseados o presencia de mucha acidificación, además de que dentro de ese tiempo la densidad llega a estabilizarse, eso se puede corroborar mediante el control de densidad, por lo cual alargar este tiempo sería innecesario.

La maduración se realizó a 2 a 4°C con la finalidad de que se sedimente las partículas de levadura y otros compuestos que posee el mosto o fermento. Permitiendo la clarificación y estabilización de los sabores y olores en la cerveza. Para la carbonatación se realizó en las cervezas ya envasadas, es decir en las botellas antes del sellado, donde se colocó una cantidad previamente calculada para evitar una sobre carbonatación y pesada dependiendo del volumen (7,2 g/litro).

**Tabla 5.** Parámetros de tratamiento óptimo

Operaciones	Parámetros		
	Tamaño (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo
Escaldado del capulí	-----	70	15 s
Molido	1-1,5	-----	-----
Macerado	-----	65-70	60 min
Hervido	-----	100	60 min
Enfriado	-----	18-20	máx 25 min
Fermentado	-----	18-20	10 días
		*Al cuarto día se agrega la pulpa de fruta	
Maduración	-----	2 a 4	4 días
Carbonatación	-----	18-20	10 días

**Elaborado por:** Autor

### 3.3. Características físico químicas del producto final

En la Tabla 5 como se puede observar que al finalizar la fermentación, los tratamientos a0b3, a1b2 y a1b3 presentaron densidades bajas en comparación a los demás tratamientos

considerándola una buena fermentación, ya que de acuerdo a **Keerator Beer yBrewing (2019)** una fermentación ha concluido de manera eficiente cuando la gravedad final promedio ronda en 1005 kg/m<sup>3</sup> y 1015 kg/m<sup>3</sup>, además se puede evidenciar que el mosto empleado para la elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí tuvo una buena densidad inicial, ya que el mosto normal debe estar entre 1035 kg/m<sup>3</sup> y 1060 kg/m<sup>3</sup>, donde el mosto empleado se encuentra dentro del rango establecido.

Con respecto al porcentaje de alcohol los tratamientos rondan entre 3,98° y 6,21° considerándose como cervezas livianas que generalmente no superan los 4 o 5 grados, sin embargo, el porcentaje promedio de una cerveza artesanal va de los 5° hasta los 12° grados como la cerveza Califa IPA que tiene un 6,3°, Black Feet 6,4° o la Stone Cali Belgique IPA- 6,9, además presentan un color, textura, sabor y aroma muy diferente al de una cerveza comercial, debido a la mayor atención que se presta a los procesos de elaboración, los ingredientes y los tiempos de cocción (**Mones, 2020**).

**Tabla 6.** Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos de cerveza artesanal

Tratamientos	*DI (kg/m <sup>3</sup> )	*DF (kg/m <sup>3</sup> )	*Alcohol (%)	Color (SBD)
a <sub>0</sub> b <sub>1</sub>	1059,67	1029,33	3,98	3-4
a <sub>0</sub> b <sub>2</sub>	1057,33	1017,00	5,29	4-5
a <sub>0</sub> b <sub>3</sub>	1057,33	1012,67	6,21	6-7
a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	1060,00	1027,67	3,98	4
a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	1055,67	1014,67	5,38	4-5
a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	1058,67	1012,67	6,04	5-6

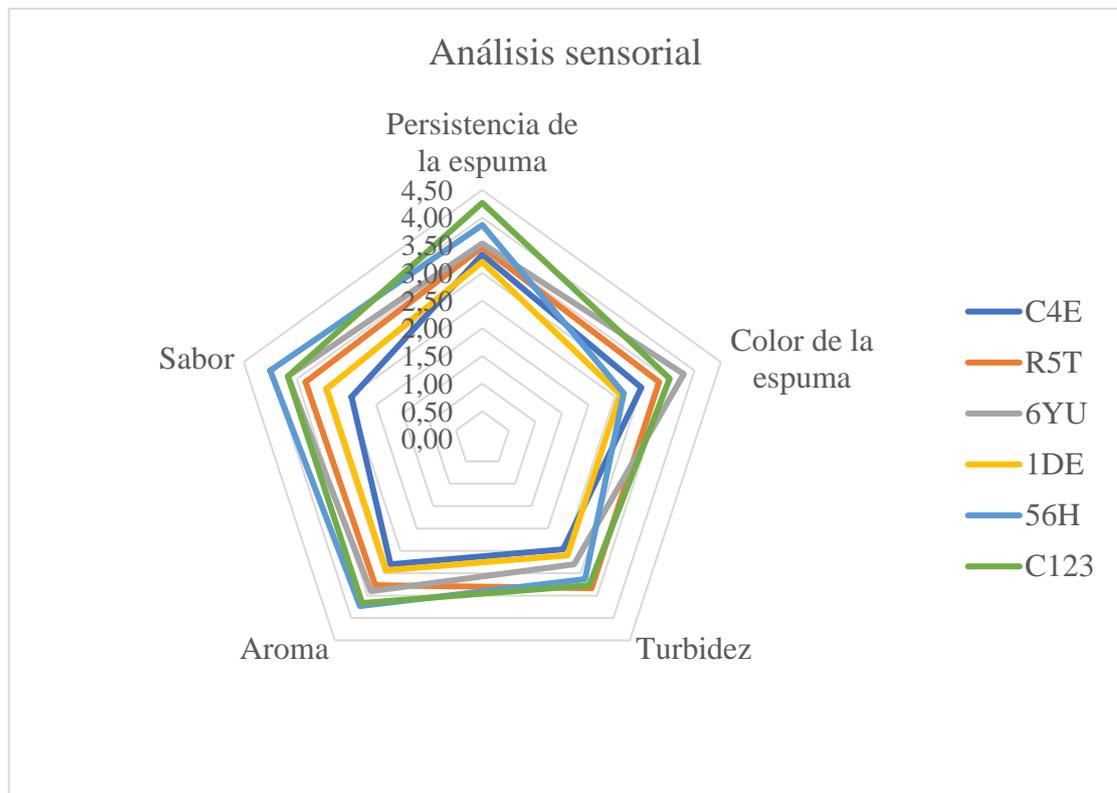
**Nota:** Factor A: Peso capulí, Factor B: tipos de malta, DF: Densidad final \*Resultados promedio

### 3.4. Análisis Sensorial

Con respecto a las características sensoriales, se realizó la catación a 15 catadores semi entrenados con la finalidad de determinar el tratamiento con mayor aceptabilidad, donde la muestra C123 que representa al tratamiento a<sub>1</sub>b<sub>3</sub> presentó mayor persistencia de la espuma, seguido de la muestra 56H, en comparación de las otras muestras, a pesar del alto grado de alcohol, debido a que de acuerdo a **Gonzalez yHostelería (2017)** menciona que cuando mayor es el contenido alcohólico de la cerveza, la espuma suele presentar menor persistencia en el vaso, con una coloración ligeramente

morena que se pudo distinguir de manera más intensa en la muestra 6YU, con respecto a la turbidez las muestras R5T y C123 fueron más turbias ya que se evidenció la presencia de pequeñas cantidades de sedimentos aún, este atributo se identificó al contrastar las muestras con una bebida nada turbia como el agua y muy turbia como un jugo.

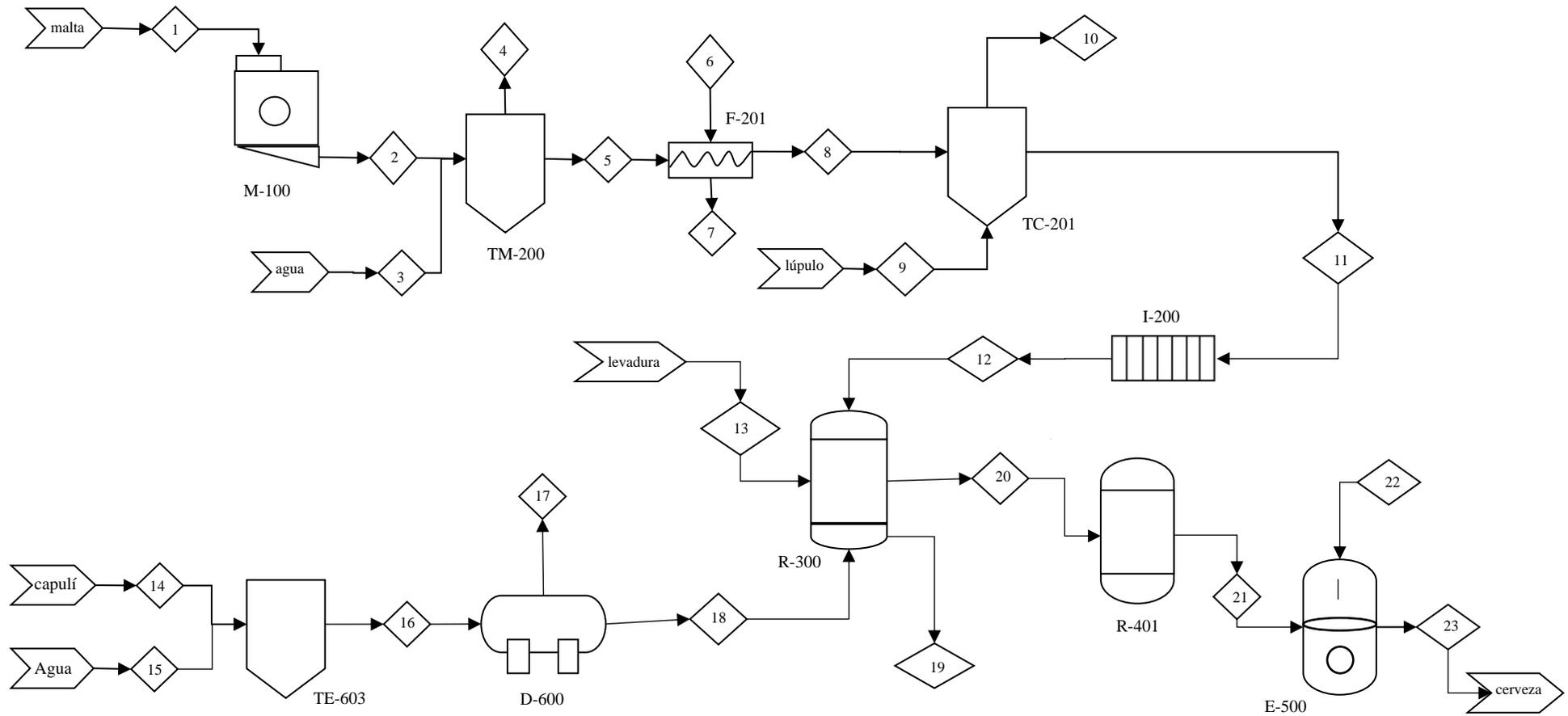
Para el análisis del aroma, los catadores deben relacionar el aroma con los ingredientes principales de la cerveza, como: un aroma a malta, aroma a lúpulo, o aroma a ésteres sobre todo frutales, llegando a detallar que en las muestras 56H y C123 se apreció un aroma frutal más intenso en comparación a los otros tratamientos, por ultimo el sabor de las muestras 6YU, C123, y 56H fue más intenso, con un sabor a frutas y alcohol (Gonzalez & Hostelería, 2017).



**Figura 10.** Análisis sensorial

**Elaborado por:** Autor

### 3.4. Diagrama PFD



**Figura 11.** Diagrama PFD de la planta procesadora de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí

**Elaborador por:** Autor

<b>Codificación</b>	<b>Nombre</b>
M-100	Molino
TM-200	Tanque de maceración
TC-201	Tanque de cocción
TE-603	Tanque de escaldado
D-600	Despulpatador
I-200	Enfriador
F-201	Filtro
R-300	Fermentador
R-401	Tanque de maduración
E-500	Embotelladora

<b>Balance de masa para 25L</b>												
<b>Número de corriente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Malta (kg)	5,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta triturada (kg)	-	5,14	-	-	5,14	-	3,39	1,75	-	-	1,75	1,75
Agua (L)	-	-	25	2	23	2	0,44	24,56	-	0,0019	22,59	22,59
Levadura (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lúpulo (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	-	0,060	0,060
Azúcar (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	5,14	5,14	25	2	28,14	2	3,83	26,31	0,060	0,0019	24,34	24,34
Temperatura (°C)	-	-	-	-	65-70	65-70	65-70	65-70	100	-	100	18-20

<b>Balance de masa para 25L</b>							
<b>Número de corriente</b>	<b>13</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>
Malta (kg)	-	-	-	-	-	-	-
Malta triturada (kg)	-	-	0,17	1,57	1,57	-	1,57
Agua (L)	-	-	1,72	20,88	20,88	-	20,88
Levadura (kg)	0,015	-	0,0023	0,057	0,040	-	0,017
Lúpulo (kg)	-	-	0,037	0,021	0,021	-	0,021
Azúcar (kg)	-	-	-			0,212	0,212
Pulpa (kg)		2,5	2,1	0,40	0,40	-	0,40
<b>TOTAL</b>	0,015	2,5	4,03	22,93	22,91		23,1
Temperatura (°C)				18-20	2-4	18-20	18-20

**Nota:** 1) Malta, 2) Malta triturada, 3) Agua, 4) Vapor de agua, 5) mosto, 6) agua, 7) Residuos del filtrado, 8) mosto, 9) lúpulo, 10) Vapor de agua, 11) mosto hervido, 12) mosto enfriado, 13) Levadura, 18) pulpa de capulí, 19) Sedimentos del fermentado, 20) cerveza, 21) maduración de cerveza, 22) azúcar, 23) cerveza artesanal

<b>Balance de masa de pulpa de capulí</b>					
<b>Número de corriente</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
Capulí (kg)	6,5	-	6,5	-	
Agua (L)	-	4,0	0,25	-	
Desechos (kg)	-	-	-	-	
Pulpa (kg)			-	3,6	2,5
<b>TOTAL</b>	6,5	4,0	6,7	3,6	2,5
Temperatura (°C)	65-70	18-20	18-20	18-20	18-20

**Nota:** 14) Capulí, 15) Agua, 16) Capulí escaldado, 17) Residuos del despulpado del capulí (pepas), 18) pulpa de capulí

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Los parámetros fisicoquímicos del capulí presentaron valores promedio de 23,4°Brix, 4,92 pH y 0,063% ácido málico, valores óptimos para la implementación en el proceso de cerveza, de igual manera el agua empleada presentó un pH de 6,77 ideal para el proceso de cerveza, ya que se recomienda inferiores a 7 para no dificulte la acidificación del mosto.
- El análisis de varianza permitió determinar que los Factores A y B no interactúan sobre la densidad y porcentaje de alcohol o la diferencia no es significativa, sin embargo, el tratamiento más óptimo al analizar el factor A fue el a<sub>1</sub>b<sub>3</sub> con un porcentaje de alcohol de 6,04° y una densidad de 1012 kg/m<sup>3</sup> normal, a diferencia de los otros tratamientos que presentaron valores más elevados.
- De acuerdo al análisis sensorial se determinó que el tratamiento a<sub>1</sub>b<sub>3</sub> presentó la mejor aceptabilidad por parte de los catadores con una intensidad en el aroma y sabor a la fruta del capulí, la persistencia de la espuma fue estable, a pesar de la turbidez que presentó, seguido del tratamiento a<sub>1</sub>b<sub>2</sub> y a<sub>0</sub>b<sub>3</sub> que de igual manera sus características sensoriales fueron muy parecidas.
- Los parámetros óptimos establecidos a pequeña escala (5L) en los diferentes tratamientos permitió estandarizar el proceso de elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí y reproducir en planta piloto (25 L), donde se controló tiempos, temperaturas y cantidades de las materias primas específicas para obtener un producto con buenas características físico químicas y sensoriales del agrado de los consumidores.

#### 4.2. Recomendaciones

- Elaborar cerveza artesanal con otras frutas o especies para analizar sus características organolépticas.

- Agregar la pulpa de fruta en la etapa de maceración para identificar las características sensoriales que atribuye al producto.
- Ensayar el proceso de elaboración de cerveza artesanal con una maceración a 55°C para una mejor estabilidad en la espuma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, J. (1998). *Determinación de la madurez de frutas por medida de la densidad relativa del jugo*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador.
- Andrade, X., Pisco, I., Quinde, L., & Coronel, C. (2020). El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador. *Industrias*, 2022.
- Asocerv. (2021). El número de marcas de cerveza artesanal crece un 20% en Ecuador. Recuperado de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/marcas-cerveza-artesanal-crecimiento-ecuador/>
- Baiano, A. (2021). Craft beer: An overview. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 20(2), 1829-1856.
- Barbon Beer. (2018). Instructivo de calculo de densidad.
- Canalupe. (2022). Tipos de maltas y sus características. Recuperado de <https://canalupe.com/wiki/tipos-de-maltas-y-sus-caracteristicas/#:~:text=Malta%20Pilsen%20es%20muy%20p%C3%A1lida,cogulada%20y%20contiene%20menos%20carbohidratos>
- Cervezomicón. (2015). El secreto está en la malta. Recuperado de <https://cervezomicon.com/>
- Chalán Analuisa, L. C. (2019). *Estudio de las propiedades funcionales de la cáscara, pulpa y semilla del capulí (Rosaceae: Prunus sorotina) en estado fresco y congelado*. Universidad Técnica de Ambato,
- Checerveza. (2019). Cerveza tipo Lambic. Recuperado de <https://checerveza.com/tipo-lambic/>
- Coba, G. (2021). El número de marcas de cerveza artesanal crece un 20% en Ecuador. Recuperado de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/marcas-cerveza-artesanal-crecimiento-ecuador/>

- Cocinista. (s.f.). La química del agua para hacer cerveza. Recuperado de <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/trucos-y-consejos/la-quimica-del-agua-para-hacer-cerveza.html>
- Falcón Romero, P. E. (2020). Obtención y caracterización de una bebida fermentada elaborada con capulí (*Prunus serotina*) con maceración prefermentativa.
- Figueiras, S. (2021). ¿Qué es la fermentación? Recuperado de <https://www.ceupe.mx/blog/que-es-la-fermentacion.html>
- Galeano Sánchez, J. F., & Ramírez López, J. F. (2022). *Elaboración de propuesta para la producción de cerveza artesanal tipo ale con base en malta pale ale y almidón de papa sabanera*. Fundación Universidad de América,
- González, M. (2017). *Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales*: Lulu Enterprises.
- Gonzalez, C. I., & Hostelería, P. d. S. d. l. (2017). Método de degustación de cerveza para consumidores. *Cerveza y malta*(214), 12-20.
- Guinard, J. (1990). *Lambic* (Vol. 3): Brewers Publications.
- Hernández Valdez, O., Cabrera Osorio, Y., Sánchez, A., Salazar Guzmán, G. M., & Ortega Rodríguez, D. S. (2013). Determinación de la dureza total y la dureza de calcio. Recuperado de <https://es.slideshare.net/iqinstrumentales3/practica9-determinacion-de-dureza>
- Hough, J. S. (1990). *Biotecnología de la cerveza y de la malta*.
- Hurtado, N. H., & Pérez, M. (2014). Identificación, estabilidad y actividad antioxidante de las antocianinas aisladas de la cáscara del fruto de capulí (*Prunus serotina* spp capuli (Cav) Mc. Vaug Cav). *Información tecnológica*, 25(4), 131-140.
- Instituto de la cerveza artesana. (2020). Guía básica del control del agua en la elaboración de la cerveza. *CervezaArtesana.com*.

- Kegerator Beer, & Brewing. (2019). Cómo usar un densímetro para elaboración de cerveza. Recuperado de [https://maltosaa.com.mx/densimetro-para-elaboracion-de-  
cerveza/#:~:text=El%20promedio%20ronda%20el%201.015%20y%201.005](https://maltosaa.com.mx/densimetro-para-elaboracion-de-cerveza/#:~:text=El%20promedio%20ronda%20el%201.015%20y%201.005)
- León, J. (1987). *Botánica de los cultivos tropicales*: Bib. Orton IICA/CATIE.
- Lumitos. (2022). Fermentación alcohólica. In *Quimica.es*.
- Melara, J. (2022). Qué es el capulín y cuáles son los beneficios de comerlo. *Cocina Fácil*.
- Mones, M. (2020). ¿Cuántos grados de alcohol tiene la cerveza? Recuperado de <https://www.cocteleria.com.mx/blog/bartender/grados-alcohol-cerveza/>
- Productos vegetales y de frutas – Determinación de la acidez titulable (IDT). (2013).
- Productos vegetales y de frutas – Determinación de pH (IDT). (2013).
- Pachacamac Dueñas, W. J. (2018). Determinación de alcalinidad total en agua. Recuperado de <https://es.slideshare.net/wilmesth/quimica-ambiental-determinacin-de-alcalinidad-total-en-agua-laboratorio-06-usil>
- Paguay, G. (2016). Las ventas en el sector de la cerveza bajan. Recuperado de <https://www.revistalideres.ec/lideres/produccion-ventas-cerveza-mercado.html>
- Parra Coronado, A., Hernández Hernández, J. E., & Camacho Tamayo, J. H. (2006). Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la pera variedad Triunfo de Viena. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28, 55-59.
- Perez, L. (2017). Los 11 tipos de malta que más se utilizan en la Cerveza. Recuperado de <https://cervecerosdemexico.com/2017/03/28/los-11-tipos-de-malta-que-mas-se-utilizan-en-la-cerveza/>
- Picón Sánchez, M. (2020). Análisis fisicoquímicos para el control de calidad en la producción de cerveza.

- Quiroga Fernández, M. (2018). Es el agua el elemento esencial de la cerveza. *Red Forbes*.
- Restrepo, A., Cortés, M., & Rojano, B. (2009). Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) fortificada con vitamina E. *Dyna*, 76(159), 163-175.
- Revista Mash. (2021a). El color en la cerveza: origen, ajuste y medición.
- Revista Mash. (2021b). El color en la cerveza: origen, ajuste y medición. . Recuperado de <https://www.thebeertimes.com/el-color-en-la-cerveza-origen-ajuste-y-medicion/>
- Rodríguez, I. (2017). Agua para elaborar cerveza. Recuperado de <https://cervecing.es/agua-elaborar-cerveza/>
- Ruiz Reyes, S. G., Venegas Casanova, E. A., Valdiviezo Campos, J. E., Ocaña Ventura, J. P., & Tadeo Horna, M. d. I. A. V. (2018). Características farmacognósticas y cuantificación espectrofotométrica de antocianinas totales del fruto de *Prunus serotina* subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh (Rosaceae)" capulí". *Arnaldoa*, 25(3), 961-980.
- Santacruz Cifuentes, L. A. (2011). Análisis químico de antocianinas en frutos silvestres colombianos. *Departamento de Química*.
- Tamayo Ortiz, C. V., Mena Medina, L. E., & Dilas Jiménez, J. O. (2022). Usos y conocimientos tradicionales asociados al capulí (*Prunus serotina*) en una zona interandina de Ecuador. *Llamkasun*, 3(1), 56-65.
- Valdés, J. G. (2016). La Malta: el alma de la cerveza. *Cerveza y malta*(212), 13-19.
- Villaruel Diaz, G. J. (2008). Determinación de la actividad antioxidante de la guinda (*Prunus capuli*).

# **ANEXOS**

## **ANEXO A: HOJA DE CATACIÓN**

## HOJA DE CATACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL TIPO LAMBIC SABOR A CAPULÍ

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Usted tienen diferentes muestras de cerveza artesanal de capulí, por favor observe deguste cada una de las muestras, y marque con una “X” en el casillero correspondiente al código marcado en el vaso según crea conveniente.

Atributo	Fase	Muestra	Intensidad 1(Baja) y 5 (alta)				
			1	2	3	4	5
Persistencia de la espuma en el vaso (sin, poco, persistente, muy persistente, no desaparece)	Visual						
Color de la espuma (amarillo, dorado, rojizo, caramelo, negro)	Visual						
Turbidez (cristalina, poco transparente, turbia, semi opaca, opaca)	Visual						
Aroma (inapreciable, suave, fuerte, intenso, muy intenso)	Olfativa						
Sabor (inapreciable, suave, fuerte, intenso, muy intenso)	Gusto						

**Observaciones:**

.....  
 .....

**GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**

# **ANEXO B - ANOVA DEL ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL**

**Tabla 7.** Características físico químicas obtenidas de la cerveza artesanal final

Factor A	Factor B	Repeticiones	DI (kg/m <sup>3</sup> )	DF (kg/m <sup>3</sup> )	%Alcohol
A0	B1	1	1060	1030	3,94
A0	B1	2	1059	1028	4,07
A0	B1	3	1060	1030	3,94
A0	B2	1	1058	1016	5,51
A0	B2	2	1056	1017	5,12
A0	B2	3	1058	1018	5,25
A0	B3	1	1060	1012	6,3
A0	B3	2	1061	1014	6,17
A0	B3	3	1059	1012	6,17
A1	B1	1	1059	1028	4,07
A1	B1	2	1057	1027	3,94
A1	B1	3	1058	1028	3,94
A1	B2	1	1056	1015	5,38
A1	B2	2	1056	1014	5,51
A1	B2	3	1055	1015	5,25
A1	B3	1	1059	1013	6,04
A1	B3	2	1058	1012	6,04
A1	B3	3	1059	1013	6,04

Nota: DI: densidad inicial antes de la fermentación; DF: Densidad después de la fermentación

**Tabla 8.** Análisis de Varianza para DENSIDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: FACTOR A	8,0	1	8,0	8,20	0,0125
B: FACTOR B	842,333	2	421,167	431,44	0,0000
RESIDUOS	13,6667	14	0,97619		
TOTAL (CORREGIDO)	864,0	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Pruebas de Múltiple Rangos para DENSIDAD por FACTOR A**

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>FACTOR A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
A1	9	1018,33	0,329341	X
A0	9	1019,67	0,329341	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
A0 - A1	*	1,33333	0,998955

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla 9.** Análisis de Varianza para % ALCOHOL

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: FACTOR A	0,00375556	1	0,00375556	0,31	0,5893
B: FACTOR B	14,099	2	7,04949	577,56	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,0525778	2	0,0262889	2,15	0,1588
RESIDUOS	0,146467	12	0,0122056		
TOTAL (CORREGIDO)	14,3018	17			

**Pruebas de Múltiple Rangos para % ALCOHOL por FACTOR A**

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>FACTOR A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
A1	9	5,13444	0,0368263	X
A0	9	5,16333	0,0368263	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
A0 - A1		0,0288889	0,113473

\* indica una diferencia significativa.

## **ANEXO C- FOTOGRAFÍAS**

<b>Análisis fisicoquímicos del capulí</b>		
		
Determinación de pH del capulí	Determinación de °Brix del capulí	Titulación del capulí para determinación de acidez
<b>Análisis fisicoquímicos del agua</b>		
		
	Determinación de pH del agua	
Preparación de soluciones		Determinación de dureza del agua

**Figura 12.** Análisis físico químicos del capulí y agua.



**Figura 13.**Proceso de elaboración de cerveza con malta Pilsen

Nota: a) Pesado de la malta, b) molido de la malta, c) macerado, d) prueba de yodo, e) hervido, f) pesado del lúpulo, g) agregado del lúpulo, h) enfriado, i) activación de la levadura, j) determinación de densidad inicial, k) fermentado.



**Figura 14.** Catación de los tratamientos de cerveza artesanal



**Figura 15.** Operacionalización en Planta Piloto de la elaboración de cerveza artesanal tipo lambic sabor a capulí