

**Universidad de Pamplona**  
**Facultad de Ingenierías y Arquitectura**  
**Departamento de Ingeniería Civil, Química, y Ambiental**  
**Programa de Ingeniería Química**

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de**  
**Ingeniero Químico**

**Elaboración de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol en la**  
**Cervecería Colón S.A.S.**

**Mario Alonso Paba Páez**

**Director:**

**Ing. Erik Germán Yanza**

**Codirectores:**

**Ing. Aura Victoria Ortegón Aponte**

**Ing. Andy David Ibáñez Hernández**

**PAMPLONA, COLOMBIA**

**2018**

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por su compañía y guía en el transcurso de mis estudios, por ser mi fortaleza y sustento en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo mucha felicidad.

Gracias a mis padres Carlos y Erlinda por su apoyo incondicional, por los valores inculcados que sin duda alguna fueron determinantes para mi formación integral y sus constantes esfuerzos por regalarme una excelente educación en el transcurso de mi vida. Su ejemplo, dedicación y deseo de superación contribuyeron de manera significativa a la formación de mi carácter. A mi hermana Angélica y sobrinas Valentina y Kitzia por ser parte importante de mi vida, su amor y cariño han hecho mi vida muy feliz.

En el Movimiento Estudiantil Alfa y Omega durante este proceso también formé mi ámbito espiritual, haciendo de mí un líder en cada una de las áreas en las cuales me desenvuelvo, a mis líderes quienes por medio de la Teoterapia trataron mi vida conforme a los parámetros establecidos por Dios.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores: Sandra Zambrano, Ángela Idárraga Vélez, Álvaro Villamizar, Edwin Fuentes, Jacqueline Corredor Acuña y Richard Triviño por haber compartido conmigo sus conocimientos y aprendizajes.

Gracias Ingeniero Erick Germán Yanza por su dirección para la realización de este proyecto, sus correcciones, recomendaciones y sugerencias fueron de vital importancia para el éxito del trabajo realizado.

A mis codirectores Victoria Ortegón y Andy David Ibáñez en la planta de Cervecería Colón, por haber creído en mí, brindarme la oportunidad de realizar el proyecto en sus instalaciones y facilidades que me fueron otorgadas en la empresa. Por permitirme crecer profesionalmente y mostrarme lo maravilloso del campo laboral.

*“Te Haré entender, y te enseñaré el camino en que debes andar; sobre ti fijaré mis ojos”.*

*Salmos 32: 8*

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>2</b>
1.1 Formulación del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Justificación.....	4
<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>6</b>
2.1 Marco Conceptual.....	6
2.1.1 La Cerveza.....	6
2.1.1.1 Características de la cerveza.....	7
2.1.1.1.1 Contenido de alcohol.....	7
2.1.1.1.2 Gravedad.....	8
2.1.1.1.3 Contenido CO <sub>2</sub> .....	8
2.1.1.2 Diferencias entre la cerveza artesanal e industrial.....	8
2.1.1.3 Clasificación de la cerveza según el tipo de levadura.....	9
2.1.2 Materias primas.....	9
2.1.2.1 Malta.....	9

2.1.2.2 Lúpulo.....	11
2.1.2.3 Levadura.....	12
2.1.2.4 Agua cervecera.....	13
2.1.2.5 Adjuntos.....	13
2.1.2.5.1 Jarabe.....	13
2.1.2.5.2 Polyclar.....	13
2.1.3 Elaboración de cerveza.....	14
2.1.3.1 Fermentación alcohólica.....	14
2.1.3.2 Enzimas cerveceras.....	15
2.1.3.3 Métodos para elaborar cervezas con bajo contenido de alcohol.....	15
2.2 Antecedentes.....	16
2.2.1 Apóstol.....	16
2.2.2 Tres Cordilleras.....	17
2.2.3 Cervecería Colón.....	17
<b>3. Metodología.....</b>	<b>19</b>
3.1 Materiales para la elaboración de cerveza.....	20
3.2 Métodos de análisis.....	21
3.2.1 Análisis organolépticas de materias primas.....	21
3.2.1.1 Determinación sensorial del agua.....	21
3.2.1.2 Determinación sensorial de malta, lúpulo, y levadura.....	21
3.2.2 Análisis fisicoquímico del agua de proceso.....	22
3.2.2.1 Determinación del pH.....	23

3.2.2.2 Determinación de cloro libre residual.....	23
3.2.3 Análisis fisicoquímico del mosto.....	24
3.2.3.1 Determinación de grados platos o de fermentación.....	24
3.2.3.2 Determinación de grados Brix.....	24
3.3 Descripción del proceso de elaboración de cerveza.....	24
3.3.1 Molienda.....	24
3.3.2 Macerado.....	25
3.3.3 Recirculación del extracto.....	26
3.3.4 Lixiviación del extracto.....	26
3.3.5 Recolección de afrecho o torta.....	26
3.3.6 Cocción (ebullición).....	26
3.3.7 Enfriamiento.....	28
3.3.8 Fermentación.....	29
3.3.9 Maduración.....	30
3.3.10 Filtración.....	30
3.4 Análisis organoléptico de la cerveza.....	31
3.5 Análisis fisicoquímico de la cerveza.....	33
3.5.1 Determinación del contenido de alcohol etílico.....	33
3.5.2 Determinación de pH.....	34
3.5.3 Determinación de CO <sub>2</sub> .....	36
3.6 Construcción de diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID) y distribución de la planta.....	36
3.7 Análisis estadístico.....	36

<b>4. Presentación y análisis de resultados.....</b>	<b>37</b>
4.1 FASE I: Análisis fisicoquímico y organoléptico de las materias prima.....	37
4.2 FASE II: Estandarización del proceso de elaboración de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol.....	40
4.3 FASE III: Determinación y evaluación de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la cerveza baja alcohol producida.....	45
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características principales de Cervezas Ale y Lager.....	9
<b>Tabla 2.</b> Cambio de color de la tintura de yodo.....	15
<b>Tabla 3.</b> Materiales utilizados en la elaboración de cerveza.....	20
<b>Tabla 4.</b> Variables cualitativas evaluadas sensorialmente a las materias primas.....	22
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones Molino de Rodillos.....	25
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones Mash Tun.....	25
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones Brew Kettle.....	27
<b>Tabla 8.</b> Especificaciones Intercambiador de Calor.....	28
<b>Tabla 9.</b> Especificaciones Fermentador Unitank.....	29
<b>Tabla 10.</b> Especificaciones Filtro Prensa.....	30
<b>Tabla 11.</b> Análisis sensorial de cerveza.....	32
<b>Tabla 12.</b> Variables analizadas durante la elaboración cerveza.....	33
<b>Tabla 13.</b> Propiedades fisicoquímicas y organolépticas del agua de proceso.....	37
<b>Tabla 14.</b> Análisis organoléptico de la malta.....	38
<b>Tabla 15.</b> Análisis organoléptico del lúpulo.....	39
<b>Tabla 16.</b> Análisis organoléptico de la levadura.....	40
<b>Tabla 17.</b> Variables de proceso.....	43
<b>Tabla 18.</b> Datos sensoriales obtenidos.....	45
<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza para el amargo.....	46
<b>Tabla 20.</b> Análisis de varianza para la apariencia.....	46
<b>Tabla 21.</b> Análisis de varianza para el aroma.....	46
<b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza para el color.....	47
<b>Tabla 23.</b> Prueba de Tukey para la apariencia.....	47
<b>Tabla 24.</b> Densidad y grado alcohólico de la cerveza.....	51
<b>Tabla 25.</b> Volumen de carbonatación de la cerveza.....	51
<b>Tabla 26.</b> Acidez y pH de la cerveza.....	52

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Cerveza Colón .....	7
<b>Figura 2.</b> Malta Pilsner .....	10
<b>Figura 3.</b> Planta de lúpulo ( <i>Humulus lupulus</i> ).....	11
<b>Figura 4.</b> Polyclar Brewbrite .....	14
<b>Figura 5.</b> Reacción Química durante la fermentación.....	14
<b>Figura 6.</b> Planta de Cervecería Colón.....	18
<b>Figura 7.</b> Esquema metodológico.....	19
<b>Figura 8.</b> Colorímetro.....	23
<b>Figura 9.</b> Diagrama de bloques... ..	31
<b>Figura 10.</b> Determinador de pH.....	34
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo de proceso de fabricación de cerveza .....	39
<b>Figura 12.</b> Representación de tuberías y válvulas .....	41
<b>Figura 13.</b> Panel de flujo (Vista frontal) .....	42
<b>Figura 14.</b> Esquema de montaje de línea de cerveza .....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Extracto fermentable.....	40
<b>Gráfico 2.</b> Control de temperaturas Fermentación – Maduración.....	44
<b>Gráfico 3.</b> Diagrama de caja y bigotes para el amargo.....	48
<b>Gráfico 4.</b> Diagrama de caja y bigotes para la apariencia.....	48
<b>Gráfico 5.</b> Diagrama de caja y bigotes para el aroma.....	48
<b>Gráfico 6.</b> Diagrama de caja y bigotes para el color.....	49
<b>Gráfico 7.</b> Densidad Vs Grado Alcohólico.....	50

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Graduación alcohólica.....	57
<b>Anexo 2.</b> Certificado y análisis de Lúpulos.....	60
<b>Anexo 3.</b> Certificado y análisis de maltas.....	61
<b>Anexo 4.</b> Certificado y análisis de Jarabe.....	63
<b>Anexo 5.</b> Certificado y análisis de Levadura.....	64
<b>Anexo 6.</b> Certificado y análisis de Agua de Proceso.....	65
<b>Anexo 7.</b> Volumen de CO <sub>2</sub> .....	66
<b>Anexo 8.</b> Distribución de planta.....	67
<b>Anexo 9.</b> P&ID Proceso de elaboración de cerveza.....	68

## **Resumen**

El objetivo principal de este proyecto es elaborar un estilo de cerveza cuyo contenido de alcohol sea 1,11% V/V. Comercialmente, este tipo de bebida se conoce como cerveza artesanal baja en alcohol, y es elaborada –para este caso- en la planta industrial de la Cervecería Colón S.A.S, ubicada en Bogotá. El proyecto esta propuesto en tres fases experimentales: la primera es el análisis fisicoquímico y organoléptico de las materias primas que se requieren, allí se determinan propiedades como el color, aroma, y sabor del lúpulo, la cebada, y la levadura; pH y cloro libre del agua. Después, se busca estandarizar el proceso de elaboración de cerveza con bajo contenido de alcohol, definiendo las principales variables en las operaciones de fermentación-maduración, cocción y filtración. Finalmente, una vez producida la bebida baja en alcohol, se busca evaluar las propiedades mencionadas anteriormente, por medio de un panel sensorial.

## **Abstract**

The primary goal of this project is to develop a kind of beer whose alcohol content is 1,11% V / V. Commercially, this type of drink is known as handmade beer without alcohol, and is prepared for this case in the industrial plant of the Cervecería Colón SAS, in Bogotá. The project is proposed in three experimental phases: the first one is the physicochemical and organoleptic analysis of the raw materials required, where properties such as color, aroma, and flavor of hops, barley, and yeast, pH and chlorine-free water, are determined. Then it seeks to standardize the brewing process with low alcohol content, defining the main operating variables such as fermentation-maturation, and filtration. Finally, once the non-alcoholic drink was produced, the connection of the school was sought before, through a sensory panel.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar las operaciones, y variables que pueden influir en la producción de la cerveza artesanal baja en alcohol. Este propósito se lleva a cabo por medio de la elaboración de una cerveza artesanal con un contenido de alcohol inferior a 2,5% v/v, cuya planta de producción industrial es la Cervecería Colón S.A.S, ubicada en Bogotá.

La metodología para cumplir el objetivo central es de tipo experimental; sin embargo, la propuesta está dividida en tres fases sujetas a normas técnicas que permiten determinar exactamente las variables a tener en cuenta en el proceso productivo.

En la puesta en marcha de dicho procedimiento, es fundamental tener en cuenta la etapa de fermentación, y limitarla para asegurar un bajo contenido de alcohol; pues según autores, “es el proceso más importante de la elaboración de cerveza. Según se realice, producirá resultados diferentes. La temperatura maceración, el tipo de levadura utilizada y el tiempo de fermentación son muy importantes al reproducir un estilo de cerveza determinado”. (Garduño-García, López-Cruz, Ruíz-García, & Martínez-Romero, 2014, p. 25).

De acuerdo a lo anterior, es posible establecer los factores que pueden influir en la realización de la cerveza artesanal baja en alcohol. Teniendo en cuenta que son muchos los procesos de fermentación que en la actualidad se pueden adaptar para la producción de este tipo de bebida, para efectos de este proyecto, la selección de la fermentación depende necesariamente de las condiciones físicas con las que se cuente. Así, en el presente trabajo se aplica la idea de adecuar las condiciones de operación del proceso convencional de producción.

## **1. Planteamiento del Problema**

### **1.1 Formulación del Problema**

Colombia es un país caracterizado por tener una sociedad inmersa en diferentes problemáticas sociales que han afectado parte de la población de manera transversal. Uno de estos fenómenos hace referencia al alto consumo de sustancias psicoactivas, dentro de las cuales las bebidas alcohólicas se sitúan en un lugar prioritario para la población colombiana. Según un el reporte de drogas (2016) del Ministerio de Justicia y del Derecho, cerca de la mitad de los colombianos ingiere con frecuencia estas sustancias, y no menos de la quinta parte se encuentra en situación de riesgo o con problemas asociados a su abuso.

A pesar de que la ley colombiana prohíbe la venta de bebidas alcohólicas a menores de edad, el Observatorio de Drogas de Colombia ha registrado por medio de un estudio hecho en 2016, que la realidad colombiana es otra. De acuerdo a su encuesta aplicada en escolares, el 20% de los estudiantes en edades entre 11 y 12 años han consumido alcohol en el último año, en edades entre 13 y 15 años el porcentaje llega al 43,13% y en las edades entre 16 y 18 años el consumo es del 58,16%. Lo anterior permite evidenciar que a pesar de las múltiples estrategias y campañas sociales enfocadas a evitar el abuso de consumo de alcohol que se realizan desde diferentes organizaciones en todo el país, se necesitan herramientas que ataquen con contundencia este problema de raíz.

Si bien, Colombia se desarrolla en una economía de mercado, en la cual las reglas de la oferta y la demanda dictaminan la producción y venta de un bien y servicio. Dicha ley se aplica también al interior de las fábricas de cerveza, en las cuales cada día se elaboran bebidas con mayores niveles de alcohol; y por lo tanto, de rotación y rentabilidad. En esta medida, por tratarse de una sustancia psicoactiva cuya venta es legal, se abre la posibilidad a mayor consumo

por parte de los jóvenes, y también de generar adicción a una de las bebidas alcohólicas más consumidas en todo el país.

Esta situación plantea de frente la necesidad de disminuir el efecto negativo que lo anterior pueda causar sobre todo en los jóvenes colombianos; por lo tanto, este proyecto se pregunta cómo elaborar una cerveza artesanal baja en alcohol que cuente con las ventajas competitivas en comparación a la cerveza tradicional, y que ayude a mitigar el fenómeno de abuso del alcohol en la sociedad colombiana.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General.**

Elaborar una cerveza artesanal con un contenido de alcohol inferior a 2,5% v/v en la planta industrial de la Cervecería Colón S.A.S de Bogotá, mediante métodos experimentales regidos por normas técnicas los cuales permitan determinar las variables que se deben emplear en el proceso productivo.

### **1.2.2 Objetivos Específicos.**

- Analizar fisicoquímica y organolépticamente las materias primas utilizadas en el proceso de elaboración de cerveza, donde se determinen propiedades como: color, aroma y aspecto del lúpulo, cebada y levadura; pH y cloro libre del agua de proceso.
- Estandarizar el proceso de elaboración de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol en la planta de Cervecería Colón, y establecer las variables de operación necesarias para prevenir la transformación a etanol de todos los azúcares fermentables.

- Determinar y evaluar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la cerveza baja en alcohol producida como: contenido de etanol, grado de fermentación, grados Brix, pH, Acidez, gas carbónico (CO<sub>2</sub>), Color, olor, sabor y aspecto de la muestra.

### 1.3 Justificación

La Cervecería Colón S.A.S nace a finales de 1997 en la ciudad de Cali, junto a la iniciativa Palos de Moguer, bajo al concepto de cerveza artesanal *brewpub*. Esto permitió al restaurante el abastecimiento de su propia cerveza, ofreciendo cuatro tipos distintos como lo son la Negra, la Rubia, la Roja y la cerveza Light. No obstante, con el paso del tiempo en el país se han posicionado otras marcas de cerveza artesanal como Tres Cordilleras, Apóstol y BBC.

A pesar de que la Cervecería Colón fue la primera en el país en elaborar este tipo de bebida artesanal, y pese a su amplia trayectoria de más de veinte años en la producción de cervezas de todo tipo, hasta la fecha no ha logrado posicionarse en el mercado del país. Dadas las condiciones de los consumidores de cerveza en Colombia, es necesario elaborar productos innovadores que cumplan con la responsabilidad social de ayudar a disminuir los niveles de alcoholismo en el país, pero que al mismo tiempo sean una bebida competitiva, y que supla las necesidades de los consumidores.

Por otro lado, vale la pena resaltar que la cerveza artesanal se destaca por ser un producto de alta aceptación en el mercado nacional, esto es gracias a la complejidad en su proceso de elaboración. Por consiguiente, se ha incrementado el número de consumidores de cerveza artesanal, gracias a las propiedades productivas de su elaboración, y al mismo tiempo por su bajo contenido de alcohol. En esta medida, es evidente que el posicionamiento de este producto en el mercado se puede mejorar mucho más, en tanto se ofrezca a los consumidores como una alternativa a las restricciones y amonestaciones de la ley colombiana.

Con este proyecto se busca hacer una contribución a la realidad económica y social del país. Por un lado, ayudar a suplir las necesidades del mercado cervecero, permitiendo el posicionamiento de la cerveza artesanal al mismo nivel de la cerveza industrial. También, generar conciencia y contribuir desde la responsabilidad social de las empresas, a disminuir los niveles de alcoholismo, o problemáticas generadas por el abuso de esta bebida en la adolescencia o vejez.

## **2. Marco Teórico**

En este capítulo se pretende presentar un soporte teórico y conceptual que tenga en cuenta distintas variables importantes en el proceso de elaboración de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol. Se define el origen de esta bebida, sus características, y algunos de los materiales utilizados para elaborarla. Así mismo, se describen algunos trabajos similares desarrollados en el país, algunas características de la planta de producción de la Cervecería Colón; y finalmente, se mencionan los diferentes métodos que se emplean para la obtención de la cerveza baja en alcohol.

### **2.1 Marco Conceptual**

#### **2.1.1 La Cerveza.**

El Ministerio de Salud y Protección Social, en su decreto 1686 de 2012, define la cerveza como “una bebida obtenida por fermentación alcohólica de un mosto elaborado con cebada germinada y otros cereales o azúcares, adicionado de lúpulo o su extracto natural, levadura y agua potable, a la cual se le podrán adicionar sabores naturales. Esta bebida está comprendida entre 2.5 y 12 grados alcoholimétricos”.

Respecto a la historia de esta milenaria bebida, se encuentra que es una de las recetas más antiguas del mundo. Los egipcios fueron la primera civilización que registró la elaboración de cerveza dentro de su cultura; lo hacían en rollos de papiro alrededor de 5.000 años a.C. Algunas de las materias primas utilizadas para la preparación eran los dátiles, las granadas, y las especias. Además, ellos destinaban su consumo para el momento de las ceremonias religiosas.

Sin embargo, muchos historiadores presumen que cerca del año 10.000 a.C, algunas culturas primitivas de Mesopotamia, fueron las primeras en preparar y consumir cerveza. A pesar de que no dejaron evidencia escrita de esta práctica, más adelante se encontraron restos de cebada

malteada y cuencos con residuos de la bebida. Finalmente, según Hornsey (2016), es desde Medio Oriente, a través del Mar Mediterráneo, que la cerveza llega hasta el norte de Europa. Esta última región tiene una tierra idónea y fértil para cultivar la cebada, y demás ingredientes curdos que requieren los “cerveceros” o fabricantes de la bebida.



*Figura 1.* Cerveza Colón. Fuente: Cervecería Colón.

#### *2.1.1.1 Características de la cerveza.*

Con el paso del tiempo, la producción de la cerveza ha llegado a constituirse en una industria, que como toda industria, tiene una serie de parámetros y lineamientos dispuestos para asegurar los procesos. Para el caso de la cerveza, estos parámetros aseguran el control de calidad de la bebida; a continuación se describen algunos de los lineamientos a evaluar en el proceso de producción de una cerveza.

##### *2.1.1.1.1 Contenido de alcohol.*

Según Ligordi (2015), este es uno de los parámetros más importantes en cualquier bebida alcohólica. La medida para expresar esta cantidad son los grados alcoholímetros, los cuales se entienden como el porcentaje en volumen de alcohol etílico que posee una bebida por cada 100 CC.

#### *2.1.1.1.2 Gravedad.*

La gravedad de la cerveza es una propiedad que está estrechamente relacionada con la densidad del mosto, la cual permite estimar la cantidad de sólidos disueltos que posee. Los “Grados Plato (°P)” miden la concentración de sólidos en porcentaje en peso, es decir, una solución de 1°P contiene 1 gramo de sólidos disueltos por cada 100 gramos de mosto.

La “Gravedad Original (OG)” comúnmente conocida como gravedad específica es una medida de la densidad del mosto, también es posible medir la gravedad final de la cerveza (FG) para referirse a la del mosto ya fermentado.

#### *2.1.1.1.3 Contenido de CO<sub>2</sub>*

Esta variable hace referencia a la cantidad de gas carbónico que se introduce en la cerveza, a través de un procedo denominado carbonatación. El CO<sub>2</sub> brinda acidez, e incluso un sabor más intenso a las bebidas que lo contienen. “Para fabricar una bebida carbonatada, es necesario inyectar gas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el producto líquido antes del envasado.” (Ashurst, 2016, p.30). Lo anterior tiene también el objetivo de garantizar una correcta disposición de las propiedades de la cerveza.

#### *2.1.1.2 Diferencias entre cervezas artesanales e industriales.*

Los seres humanos tendemos a crear hábitos de consumo con facilidad; esto aplica para los alimentos, los bienes, la música, y demás productos en general. Para el caso de la cerveza, suele suceder que las personas están más orientadas al consumo de la cerveza industrial; sin embargo, según el texto *Craft vs. industrial: Habits, attitudes and motivations towards beer consumption in Mexico* (2016), los hábitos alimenticios pueden evolucionar, y en la actualidad la categoría de la cerveza artesanal está teniendo implicaciones en la percepción que los consumidores tienen de este producto.

### 2.1.1.3 Clasificación de la cerveza según el tipo de levadura.

Teniendo en cuenta el tipo de levadura empleada es posible clasificar la cerveza en dos grandes familias: las Ales y Lagers. Las cervezas tipo Ale (categoría a la cual pertenecen las cervezas Colón), se distinguen por ser fabricadas con levadura de fermentación alta, tales como la *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccaromyces Ludwiggii*. Por otro lado, las cervezas tipo Lager, son elaboradas con levadura de fermentación baja del tipo *Saccharomyces carlsbergensis* y *Saccharomyces uvarum*. El tipo de levadura empleada modifica las condiciones de fermentación de la bebida. (Hornsey, 2016, p.85)

**Tabla 1.** Características principales de Cervezas Ale y Lager

<b>CERVEZA TIPO LAGER</b>	<b>CERVEZA TIPO ALE</b>
Cervezas de fermentación baja	Cervezas de fermentación alta
Levadura <i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	Levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Fermentación de 10 a 15 días	Fermentación de 5 a 7 días
Fermentan entre 7 y 15 °C	Fermentan entre 18 y 21 °C
<b>Algunos estilos Lager</b>	<b>Algunos estilos Ale</b>
Lager, Pilsen, Dortmunder, Martzen, Dark Bock, Munich Dark, Estilo Munich, Tipo Viena.	Lambic (cerveza de frutas), Belgian Ale, Stout, Porter, Pale Ale, Golden Ale, Brown Ale, American Ale, Cream Ale.

Tomado de: Cervecería Colón

## 2.1.2 Materias Primas.

### 2.1.2.1 Malta.

La malta hace referencia a un producto natural llamado cebada, que se somete a un proceso denominado “malteo”. Este consiste en la germinación, humectación, y tostado de los granos de cebada; con el objetivo de modificar y optimizar sus propiedades. Vale la pena destacar que la malta se reconoce en el campo de la nutrición como un paquete enzimático, rico en sustancias

nutritivas, portadoras de almidón; siendo esta última la sustancia que da origen al extracto fermentable para la obtención de etanol. (MacLeod & Evans, 2016, p.44).

De acuerdo al procedimiento de malteo empleado, se obtienen diferentes tipos de maltas cuyas propiedades varían según el color, sabor, la humedad, el contenido proteínico y la concentración de azúcares fermentables y no fermentables. Según el artículo *Alternatives to malt in brewing* (2017), la cerveza puede variar en su color y su sabor, de acuerdo al tipo de malta que se le proporcione durante la elaboración. A continuación se describen algunos de los tipos de maltas más conocidas:

- **Pilsner:** Malta pálida empleada en la elaboración de todas las cervezas producidas en Cervecería Colón, suministra los almidones necesarios para la obtención de azúcares.
- **Carabohemian:** Malta acaramelada y de baja tonalidad. Es empleada con mayor frecuencia en las cervezas de tonalidades doradas, pues al no proveer tantos azúcares fermentables, no incrementa el cuerpo de las bebidas.
- **Chocolate:** Malta de chocolate empleada para incrementar la tonalidad en cervezas oscuras. Posee un sabor a chocolate amargo.
- **Black:** Malta negra, empleada en la fabricación de cervezas muy oscuras como ayudante a la intensidad del color de cervezas de baja densidad.



*Figura 2.* Malta Pilsner. Fuente: Cervecería Colón.

### 2.1.2.2 Lúpulo.

El lúpulo es un producto vegetal perteneciente a la familia de las *Cannabiceas*, obtenido de las flores femeninas de diferentes variedades del *humulus lupulus*. Esta planta se emplea en la elaboración de cerveza como fuente de amargor, y proveedor de aroma afrutado, aceites esenciales, y propiedades conservativas para la bebida.

La investigación, Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal (2014), describe que este es un ingrediente que se agrega durante la cocción del mosto, con el objetivo de aprovechar las altas temperaturas, y disolverlo e isomerizar los ácidos alfa. Una vez terminado este proceso, el sabor amargo es añadido a la bebida, ya que a temperatura ambiente es imposible obtener este efecto.

Los diferentes tipos de lúpulo se obtienen de acuerdo a la planta de la cual es extraído este ingrediente. A continuación se describen los tipos de lúpulo empleados en el proceso de elaboración de las bebidas en la Cervecería Colón:

- **Target:** Es un lúpulo de estilo inglés, que se obtiene de la mezcla de lúpulo femenino americano con una variedad de macho inglés. El resultado es un sabor fuerte, empleado para las cervezas amargas.
- **Cascade:** Variedad de lúpulo de aromático, bien balanceado, con un potencial sabor amargo. Es de los más populares en la industria cervecera.



**Figura 3.** Planta de lúpulo (*Humulus lupulus*). Fuente: Cervecería Colón.

### 2.1.2.3 Levadura.

De acuerdo a la investigación *Formation of polymeric pigments in red wines through sequential fermentation of flavanol-enriched musts with non-Saccharomyces yeasts* (2018), la levadura es un microorganismo unicelular del reino de los hongos. En la elaboración de la cerveza, es la encargada de transformar los azúcares en etanol y CO<sub>2</sub>, por medio de un proceso llamado fermentación alcohólica que se realiza en ausencia de oxígeno.

A continuación se describen algunos de los tipos de levadura más utilizados en la elaboración de ciertas bebidas alcohólicas como el vino y la cerveza:

- **Saccharomyces ludwigii:** Es una levadura considerada muchas veces contaminante en la producción de alimentos y bebidas fermentadas, como en el caso de los vinos y cervezas. Estas levaduras habitan lugares donde hay fuentes de azúcares fermentables y sustancias nutritivas que les permita crecer, por ejemplo en jugos, frutas dañadas, néctar de flores y en la superficie de los equipos utilizados en la producción de vino. El artículo *Exploring the use of Saccharomyces cerevisiae commercial strain and Saccharomyces ludwigii natural isolate for grape marc fermentation to improve sensory properties of spirits* (2014), describe que este tipo de levaduras forman parte de la microflora que predomina durante los primeros 2-3 días de la fermentación alcohólica espontánea; sin embargo, debido a su sensibilidad al etanol su crecimiento declina rápidamente y mueren.
- **Saccharomyces Cerevisiae:** Es un microorganismo utilizado generalmente en la industria de bebidas alcohólicas y panificadoras. También se reconoce porque es el producto responsable de la fermentación de las cervezas de tipo Ale; así lo afirma la investigación *Domestication and Divergence of Saccharomyces cerevisiae Beer Yeasts* (2016)

#### ***2.1.2.4 Agua cervecera.***

Según la investigación *Removal of bacteria and yeast in water and beer by nylon nanofibrous membranes* (2015), el agua constituye aproximadamente el 95% del peso de los ingredientes de una cerveza terminada. Este es un ingrediente fundamental para la dilución de las demás materias mencionadas anteriormente. La calidad de la cerveza fabricada depende de las variaciones en las propiedades del agua, es por ello que resulta necesario y de vital importancia un tratamiento previo a la elaboración, para obtener las condiciones óptimas del estilo deseado de cerveza.

#### ***2.1.2.5 Adjuntos.***

La Cervecería Colón, utiliza además adjuntos sin maltear, con el fin de disminuir costos de fabricación y aportar la cantidad de azúcares fermentables necesarias para obtener las características propias de cada tipo de cerveza. Los adjuntos pueden aportar cuerpo e importantes cualidades sensoriales al producto final, dependiendo del estilo de cerveza que se quiera elaborar. A continuación se describen algunos de los adjuntos más conocidos:

##### ***2.1.2.5.1 Jarabe.***

El Jarabe de Alta Maltosa Cervecerero o Glucosa Enzimática, es un compuesto producido mediante una reacción de hidrólisis ácido–enzimática del almidón de maíz, cuyo compuesto principal es la maltosa. “Es un líquido claro, viscoso, que no cristaliza, de sabor ligeramente dulce y suave”. (Keim, Stanhope, & Havel, 2016, p.126)

##### ***2.1.2.5.2 Polyclar.***

El *Polyclar Brewbrite*, es un clarificador de mosto y cerveza con propiedades altamente eficaces. Según los autores Leiper & Miedl (2009), se trata de un compuesto optimizado de la carragenina purificada, y polivinil pirrolidona especialmente modificado. Es un producto ideal

para aguas, además de la protección y estabilización frente a la turbidez en frío y la neblina permanente de la cerveza.

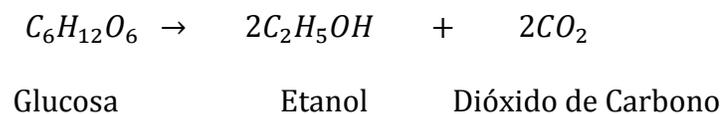


**Figura 4.** Polyclar Brewbrite. Fuente: Cervecería Colón.

### 2.1.3 Elaboración de cerveza.

#### 2.1.3.1 Fermentación alcohólica.

De acuerdo a los autores Dussap & Poughon (2017), la producción de bebidas alcohólicas se basa en el proceso de fermentación, en la mayoría de los casos por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Así las cosas, el objetivo de la fermentación alcohólica es el de suministrar energía en forma de maltosa a la levadura, para que esta produzca alcohol y CO<sub>2</sub> como lo muestra la figura 5. La reacción que describe el mecanismo de fermentación alcohólica es la siguiente:



**Figura 5.** Reacción Química durante la fermentación. Fuente: el autor.

### 2.1.3.2 Enzimas cerveceras.

Existen dos tipos de enzimas cerveceras: las alfa-amilasa y las beta-amilasa. Según Fox (2018), estas son las responsables de descomponer las cadenas de proteínas y convertirlas en azúcares fermentables y no fermentables; es decir, dextrinas. El principal uso de los granos en la preparación de cerveza, es que el almidón se reduzca a su unidad central básica, y que la glucosa se fermente fácilmente.

**Tabla 2.** Cambio de color de la tintura de yodo.

Longitud de la cadena de glucosa (moléculas)	Número promedio de secciones helicoidales	Cambio de color de la tintura de yodo
> 45	8	Azul
40	7	Azul-violeta
36	6	Violeta
21	5	Rojo
12	2	Rojo tenue
< 9	1.5	ninguno

Fuente: Cervecería Colón

### 2.1.3.3 Métodos para elaborar cerveza con bajo contenido de alcohol.

La producción de cerveza no alcohólica surgió por la tendencia mundial de llevar un estilo de vida más saludable, dados los beneficios del consumo moderado de esta bebida. Según una reciente investigación titulada *A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production* (2012), “este estilo de cerveza con bajo contenido de alcohol es una bebida relativamente nueva en el mercado que busca la satisfacción de los consumidores. En su corta historia, los productores de cerveza se han adaptado rápidamente a las condiciones del mercado”.

El proceso para la elaboración de una cerveza con bajo contenido de alcohol involucra las mismas operaciones realizadas con las cervezas convencionales producidas en planta, la diferencia radica en la receta; es decir, en los tipos y cantidades de malta y lúpulo empleados, así como las variables presentes en las etapas de fermentación y maduración.

Existen dos métodos principales para elaborar cerveza con bajo contenido de alcohol. El primero es eliminar suavemente el alcohol de la cerveza normal mediante un tratamiento físico; el segundo consiste en limitar la formación de etanol durante el proceso de fermentación de la cerveza. Dentro de estas dos estrategias básicas hay una serie de técnicas que varían en rendimiento, eficiencia y usabilidad.

Según el documento *Production and characterization of alcohol-free beer by membrane process*,

Se investigó una destilación osmótica modificada para minimizar la pérdida de compuestos volátiles, reducir el consumo de agua y, por lo tanto, disminuir el impacto ambiental del proceso. En particular, la técnica de destilación osmótica propuesta aquí consiste en reciclar las soluciones de separación desde un proceso de desalcoholización preliminar de un lote de cerveza hasta el de otros lotes. Con respecto a la calidad de la cerveza, las propiedades como el contenido de color y polifenoles permanecieron casi sin cambios en la cerveza desalcoholizada con respecto a la original, mientras que el amargor, estabilidad de la espuma, turbidez, contenido de  $O_2$  y  $CO_2$  fueron estadísticamente diferentes.

De la comparación de cerveza libre de alcohol y original, se observó una modificación en el contenido de compuestos volátiles. Las pérdidas de compuestos volátiles fueron, respectivamente, del 77% para alcoholes superiores, 99% para ésteres y 93% para aldehídos. Sin embargo, la pérdida de compuestos volátiles obtenida en este estudio fue muy similar a los resultados de la literatura sobre la desalcoholización de cerveza por diálisis, evaporación de película descendente, destilación al vacío y ósmosis inversa.

## **2.2. Antecedentes**

Conocer los casos de elaboración de cerveza artesanal en el país, resultó parte fundamental para la realización del presente proyecto. Esto permitió orientar el proceso de elaboración en cuanto a técnicas u operaciones, y enriquecer la experiencia en Cervecería Colón S.A.S, tomando como base el caso de las cervecerías Apóstol y Tres Cordilleras.

### **2.2.1 Apóstol.**

Apóstol es una marca de cervezas Premium elaboradas con selectos ingredientes europeos, producidas en Colombia, por medio de una planta de producción que cuenta con alta tecnología alemana, y que garantiza su máxima calidad, frescura y sabor. Algunas de las características que describen este tipo de cerveza son su color ámbar, espuma gruesa, leve amargor, aromas maltosos y 0,5% de alcohol v/v.

### **2.2.2 Tres Cordilleras.**

Una de las cervezas más conocida de esta marca, es la cerveza Páramo Sin Alcohol de 330ml. Se caracteriza por presentar un color dorado, y por ser elaborada con ingredientes naturales seleccionados, resultar sorprendentemente refrescante, y cuentan con 1,2 grados de alcohol.

### **2.2.3 Cervecería Colón**

La casa cervecera Cervecería Colón S.A., nace con el objetivo de brindar una experiencia de calidad y satisfacción a los amantes de la cerveza. Con la idea de expandir y posicionar el concepto de cerveza artesanal – que para la época ya era muy conocido en los países de Europa- en el mercado colombiano. En esta medida, estas bebidas están elaboradas con las más selectas maltas y lúpulos traídos de Alemania y Bélgica, pues buscan destacarse por su altísima calidad.

Después de su inauguración en Cali, la planta de producción de Cervecería Colón S.A., se traslada a Bogotá en el año 2006. Seis años después, esta es comprada por el grupo Conboca, y en el año 2013 se modificó su razón social por Cervecería Colón S.A.S.

El incremento del número de casas cerveceras a lo largo del territorio nacional, ha permitido que esta empresa se consolide y solidifique no solo en la cantidad de producción anual, sino en la planta física requerida para cumplir con la demanda de cervezas. En la actualidad, se elaboran cervezas de tipo ALE, principalmente, con estilos como Brown Ale, Indian Pale Ale, Pale Ale, de origen británico, y Kölsh de origen alemán. También se fabrican cervezas de temporada como son la Stout, Porter, Lager, y Lager de doble fermentación.

Actualmente, Cervecería Colón se encuentra en mejoramiento continuo e implementación de nuevos procesos para la elaboración de productos que cumplan las normas de rigor para el campo de las bebidas alcohólicas en Colombia. Su planta de producción se encuentra ubicada en una zona industrial de Bogotá D.C. (Carrera 19B N° 168-36, Barrio Toberín, Localidad de Usaquén), cuyos accesos se encuentran en condiciones adecuadas para la recepción de materia primas y despacho de producto terminado. Cuenta con áreas específicas y delimitadas para las diferentes operaciones que se llevan a cabo dentro de las instalaciones. En la figura 6 se puede observar la zona industrial de Toberín, donde se localiza la planta de producción de cerveza, de igual manera con un recuadro de color rojo se señalan las delimitaciones de la misma.

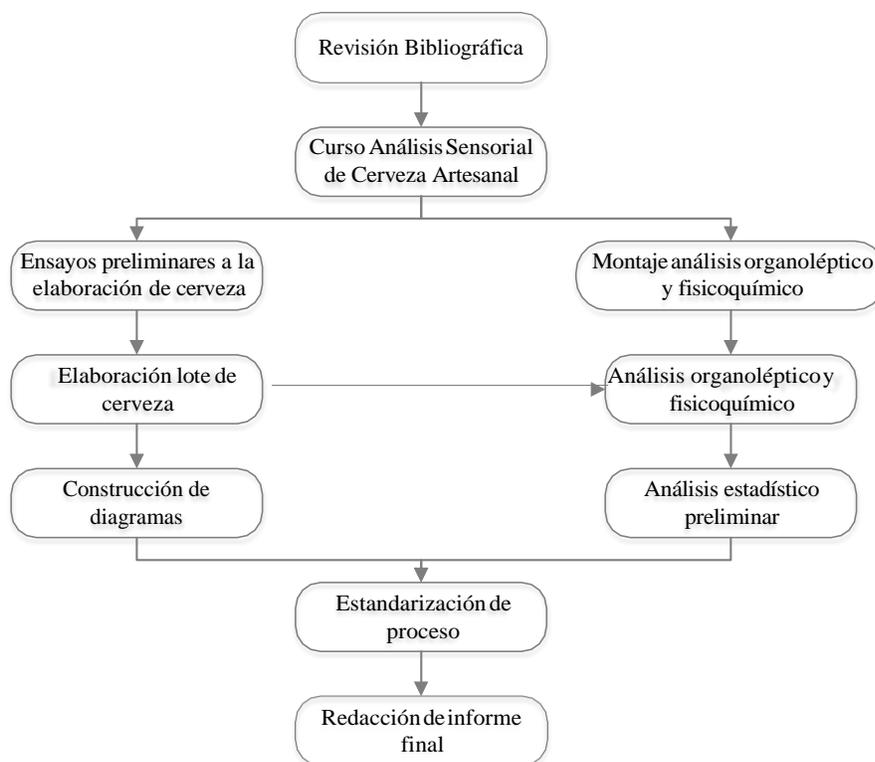


**Figura 6.** Planta de Cervecería Colón. Fuente: Google Maps. 2017.

### 3. Metodología

En este capítulo se presentan los materiales y métodos utilizados en la ejecución de este proyecto. Los análisis de las muestras de cerveza y materias primas se realizaron en el Laboratorio de Control Calidad de Cervecería Colón y en el Laboratorio Especializado en Microbiología Industrial y Control Calidad- EMICAL.

La etapa experimental tuvo una duración de 210 días aproximadamente, en los cuales se siguió el esquema metodológico que se muestra en la figura 7. Dicha etapa abarcó desde septiembre de 2016 hasta marzo de 2017. En primer lugar, se inició con tres ensayos preliminares, donde se utilizó un Cornelius de 60 L para la fermentación, y posteriormente se puso el proyecto en marcha a nivel industrial. Por otro lado las muestras de materias primas y de cerveza se tomaron por triplicado de forma aleatoria, a partir del lote disponible en el momento del análisis.



**Figura 7.** Esquema metodológico. Fuente: el autor.

Luego de realizar una exhaustiva revisión bibliográfica respecto al tema de la cerveza artesanal en Colombia, el investigador del presente proyecto realizó un curso básico de entrenamiento sensorial, dirigido por el ingeniero químico Camilo Ernesto Rivera Dussán, Tecnólogo Cervecerero World Brewing Academy. En este lapso se abordaron temas como estilos de cerveza, proceso, evaluación sensorial y errores comunes en la elaboración.

### 3.1 Materiales para la elaboración de cerveza

Las materias primas empleadas en la elaboración de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol son la cebada malteada, agua, lúpulo y levadura. En este proyecto se utilizó un “adjunto” o jarabe de maíz como fuente de carbohidratos, con características especiales como se evidencia en el anexo 4. En la tabla 3 se pueden apreciar las cantidades de cada material empleado en cada uno de los ensayos.

**Tabla 3.** Materiales utilizados en la elaboración de cerveza.

Material		Planta	Cornelius
		Cantidad	Cantidad
Malta	Pilsner	50 Kg	4,44 Kg
	Carabohemian	1,5 Kg	103,3 gr
Lúpulo	Target	505 gr	44,9 gr
	Cascade	260 gr	23,1
Agua	Potable	675 L	60 L
Levadura	<i>Saccaromyces Ludwiggii</i>	10 L	890 mL
Jarabe	Alta Maltosa	15 Kg	4,4 Kg
Polyclar		100 gr	10 gr

Elaborada por el autor

## 3.2 Métodos de análisis

### 3.2.1 Análisis organoléptico de materias primas.

En este apartado se busca establecer los perfiles que ofrezcan una visión cualitativa, y mediciones precisas de los materiales de medición. Con los valores de estos perfiles sensoriales, es más sencillo establecer un criterio sobre la calidad de los productos, y una noción de las características de la cerveza elaborada.

#### 3.2.1.1 Determinación sensorial del agua.

Para el análisis organoléptico del agua del proceso, se deben tener en cuenta los siguientes procedimientos:

- **Aspecto:** Observar la muestra a la luz, verificando que no presente sólidos en suspensión, y que cumpla con los parámetros de limpieza y claridad.
- **Color:** Observar cuidadosamente la muestra a la luz y verificar el color, sobre una superficie blanca.
- **Olor:** Servir una muestra en un vaso limpio y oler.
- **Sabor:** Beber un poco de muestra y colocarla en la punta de la lengua con la boca cerrada, esperar un momento y reconocer el sabor que la caracteriza

#### 3.2.1.2 Determinación sensorial de malta, cebada, y lúpulo.

En este análisis se utilizaron algunos sentidos como lo fueron la vista, el olfato y gusto, para determinar las propiedades organolépticas presentes en dichos materiales como lo muestra la tabla 4.

**Tabla 4.** Variables evaluadas sensorialmente a las materias primas

<b>MUESTRA</b>	<b>ANÁLISIS</b>	<b>MÉTODO</b>
<b>Lúpulo</b>	Color	Evaluación sensorial
	Amargo	NTC 2679
	Sabor	
<b>Malta</b>	Color	Evaluación sensorial
	Olor	NTC 2679
	Sabor	
<b>Levadura</b>	Color	Evaluación sensorial
	Olor	NTC 2679
	Sabor	
	Textura	

Elaborada por el autor

Para el análisis organoléptico del lúpulo, la malta y la levadura se tiene el siguiente procedimiento:

- **Aroma:** Se coloca la materia prima sobre una superficie, se ventila con la mano y se huele profundamente, determinando así el estado de aromaticidad.
- **Color:** Se observa cuidadosamente la muestra a la luz, y se verifica el color sobre una superficie blanca (color fuerte y llamativo).

### 3.2.2 Análisis fisicoquímico del agua de proceso.

En esta parte del proceso, se hizo necesario realizar un análisis fisicoquímico al agua de proceso para determinar el pH con ayuda de un pHmetro marca Sartorius. Según la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Ambiente, el valor del potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano debe estar comprendido entre 6,5 y 9,0. Por otro lado, también fue

indispensable determinar el Cloro Libre Residual a través de un Kit de Análisis de Cloro Ref. 11101 – Merck, que según la resolución 2115 del 2007 debe estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L.

### ***3.2.2.1 Determinación del pH.***

Una vez calibrado el pHmetro, se sumergió dentro de la muestra de 50 ml durante el tiempo en el que en la pantalla del pHmetro se encontró ya estabilizada. Una vez estabilizada se tomó el valor del pH.

### ***3.2.2.2 Determinación de Cloro Libre Residual.***

Se llenó la cubeta con 10 ml de muestra sin reaccionar de agua de proceso, y se volvió a colocar la tapa hasta que el medidor marcó cero. Posteriormente se agregó el contenido de un paquete de reactivo HI y se agitó suavemente por 20 segundos. Luego de transcurrir 1 minuto aproximadamente, el colorímetro desplegó en forma directa la concentración de cloro libre en ppm como se muestra en la figura 8.



***Figura 8.*** Colorímetro. Fuente: Hanna Instruments.

### **3.2.3 Análisis fisicoquímico del mosto.**

#### ***3.2.3.1 Determinación de Grados Platos o de Fermentación.***

Se tomó 500 ml de cerveza a una temperatura de 19,5°C en un Erlenmeyer, y tapándolo con la mano se agitó para que se desprendiera todo el CO<sub>2</sub>, durante 2 minutos aproximadamente. Luego, se dejó reposar la cerveza hasta que desapareciera en su totalidad la espuma ocasionada por la agitación y se sirvió en una probeta 250ml de cerveza hasta el tope. Se introdujo el hidrómetro girándolo suavemente en el centro de la probeta con cerveza, dejando flotar el hidrómetro hasta que se obtuvo un punto de equilibrio (se estabilizó) y leyó la escala del punto de equilibrio del hidrómetro por debajo del menisco del hidrómetro.

#### ***3.2.3.2 Determinación de Grados Brix.***

Se extrajeron muestras del mosto saliente del intercambiador para agregar 4 gotas de las muestras sobre la parte cristalina del refractómetro. Luego se dejó el refractómetro cerca de una fuente de luz, ajustando su parte ocular para dar una lectura en la escala del refractómetro, en grados Brix. Con este dato se obtuvo el nivel de concentración de azúcar en el mosto.

### **3.3 Descripción de la elaboración de cerveza con bajo contenido de alcohol**

#### **3.3.1 Molienda.**

La molienda de la malta se realizó utilizando un molino de acero al carbón con operación en seco y dos rodillos, obteniendo 51,5 g de malta molida. El propósito de la molienda fue permitir la exposición de la parte interna del grano, la cual es la fuente de almidón y proteínas. Se molió para posibilitar que las enzimas que contiene la malta actuaran sobre sus componentes, descomponiéndolos durante la maceración.

**Tabla 5.** Especificaciones Molino de rodillos

<b>Nombre</b>	Molino de doble rodillo
<b>Modelo</b>	Doble rodillo, Grados Ajustable, Acero al carbono.
<b>Potencia del motor</b>	4kw.
<b>Voltaje</b>	380 V.
<b>Tamaño</b>	600x750x1085mm.
<b>Peso</b>	500 kg
<b>Precio</b>	US \$ 500

Fuente: Cervecería Colón

### 3.3.2 Macerado.

En esta etapa la malta proveniente del proceso de molienda se puso en contacto con agua caliente a 75°C, esto con el objetivo de incluir la conversión del almidón presente en la malta, en azúcares fermentables y no fermentables, gracias al efecto de las enzimas presentes en el grano. Esta etapa se lleva a cabo en el tanque *Mash Tun*, el cual posee internamente un falso fondo que actúa a manera de colador con las especificaciones que muestra la tabla 6.

**Tabla 6.** Especificaciones *Mash Tun*.

<b>Nombre</b>	Mash Tun
<b>Capacidad</b>	15bbl
<b>Material</b>	Interior Shell: SUS304 th = 3mm 65292 Shell exterior: SUS304 th = 2mm
<b>Solicitud área</b>	> 70M2
<b>Fuente</b>	Eléctrico/vapor/fuego directo para opcional
<b>Suministro Eléctrico</b>	3 fase/380 (220, 415,440...) V/50 (60) Hz
<b>Precio</b>	US \$55,000

Fuente: Cervecería Colón

Esta etapa del proceso se visualiza mediante una prueba yodo a las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa, convirtiendo el almidón en azúcares fermentables y no fermentables, los cuales reaccionan haciendo cambiar el color de la tintura del yodo. Esta prueba se efectuó con el fin de determinar si se ha llevado a cabo una conversión completa del almidón presente en los granos de malta molida.

### **3.3.3 Recirculación del extracto.**

Esta etapa se efectuó con el fin de homogenizar la conversión en el interior del recipiente, reconcentrar el extracto obtenido, y dar lugar a una primera clarificación. Se hizo por medio de la torta de malta que actúa como medio filtrante en conjunto con el piso falso del *Mash tun*.

### **3.3.4 Lixiviación del extracto.**

En esta etapa del proceso se tiene una torta con una parte líquida denominada extracto. Gracias a las acciones anteriores de mezclado y recirculación, se puede diluir este extracto hasta la cantidad deseada (5.5 BBL), por medio del paso de este hasta el *Kettle*. Después se involucra una operación de lixiviación a través de la torta de malta en el *Mash Tun*, lo cual permite obtener un máximo de extracción de dicha torta.

### **3.3.5 Recolección del afrecho o torta de malta húmeda.**

Una vez se escurrió completamente el *Mash*, se abrió la escotilla lateral para sacar el afrecho de forma manual en canecas de 55 galones.

### **3.3.6 Cocción (ebullición).**

La mezcla líquida proveniente del *Mash Tun*, se transfirió al *Brew Kettle* bajo las especificaciones que muestra la tabla 7, donde se calentó gracias a la acción directa de la combustión de gas natural como fuente de calor, a la máxima rata de quemado. Se esperaron 20 minutos después del inicio de la ebullición, y se agregó el primer lúpulo (target), el cual aporta el

amargo. Posteriormente, después de que transcurre 1 hora y 20 minutos, se agrega el segundo lúpulo (cascade), con el fin de darle el aroma característico del mosto.

**Tabla 7.** Especificaciones *Brew Kettle*.

<b>Nombre</b>	Brew Kettle.
<b>Capacidad</b>	15bbl
<b>Material</b>	Interior: Acero inoxidable AISI 304 exterior: SUS4 Chaqueta: SUS304
<b>Superficie</b>	Espejo pulido/2B-cold-rolled
<b>Fuente</b>	Gas Natural
<b>Presión</b>	0.3mpa/0.2mpa
<b>Precio</b>	US \$4,600

Fuente: Cervecería Colón

La cocción del mosto obtenido de la etapa anterior se efectuó teniendo en cuenta los siguientes procesos:

- Evaporación de agua para concentración del mosto.
- Coagulación de proteínas y taninos.
- Formación del “*hot break*” o torta de cocción.
- Extracción de aceites esenciales del lúpulo.
- Isomerización de alfa ácidos del lúpulo para obtención de sabor amargo.
- Esterilización del mosto.
- Inactivación de enzimas.
- Formación de componentes del sabor.
- Evaporación de sustancias volátiles indeseables

El proceso de calentamiento siguió a las condiciones con que inició la transferencia de la etapa anterior, hasta que la temperatura del líquido llegó a 90 °C. La rata de quemado se redujo gradualmente, disminuyendo una unidad de quemado por cada grado centígrado incrementado en

el líquido. La bebida llegó hasta a la temperatura de ebullición de acuerdo a la altura en que se encuentra la planta (Bogotá/ 94 °C), donde la rata de quemado se fijó en 3 unidades. Inmediatamente se alcanzó la temperatura de ebullición, se inició el cronometraje para contabilizar hora y media. Durante este tiempo se agregaron los lúpulos de acuerdo a la receta de la cerveza en preparación.

### 3.3.3 Enfriamiento.

El propósito de esta etapa fue disminuir la temperatura a la cual sale el mosto del *Brew Kettle*, para llevarlo a la zona de fermentación a condiciones menos hostiles para la levadura. Este ingrediente tiene un rango de vida que está entre los 0 y 30 °C; temperaturas superiores o inferiores consiguen la destrucción de las células.

Para esta etapa de enfriamiento del mosto se empleó un intercambiador de calor de placas de alta eficiencia (ver tabla 8), que consiguió disminuir la temperatura del mosto desde 98 °C hasta 19,5 °C en un solo paso, empleando como medio refrigerante el agua que provenía del cuarto frío a 4 °C.

**Tabla 8.** Especificaciones Intercambiador de Calor.

<b>Nombre</b>	Intercambiador de Calor
<b>Área de transferencia de calor de placa</b>	0,3 m <sup>2</sup>
<b>área máxima de montaje</b>	250m <sup>2</sup>
<b>Dirección</b>	Una
<b>presión máxima de diseño</b>	1,6 Mpa
<b>Temperatura de diseño</b>	180°C
<b>Caudal máximo</b>	141 m <sup>3</sup> /H
<b>Precio</b>	US \$1,200

Fuente: Cervecería Colón

### 3.3.8 Fermentación.

En esta etapa se impidió que los azúcares obtenidos de la hidrólisis de los almidones de la malta se metabolizaran en el interior de las células de levadura *Saccaromyces Ludwiggii*, de esta manera se evitó la producción de etanol desde etapas anteriores. Para este propósito, el tanque fermentador estuvo provisto de una chaqueta de refrigeración que mantuvo la temperatura del equipo estable a lo largo del proceso fermentativo entre 18 y 21°C, la cual es la temperatura de fermentación de cervezas tipo Ale. Este proceso duró 2 días.

Durante el tiempo de fermentación se dejó abierta la válvula del tanque con especificaciones como lo muestra la tabla 9, para permitir la salida de gas carbónico en la trampa de vapor, la cual con la ausencia de burbujeo constante evidenció la no conversión de azúcares en alcohol.

Diariamente, se tomaron muestras del fermentador para medición de grados brix y grados platos. Una vez obtenido el fermento con las características requeridas, se cerró la salida de gas, y se permitió el paso de refrigerante a la chaqueta del fermentador hasta los 4 °C (set point controlador), y se inició el proceso de maduración en el mismo tanque.

**Tabla 9.** Especificaciones Fermentador Unitank.

<b>Nombre</b>	Fermentador Unitank
<b>Capacidad de producción</b>	6 BBL
<b>Material</b>	acero inoxidable 304/316
<b>Espesor</b>	Exterior: 1.5 ~ 2.0mm * Interior: 2.5mm ~ 3.0mm
<b>Espacio</b>	&Ge; M2
<b>Potencia total</b>	22/72 kW
<b>Voltaje</b>	380 V
<b>Peso</b>	500 Kg
<b>Precio</b>	US \$35,100

Fuente: Cervecería Colón

### 3.3.9 Maduración.

La temperatura del fermentador se mantuvo entre 0 y 3 °C inhibiendo así el crecimiento de la levadura, decantándose al fondo del tanque y efectuando de este modo una “separación” primaria. Dicha maduración duró 7 días. La temperatura a la cual se llevó a cabo la maduración, además de decantar la levadura, ayudó a aglomerar algunas proteínas presentes en la cerveza que pudieron variar la tonalidad de la bebida en la etapa de almacenamiento en frío.

La determinación del cuerpo de la cerveza fue netamente subjetiva, dependió del grado de madurez de la cerveza, de acuerdo a la prueba organoléptica efectuada. A partir de este proceso, se pudo decidir si estaba lista para pasar a la siguiente etapa (Si la cerveza cumple con las especificaciones de aroma, bouquet, color, y cuerpo deseado, se encuentra lista para ser filtrada).

### 3.3.10 Filtración.

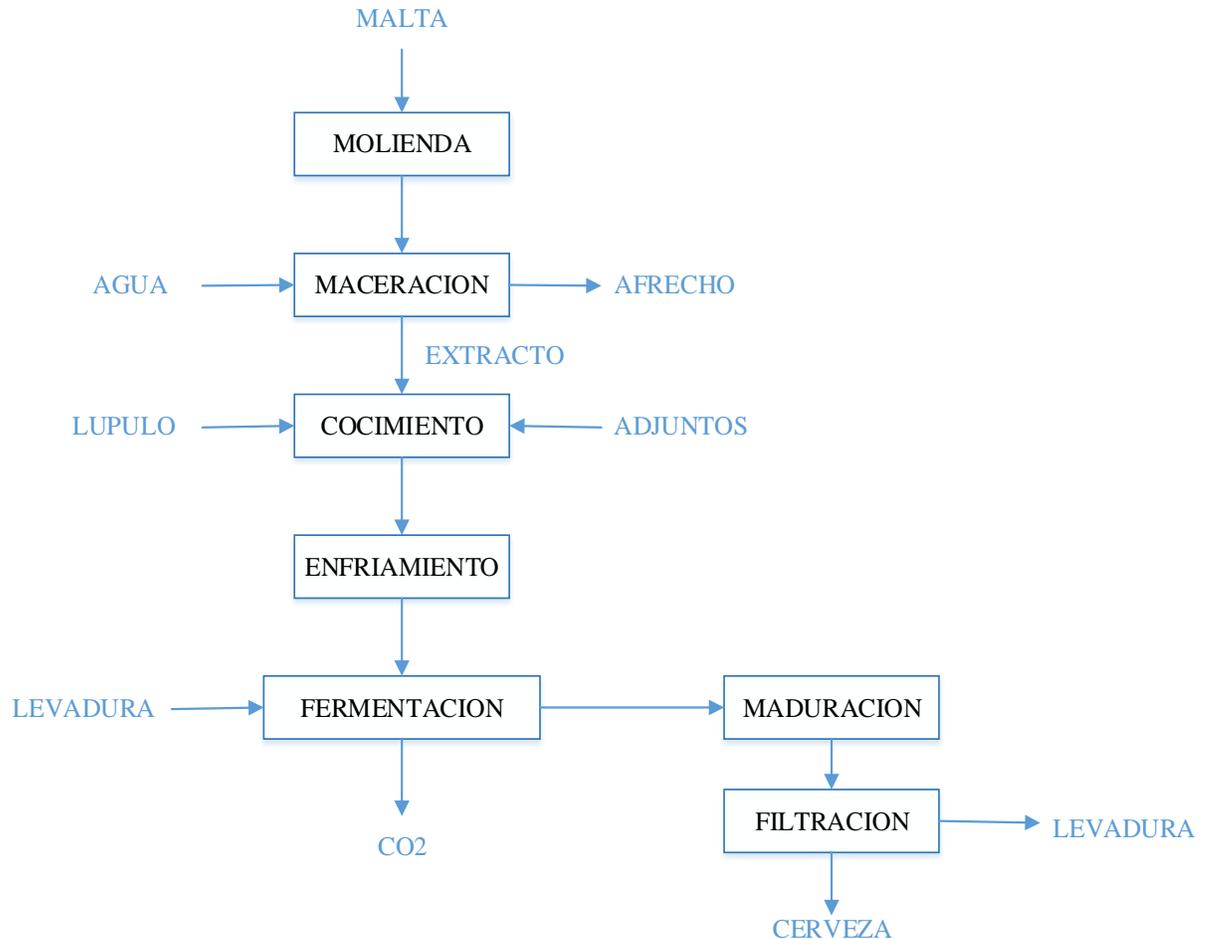
Concluida la etapa de maduración y una vez alcanzado el cuerpo, sabor y aroma deseado, la cerveza aún se percibe turbia por la presencia de la levadura en el líquido. En esta etapa se hizo pasar a través de un filtro-prensa de placas de celulos,a que removió las células de levadura para obtener una cerveza clarificada, brillante y traslucida recolectada en el tanque de almacenamiento.

**Tabla 10.** Especificaciones Filtro prensa.

<b>Nombre</b>	Filtro prensa
<b>Área de filtro</b>	30 m <sup>2</sup>
<b>Material</b>	304 de acero inoxidable
<b>Graduación</b>	Automático
<b>Material de la placas</b>	Celulosa de 630*630 mm
<b>Presión del filtro</b>	0.69-1.0 MPa
<b>Temperatura de filtración</b>	0-180 °C
<b>Precio</b>	US \$4,300

Fuente: Cervecería Colón

En la figura 9 se muestra el proceso antes descrito para la elaboración de cerveza con bajo contenido de alcohol, iniciando desde la molienda de la malta hasta la filtración de la cerveza.



*Figura 9.* Diagrama de bloques Fuente: El Autor.

### 3.4 Análisis organoléptico de la cerveza elaborada

El análisis organoléptico es la evaluación de las características de la cerveza mediante los sentidos (vista, olfato y gusto), consiguiendo datos con posibilidades de cuantificar. Para ello se realizó una prueba hedónica estructurada utilizando una puntuación de 0 a 5 puntos como lo muestra la tabla 11. Se escogieron cinco (5) panelistas de diferentes profesiones como operarios, maestros, e ingenieros, para evaluar muestras de la cerveza elaborada, y dos del mismo estilo Golden Ale (light y rubia). Para el análisis de los datos, las consideraciones se convierten en

puntajes numéricos que se tabulan y se estudian empleando un análisis de varianza (ANOVA) y gráficos de caja y bigotes.

**Tabla 11.** Análisis Sensorial de la Cerveza

<b>APARIENCIA</b>	0 Turbia 1	1 Presenta partículas 2 Flotantes	2 Velada 3	3 Traslucida 4	4 Color 5 Aparente estilo Analizado
<b>AROMA</b>	0 Fuerte aroma a 1 levadura autodializada	1 Aroma claro 2 componentes ajenos	2 Ligero 3 aroma oxidado	4 Diacetilo a	4 Limpio 5 Característico
<b>SABOR</b>	0 Fuerte sabor a 1 levadura	1 Sabor claro 2 componentes ajenos	2 Ligero Sabor 3 Diacetilo	3 Ligero 4 Sabor Oxidado	4 Limpio 5
<b>AMARGO</b>	0 Rasca y deja retrogusto amargo 1 lúpulo.	1 Deja retrogusto amargo de lúpulo. 2	2 Deja algo de retrogusto 3 amargo de lúpulo.	3 Fino 4	4 Muy fina, no rasca al 5 tragar ni retrogusto amargo lúpulo

Elaborada por el autor.

Para el análisis sensitivo de la cerveza se tiene el siguiente procedimiento:

- **Olor:** Se captó el olor agitando suavemente la cerveza en un vaso cerca de la nariz.
- **Sabor:** Se bebió un poco de muestra y se colocó en la punta de la lengua con la boca cerrada, esperando un momento hasta analizar el sabor del producto.
- **Amargo:** Se bebió un poco de muestra hasta sentir el amargo.
- **Color:** En un vaso se observó cuidadosamente la muestra a la luz verificando el color, para mayor nitidez se colocó sobre una superficie blanca.

En la tabla 12 se muestra la metodología de análisis empleada para cada variable.

**Tabla 12.** Variables analizadas durante la elaboración cerveza

MUESTRA	ANÁLISIS	METODO DE ANALISIS
Mosto	Prueba de yodo	NTC 6235
Mosto	Grado Plato	
Mosto	Grados Brix	NTC 5468
Cerveza	Acidez	NTC 2740
Cerveza	gas carbónico (CO <sub>2</sub> )	NTC 2740
Cerveza	pH	NTC 2740
Cerveza	Alcohol	NTC 3952

Elaborada por el autor.

### 3.5 Análisis fisicoquímico de la cerveza elaborada

A continuación se presentan los procedimientos de análisis para cada parámetro físico-químico determinado. Para la realización de estos procedimientos se efectuó un muestreo purgando muestras al dejar fluir la cerveza libremente durante 5 segundos. Con la válvula abierta completamente abierta se recogió el volumen necesario de acuerdo a los ensayos que se necesitaban realizar.

#### 3.5.1 Determinación del contenido de alcohol etílico.

La determinación se efectuó por destilación de la cerveza, y la medida de densidad del destilado por psicometría. Inicialmente se preparó la muestra tomando 500 ml de cerveza a una temperatura de 19,5° C en un matraz Erlenmeyer de aproximadamente 700 ml. Después se tapó con la mano y agitó para que se desprendiera el CO<sub>2</sub>, filtrando seguidamente la cerveza a través de un papel de filtro seco en un embudo. Se pesaron 100,0 g de cerveza en un matraz tarado de

500 ml añadiéndose aproximadamente 50 ml de agua destilada. Se conectó el matraz al montaje de destilación, colocándolo sobre una malla de asbesto y calentando, suavemente al principio, para destilar el alcohol. Cuando se recogió la cantidad de 85 a 90 ml del destilado, se detuvo la destilación hasta completar  $100 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ .

Posteriormente se homogenizó bien el destilado y se midió su densidad a  $20^\circ\text{C} / 20^\circ\text{C}$  con ayuda de un picnómetro, tomando precauciones para evitar toda pérdida de alcohol. Para realizar este cálculo, se utilizó la tabla adjunta en el Anexo 1: a partir de la densidad del destilado, la graduación alcohólica es expresada en gramos de alcohol en 100 gramos de cerveza.

### 3.5.2 Determinación de pH.

Luego de haber calibrado el PHmetro y, una vez descarbonatada la muestra totalmente, se colocó una cantidad de muestra suficiente en un beaker, sumergiendo el pHmetro dentro de la muestra durante el tiempo en el que estuviera estable se tomó el valor del pH (El pHmetro hizo una corrección por temperatura automática) como lo muestra la figura 10.



**Figura 10.** Determinación de pH. Fuente: El Autor.

### 3.5.3 Determinación de acidez total.

La determinación se realizó por valoración potenciométrica, pipeteando 50 ml de cerveza desgasificada en el vaso de valoración. Se atemperó la muestra en un baño termostatado a 20°C que es la temperatura de calibración del pHmetro. Después se introdujo dentro de la cerveza el electrodo y se procedió a agitar. Luego se valoró la cerveza con NaOH 0,1N hasta pH 8,2 añadiendo reactivo en porciones de 1,5 ml hasta llegar a pH 7,6 y después en una reducción del incremento de aproximadamente 0,15 ml, hasta que se alcanzó exactamente el pH 8,2. Finalmente, se aseguró alcanzar un equilibrio completo a pH 8,2 antes de hacer la lectura en la bureta del NaOH gastado.

Para realizar estos cálculos, se entiende la acidez expresada como % de ácido láctico, la cual se determina de acuerdo a la siguiente fórmula. A continuación se describe lo que representa cada variable:

$$\text{Acidez total (\% ácido láctico)} = \frac{V1 * 10}{V2 * d} * 0,09$$

- d = Densidad en g/ml de la cerveza, medida a 20° C/20° C
- V1 = Volumen de NaOH, en ml, empleados en la valoración
- V2 = Volumen, en ml, tomados de cerveza
- 0,09 = Valor de 1 miliequivalente de una solución 0,1 N de ácido láctico. Expresar la acidez con dos cifras decimales.

### **3.5.4 Determinación del contenido de CO<sub>2</sub>.**

La determinación se realizó por el método de agitación manual, a través de un equipo convencional como lo es un probador de agitación manual. Este instrumento era automáticamente ajustable a varios tamaños de botellas y latas, estaba equipado con un manómetro de escala doble (0-60 psi y 0-4.2 Kg/cm<sup>2</sup>) y un termómetro de esfera ajustable de 2" de doble escala (25.125°F & -5/55°C). Este dispositivo de perforación también estaba equipado con una bureta de 100 cc que medía hasta 25 cc del contenido del aire del producto.

### **3.6 Construcción de Diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID) y distribución de la planta**

Ya que no se ha elaborado un diagrama donde se representen los equipos ni la configuración de las tuberías presentes en la planta de la Cervecería Colón, se opta por construir un diagrama P&ID y la distribución para conocer de manera más clara el funcionamiento de la planta.

El diagrama de tuberías e instrumentación y la distribución de la planta se construyen utilizando el software libre Visio Professional 2016. En estos se muestran los equipos utilizados, líneas de alimentación, válvulas y lazos de control como se evidencia en los anexos 8 y 9.

### **3.7 Análisis estadístico**

Para la evaluación estadística de los tratamientos aleatorios se utilizó el software R Project paquete RCMDR, versión de prueba para estudiantes. Se realiza un análisis de los datos, las características se convierten en puntajes numéricos del 1 al 5 los cuales se tabulan y analizan mediante un análisis de varianza (ANOVA), con el fin de establecer la existencia de diferencias significativas en las variables de los tres estilos de cerveza estudiados.

#### 4. Presentación y análisis de resultados

En el presente capítulo se muestran los resultados del proyecto “Elaboración de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol en la Cervecería Colón S.A.S.” La valoración de cada uno de los análisis y el estudio de sus variables determina la veracidad del trabajo, obteniendo los siguientes resultados y discusiones para cada variable propuesta.

##### 4.1 FASE I: Análisis fisicoquímico y organoléptico de las materias primas

El agua que se utilizó para la elaboración de la cerveza artesanal baja en alcohol fue un agua potable, apta microbiológicamente como lo muestra el anexo 6, libre de colores, sabores y olores, sin exceso de sales y exenta de materia orgánica como lo muestra la tabla 13.

**Tabla 13.** Propiedades fisicoquímicas y organolépticas del agua de proceso.

Muestra	Propiedades					
	Organolépticas			Fisicoquímicas		
	Color	Olor	Sabor	Temperatura (°C)	pH	Cloro Libre (mg/L)
1	incolora	inodora	insípida	19,8	7,45	0,56
2	incolora	inodora	insípida	20,1	7,72	0,72
3	incolora	inodora	insípida	19,7	7,59	0,68

Elaborada por autor

Las tres muestras de agua analizadas provenientes del tanque de agua potable presentaron buenas propiedades organolépticas, garantizando una excelente calidad, influenciando de manera positiva en las características del mosto producido y posibilitando la actividad de las enzimas necesarias durante la maceración.

Por otro lado, realizar un análisis sensorial de la malta como ingrediente de la cerveza, es un hecho relativamente moderno en una industria tan antigua como la cervecera. Las pruebas realizadas a diferentes muestras de malta permitieron identificar un tamaño y color similar de los

granos (claro) como lo evidencia el anexo 3, sin signos de enfermedad (esto es, descolorido o deformados), que posibilitaron una buena operación de molienda y maceración, se observó un grano de malta gordo y largo sin puntas vidriosas translúcidas. De igual manera fue posible partir el grano con los dedos, lo que permitió evidenciar su fiabilidad con un sabor dulce y agradable aroma fresco como lo muestra la tabla 14.

**Tabla 14.** Análisis Organoléptico de la Malta

<b>Muestra</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Estilo y Lote</b>
Aleatoria por lote	Diaria	SIN alcohol 300

<b>PRUEBA SENSORIAL MALTA ( Pilsner)</b>				
<b>ASPECTOS</b>	<b>1. Conforme</b>		<b>2. No Conforme</b>	
<b>COLOR</b>	X			
<b>AMARGO</b>	X			
<b>SABOR</b>	X			
<b>COLOR</b>	1	Claro	2	Oscuro
<b>AMARGO</b>	1	Fresco	2	Rancio
<b>SABOR</b>	1	Dulce	2	Astringente

Elaborada por el autor.

Respecto a el lúpulo, presentó un amargor limpio y fuerte con un porcentaje de alfa ácido de 8 como lo evidencia el certificado de análisis ver anexo 2. Esta materia prima desprendió también un agradable y e intenso olor a lúpulo inglés, el cual le imprimió a la cerveza un sabor cítrico, especiado y un gran aroma herbáceo, a manzana verde y madera. Lo anterior permite afirmar que este tipo de lúpulo es versátil utilizado tanto en amargor como en aroma.

**Tabla 15.** Análisis Organoléptico del Lúpulo.

<b>Muestra</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Estilo y Lote</b>
Aleatoria por lote	Diaria	SIN alcohol 300

<b>PRUEBA SENSORIAL LUPULO INGLÉS ( Target)</b>				
<b>ASPECTOS</b>	<b>1. Conforme</b>		<b>2. No Conforme</b>	
<b>COLOR</b>	X			
<b>AMARGO</b>	% A.A. 8			
<b>SABOR</b>	X			
<b>COLOR</b>	1	Verde	2	Café
<b>AMARGO</b>	1	Fuerte <b>Alfa-ácidos:</b> 7-14%	2	<b>Alfa-ácidos:</b> Menos de 7% (ficha técnica)
<b>SABOR</b>	1	Amargo Intenso	2	Cítrico

Elaborada por el autor.

En cuanto a la levadura utilizada en los diferentes tipos de cerveza producidas tradicionalmente en la planta de Cervecería Colón es *saccharomyces cerevisiae*. Para la elaboración de la cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol fue necesario utilizar en la fermentación una levadura especial *Saccaromyces Ludwiggii* con unas excelentes propiedades organolépticas y microbiológicas como lo muestra la tabla 16 y el anexo 5.

**Tabla 16.** Análisis Organoléptico de la Levadura.

<b>Muestra</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Estilo y Lote</b>
Aleatoria por lote	Diaria	SIN alcohol 300

<b>PRUEBA SENSORIAL LEVADURA ( <i>Saccaromyces Ludwiggii</i> )</b>				
<b>ASPECTOS</b>	<b>1. Conforme</b>		<b>2. No Conforme</b>	
<b>COLOR</b>	x			
<b>OLOR</b>	x			
<b>SABOR</b>	x			
<b>TEXTURA</b>	x			
<b>COLOR</b>	1	Crema claro o blanco	2	Rojizo
<b>AROMA</b>	1	Inodora	2	No olor o acético
<b>SABOR</b>	1	Sabor agradable	2	No debe tener demasiado gusto ni ácido
<b>TEXTURA</b>	1	consistencia firme plástica	2	blanda ni pegajosa

Elaborada por autor

#### **4.2 FASE II: Estandarización del proceso de elaboración de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol**

El proceso de elaboración de cerveza con bajo contenido de alcohol es básicamente el mismo que el de cualquier estilo tradicional producido, como se ilustra en la figura 11. Las diferencias se centran básicamente en la receta (cantidad de malta y lúpulo empleados), el extracto original, el tiempo de fermentación y el tipo de levadura utilizada.

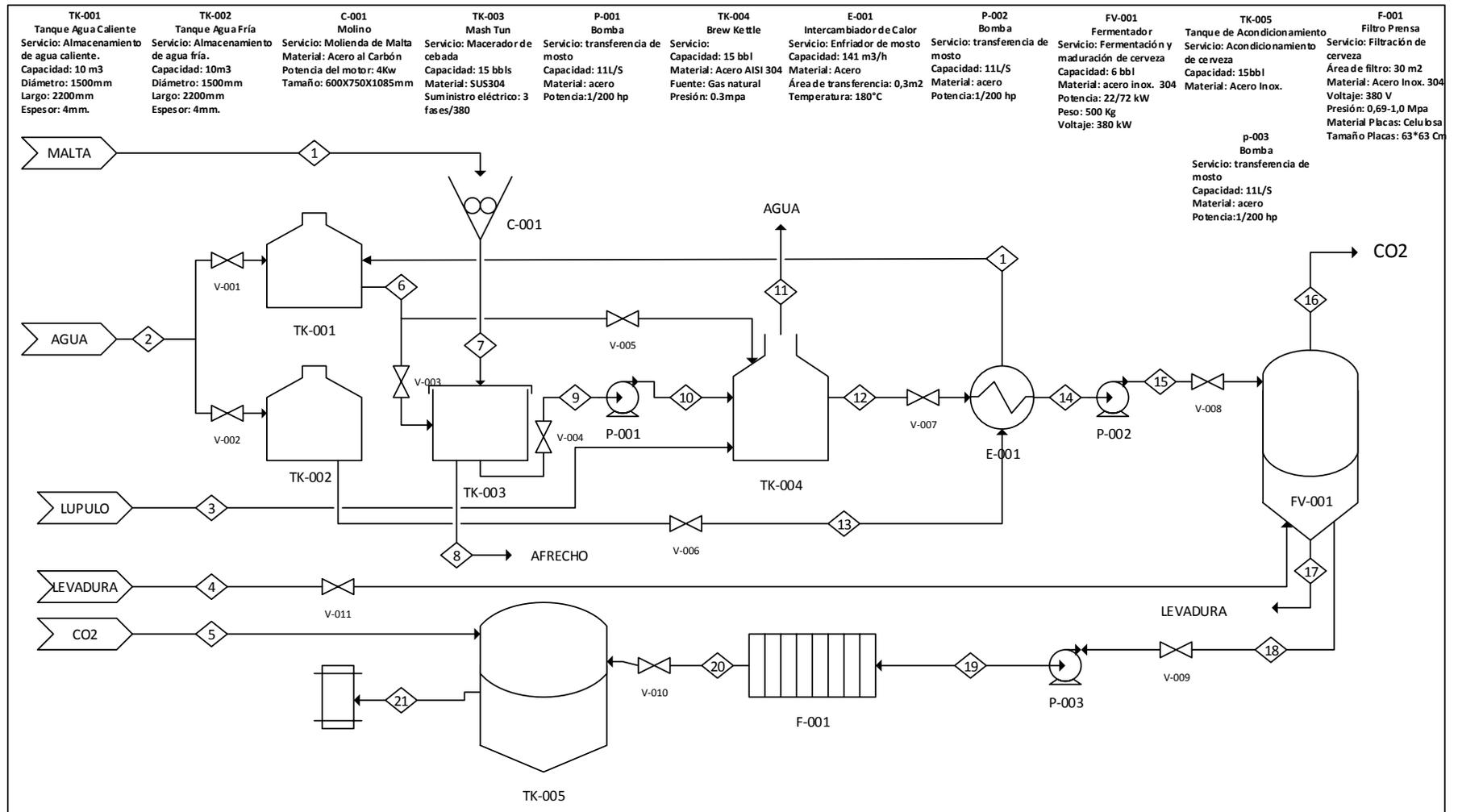
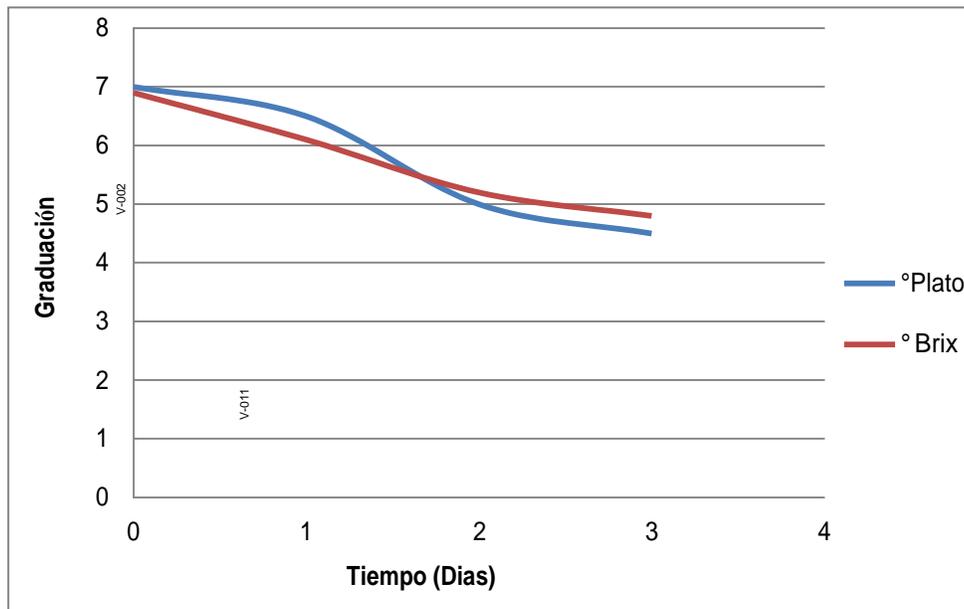


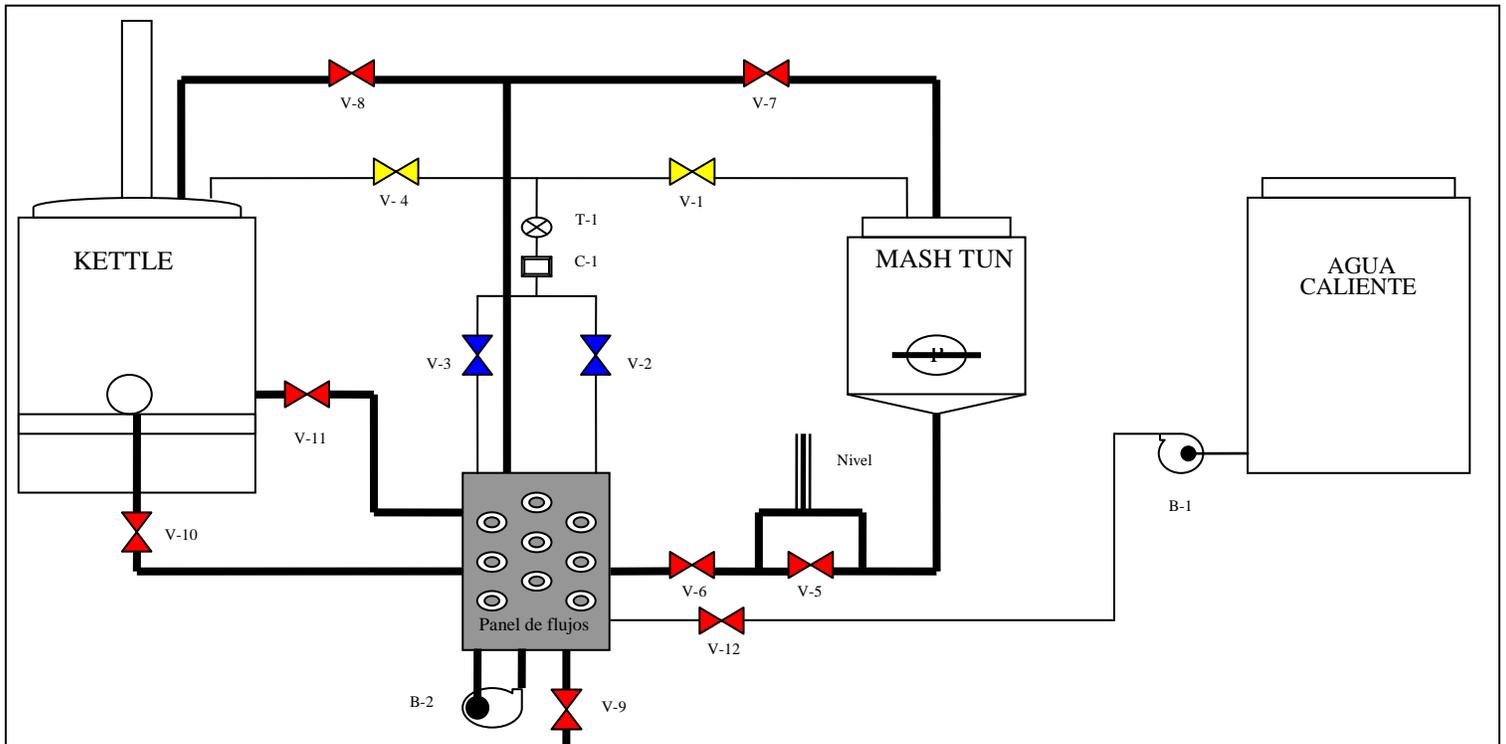
Figura 11. Diagrama de flujo de Proceso de Fabricación de Cerveza. Fuente: el autor

Se controló la disminución del extracto fermentable después de generar un extracto original de 7° platos como lo muestra el gráfico 1, produciéndose un mosto liviano con ayuda de la maceración efectuada a una temperatura de 75°C durante 80 minutos para evitar la producción de azúcares fermentables por parte de la beta amilasa. En esta etapa se realizó el test de Yodo que permitió observar una solución azulina que garantizaba la persistencia de almidón; es decir, la transformación a azúcares fermentables no se concluyó.



**Gráfico 1.** Extracto Fermentable. Fuente: el autor.

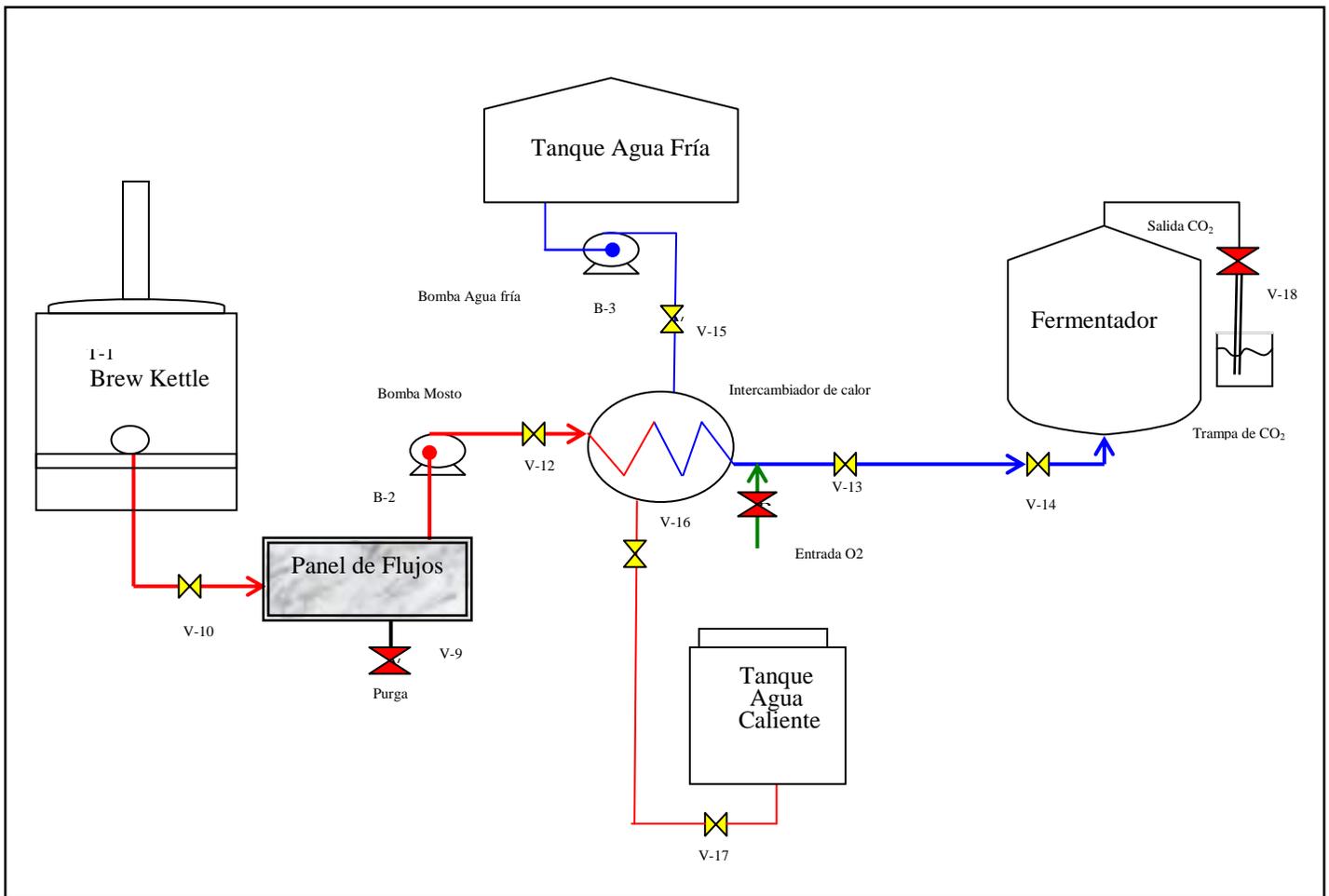
Al transferir la mezcla líquida proveniente del *Mash Tun* al *Brew Kettle*, el mosto se hirvió durante 1 hora y 30 minutos con una intensidad de cocción del 5%-8% de evaporación por hora sobre el volumen total de mosto en la caldera. Durante este proceso se realizó el lupulado en dos etapas: el 66 % de la cantidad total de lúpulo 5 minutos después de comenzar a hervir (lúpulo de amargor target), y el 34% (lúpulo aromático cascade) a 1 hora y 25 minutos después. Con esto se consiguió un producto final con sensaciones más complejas, evitando así la eliminación total de los aromas procedentes del lúpulo.



**Figura 12.** Representación de tuberías y válvulas Brewhouse. Fuente: el autor

Una vez acondicionada (enfriada) la temperatura del mosto hasta  $20,3^{\circ}\text{C}$ , con ayuda de un intercambiador de calor -como lo muestra la figura 13 -se evitó su contaminación microbiológica, permitiendo la transferencia del mosto del *Kettle* al fermentador número 18. Al inocular con 10 litros de levadura de primera generación, se interrumpió la fermentación tres días después de iniciada la operación, con el fin de garantizar que la poca actividad de beta amilasa que produjo un remanente de azúcares fermentables, no produjera un alto contenido de alcohol.

Al utilizar una levadura especial que no produce alcohol como es el caso de *Saccaromyces Ludwigii*, la cual no fermenta maltosa, solo se convirtieron el 15% de los azúcares en alcohol en el proceso de fermentación.



**Figura 13.** Panel de flujos (vista frontal). Fuente: el autor

Fue imprescindible que la fermentación fuese rápida y a la temperatura adecuada, esto ayudó a impedir la producción de aromas y sabores no deseados. Una vez el fermentador completamente lleno con el mosto a la temperatura adecuada, se controló durante los tres días de la operación, la variación de los grados platos y la temperatura fue óptima como lo muestra la tabla 17.

Antes de finalizar la fermentación, se ajustó una válvula de escape de presión que permitió dejar escapar el CO<sub>2</sub> restante. De esta forma, cuando la fermentación terminó fue necesario eliminar la levadura para evitar su autólisis por la válvula inferior del fermentador cilíndrico.

**Tabla 17.** Variables de proceso.

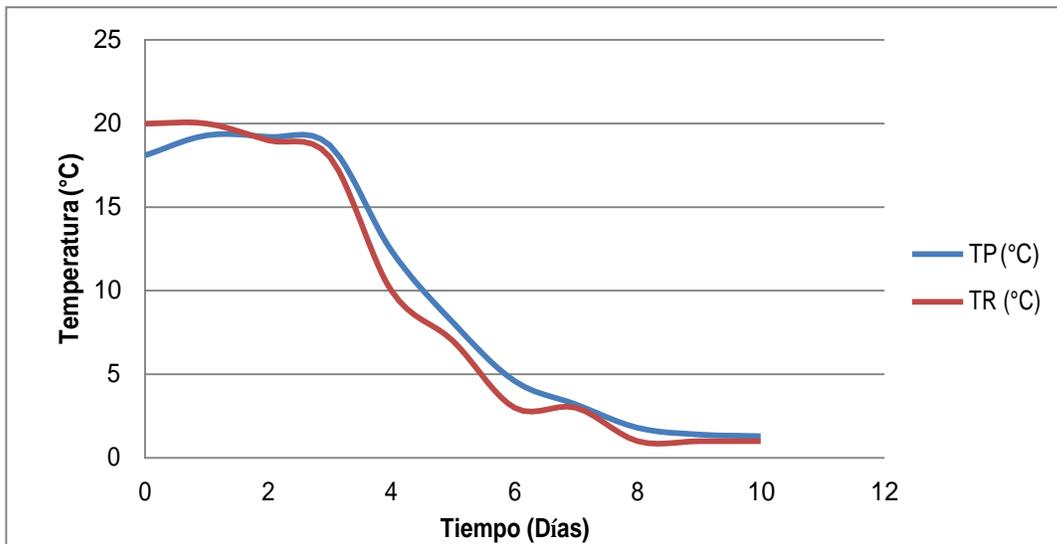
<b>Fermentador ( FV)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Estilo y Lote</b>	<b>Generación de Levadura</b>
18	Aleatoria	Diaria	Sin Alcohol 300	Primera

	<b>Día</b>	<b>TP (°C)</b>	<b>TR (°C)</b>	<b>°Plato</b>	<b>° Brix</b>
<b>Fermentación</b>	<b>0</b>	18,1	20,0	7,0	6,9
	<b>1</b>	19,3	20,0	6,5	4,2
	<b>2</b>	19,2	19,0	5,0	3,7
	<b>3</b>	18,7	18,0	4,5	3,1
<b>Maduración</b>	<b>4</b>	12,4	10,0	-	-
	<b>5</b>	8,1	7,0	-	-
	<b>6</b>	4,6	3,0	-	-
	<b>7</b>	3,2	3,0	-	-
	<b>8</b>	1,8	1,0	-	-
	<b>9</b>	1,4	1,0	-	-
	<b>10</b>	1,3	1,0	-	-

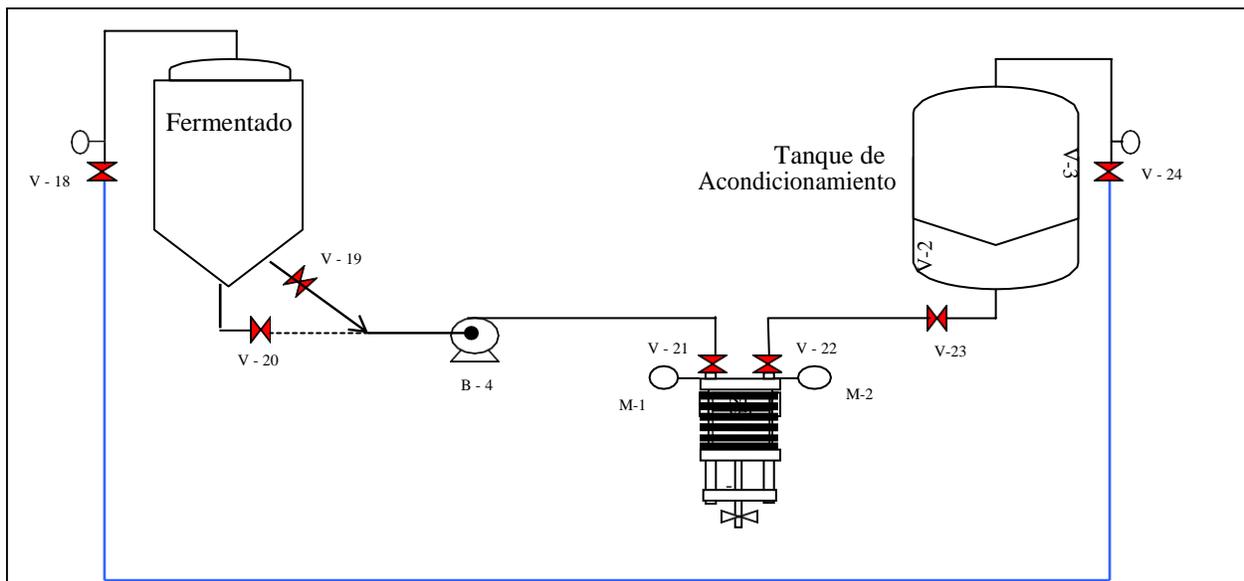
Elaborada por autor

La temperatura de maduración se mantuvo entre 1 y 3 °C en los últimos cuatro días, efectuándose una buena disminución de temperatura de fermentación a maduración como lo muestra el gráfico 1. Esta temperatura además de decantar la levadura, permitió a la cerveza adquirir el cuerpo deseado. Durante los siete días que duró la operación se realizaron pruebas organolépticas con el fin de verificar que la cerveza cumpliera con las especificaciones de aroma, bouquet, color, y cuerpo deseado para ser filtrada.



**Gráfico 2.** Control de temperaturas Fermentación - Maduración. Fuente: el autor.

Concluida la etapa de maduración se obtuvo una cerveza en su punto de sabor y aroma, pero aún opaca y turbia por la presencia de la levadura en el líquido. Al pasar la cerveza a través de un filtro prensa de placas de celulosa como lo muestra la figura 14, se permitió la remoción de las células de levadura; y por lo tanto, la obtención de una cerveza clarificada, brillante y traslucida que se recolectó en el tanque de almacenamiento para luego ser embotellada.



**Figura 14.** Esquema de montaje de línea de filtrado de cerveza. Fuente: el autor

### 4.3 FASE III: Determinación y evaluación de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la cerveza producida

El análisis sensorial de la cerveza producida permitió examinar sus atributos mediante los sentidos (vista, olfato y gusto), obteniendo datos cuantificables y objetivos.

**Tabla 18.** Datos Sensoriales Obtenidos

Tipo de Cerveza	Evaluador	Amargo	Apariencia	Aroma	Sabor
C1	E1	4	4,7	4,5	4,2
C1	E2	3,5	4,5	4,3	4,5
C1	E3	2,5	3,9	4	4,1
C1	E4	4	4,5	4,1	5
C1	E5	2	3,8	3,5	3
C2	E1	3,5	4,3	4,3	4
C2	E2	3	4,1	4	4,2
C2	E3	4,5	3,7	3,7	2,5
C2	E4	5	4,4	3,6	5
C2	E5	2	3,5	3,3	3
C3	E1	4,8	4,1	4,1	3,8
C3	E2	3	3,8	3,8	4
C3	E3	2,5	3,5	3,6	3
C3	E4	3,9	4,2	3,5	5
C3	E5	3	3,3	3	2,5

Elaborada por el autor

Para el análisis estadístico de los resultados sensoriales obtenidos y presentados en la tabla 18, se plantea una hipótesis nula con el supuesto de que no existe diferencia entre las tres muestras en cuestión. De acuerdo con los análisis de varianza realizados a los cuatro factores por el programa R Project, se encontró que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en las características de las cervezas. Las variables apariencia y aroma arrojaron los valores más bajos

y con posibilidades de significancia distintas entre las cervezas elaboradas como lo muestran las tablas 19, 20, 21 y 22.

**Tabla 19.** Análisis de varianza para el amargo

	Factor Amargo				
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tipo de Cerveza (TC)	2	0,405	0,2027	0,197	0,824
Residuals	12	12,332	1,0277		
		Sin Alcohol (C1)	Light (C2)		Rubia (C3)
Mean	3,2		3,6		3,44
Sd	0,9082951		1,1937336		0,9126883

Elaborada por el autor

**Tabla 20.** Análisis de varianza para la apariencia.

	Factor Apariencia				
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tipo de Cerveza (TC)	2	0,628	0,314	2,052	0,171
Residuals	12	1,836	0,153		
		Sin Alcohol (C1)	Light (C2)		Rubia (C3)
Mean	4,28		4		3,78
Sd	0,1024922		0,3872983		0,3834058

Elaborada por autor

**Tabla 21.** Análisis de varianza para el aroma.

	Factor Aroma				
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tipo de Cerveza (TC)	2	0,588	0,294	1,943	0,186
Residuals	12	1,816	0,1513		
		Sin Alcohol (C1)	Light (C2)		Rubia (C3)
Mean	4,08		3,78		3,6
Sd	0,3768289		0,3834058		0,4062019

Elaborada por el autor

**Tabla 22.** Análisis de varianza para el color.

	Factor Color				
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tipo de Cerveza (TC)	2	0,676	0,338	2,234	0,214
Residuals	12	2,088	0,174		
		Sin Alcohol (C1)	Light (C2)		Rubia (C3)
Mean	4,2		3,98		3,75
Sd	0,35798745		0,3642355		0,3858918

Elaborada por el autor.

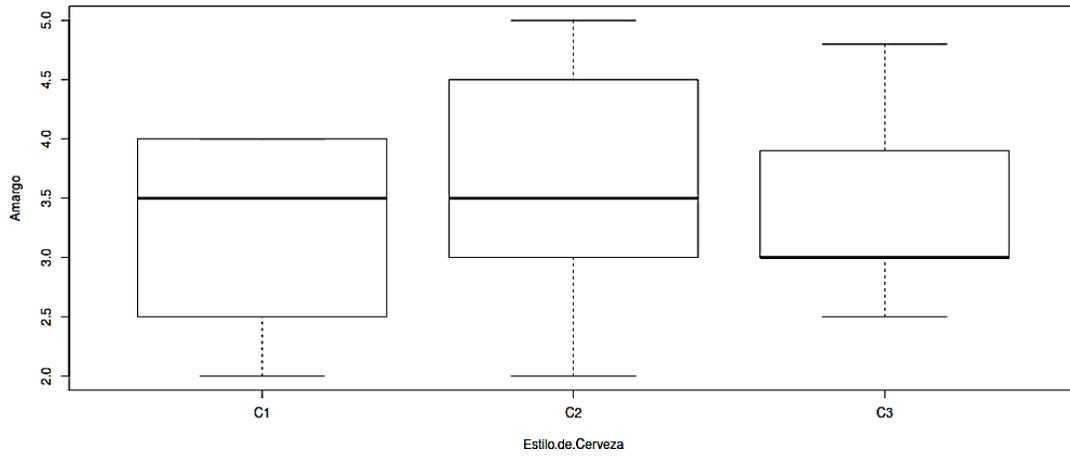
El análisis de varianza indicó que había mayor diferencia en la variable apariencia en comparación del amargo, aroma y color. Para determinar la diferencia de los tipos de cerveza, se utilizó una prueba simultánea para hipótesis lineales generales de múltiples comparaciones de medias. El método Tukey permitió crear y comparar intervalos de confianza entre todos los pares de medias como se muestra en la tabla 23.

**Tabla 23.** Prueba Tukey para la apariencia.

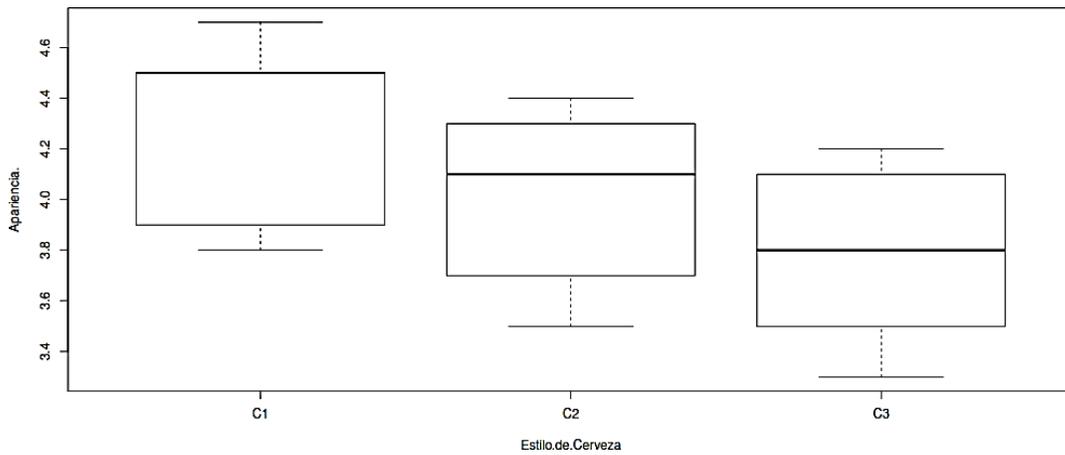
	Estimate Std	Error	t Value	(> t )
C2 - C1	-0,28	0,2474	-1,132	0,514
C3 - C1	-0,5	0,2474	-2,021	0,15
C3 - C2	-0,22	0,2474	-0,889	0,657
Quantil 2,6685	Nivel de Confianza Familiar 95%			

Elaborada por el autor.

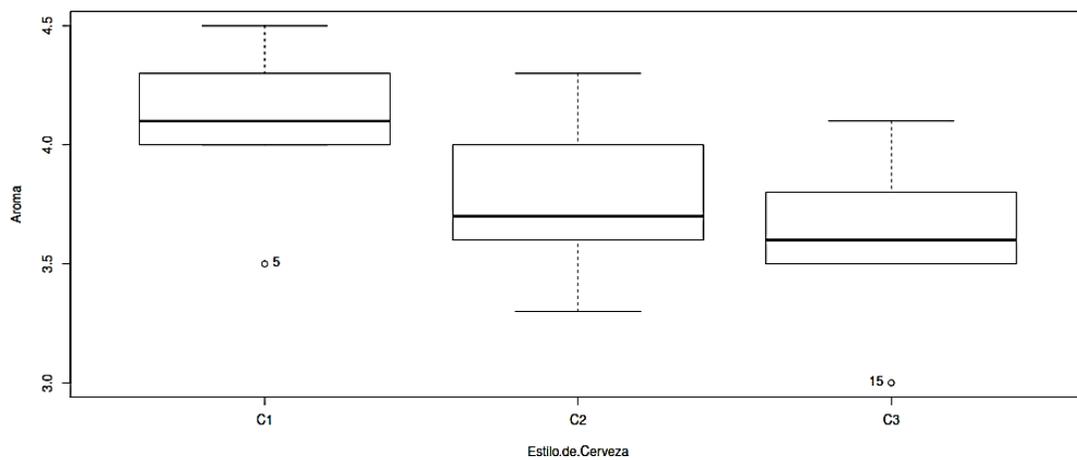
El nivel de confianza familiar en la prueba Tukey fue del 95%, lo que permite comprobar con valores de  $t > 0,05$  la diferencia poco significativa de las comparaciones de las variables estudiadas. Igualmente, al evaluar el comportamiento de las variables sensoriales para el análisis de la cerveza baja en alcohol producida, se elaboran unas representaciones visuales con diagramas de caja, que muestran las distribuciones estadísticas de los conjuntos de datos que corresponden a los tipos de cerveza.



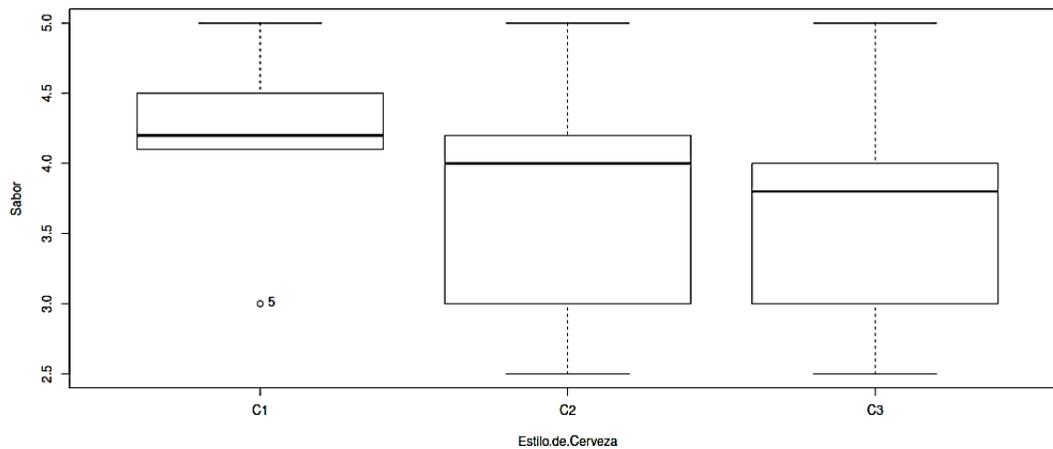
**Gráfico 3.** Diagrama de caja y bigotes para el amargo. Fuente: el autor.



**Gráfico 4.** Diagrama de caja y bigotes para el apariencia. Fuente: el autor



**Gráfico 5.** Diagrama de caja y bigotes para el aroma. Fuente: el autor



**Gráfico 6.** Diagrama de caja y bigotes para el color. Fuente: el autor.

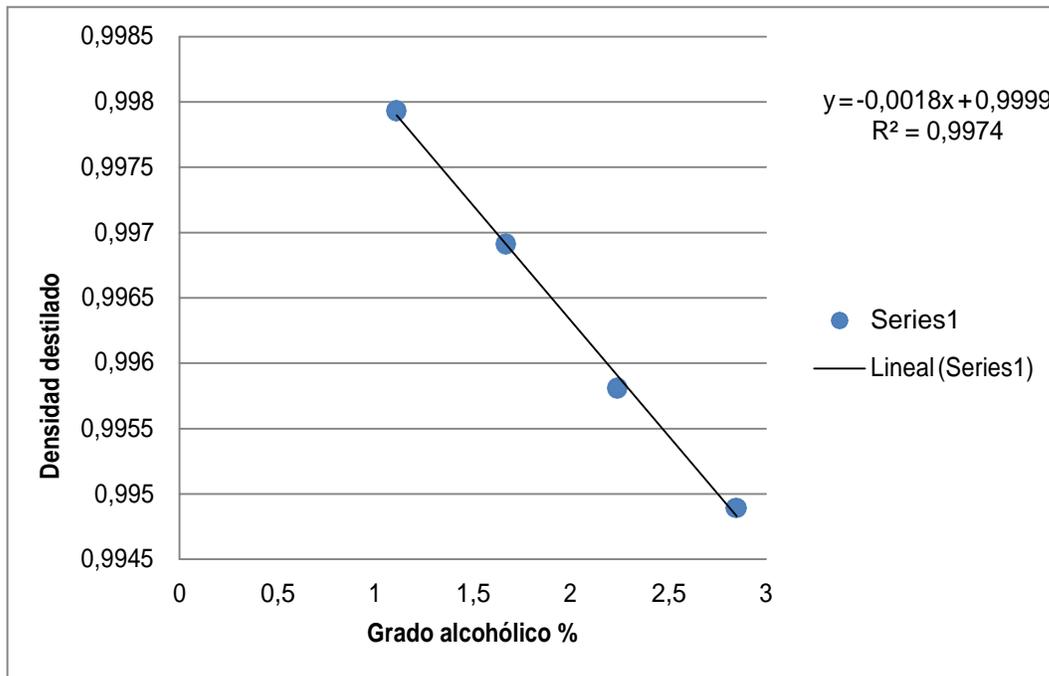
En los gráficos anteriores se puede observar claramente que no existe diferencia significativa entre la cerveza baja en alcohol y los otros dos tipos de cerveza (light, y rubia). Por otra parte, el nivel de pálido de la cerveza baja en alcohol producida indicó el bajo grado de tueste de los granos utilizados: cuanto menos tostada la malta, más claro será el color final de la cerveza.

La intensidad del tono dorado coincidió con el estilo de la cerveza tipo ale elaborada. Se obtuvo una cerveza brillante como lo muestra la figura 1, esto se logró con un buen control del proceso de filtración. Por medio de olfato fue posible identificar la personalidad de la cerveza. Las sensaciones recibidas fueron propias al aroma penetrante de la malta (suave dulzor, con reminiscencias a grano y a pan), la fragancia del lúpulo (aroma herbal) y un ligero olor del alcohol. En este análisis sensorial no se percibió olor a levadura autodializada, diacetilo ni olor a cerveza oxidada.

La cerveza presentó un retrogusto amargo que mejoró con los azúcares presentes, la degradación de las dextrinas por la alfa amilasa de la saliva produjo el azúcar suficiente para equilibrar el amargo sin llevar a percibir un sabor dulce. Los azúcares residuales le aportaron cuerpo, obteniendo una cerveza perfectamente balanceada que produjo una sinergia agradable entre las sensaciones percibidas por el aroma y el gusto en su paso por la boca, sin predominio de ninguno de los dos.

Estas sensaciones se vieron matizadas por una gama de sabores característicos. Aquí resaltan la delicadeza del malteado y la lupulización de una Golden, el relativo dulzor de una Ale. Finalmente, debemos explicar que por definición, la destilación es la separación de un líquido volátil de una sustancia no volátil, o la separación de líquidos con distintos puntos de ebullición.

En este proyecto, la Cerveza artesanal baja en alcohol producida, en teoría tenía reportado por el laboratorio externo EMICAL un porcentaje de alcohol del 1,05 %, al realizar la destilación para verificar la veracidad de dicho contenido, se separaron los componentes de la cerveza aprovechando la diferencia de puntos de ebullición entre el agua y el alcohol. Los resultados muestran una concordancia entre el porcentaje teórico reportado por el laboratorio externo (1,05%), y el porcentaje obtenido experimentalmente por destilación y picnometría (1,11%)



**Gráfico 7.** Densidad Vs Grado Alcohólico. Fuente: el autor.

**Tabla 24.** Densidad y Grado Alcohólico de la Cerveza

Muestra	Densidad destilado ( $X \pm sn$ )	Grado alcohólico %
Batch	0,99793	1,11
Cornelius 1	0,99489	2,85
Cornelius 2	0,99581	2,24
Cornelius 3	0,99691	1,67

Elaborado por el autor.

En la tabla 24 se muestran las densidades del destilado y grado alcohólico obtenido en los ensayos preliminares realizados en Cornelius y en el batch producido en planta. El grado de alcohol y la densidad de las soluciones se usaron para dibujar el gráfico 7, que representa la curva de calibración del análisis. La ecuación que se muestra en el gráfico es la que se obtiene de la línea de regresión.

El contenido de CO<sub>2</sub> disuelto en la cerveza resultó un criterio de calidad importante, puesto que afectó directamente el sabor de ésta. Para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto, bastó la utilización del equipo de agitación manual y observar la presión indicada por el manómetro. Posteriormente, a partir de la temperatura a la que se encontraba la cerveza, se obtuvieron para las cinco muestras analizadas los valores deseados para el estilo de cerveza alborada entre 1,0 y 1,5. Con ayuda de la tabla adjunta en el anexo 7 se pudo cuantificar el CO<sub>2</sub> contenido en la botella después del proceso de embotellado como lo muestra la tabla 25.

**Tabla 25.** Volumen de carbonatación de la Cerveza

Muestra	Temperatura (°C)	Presión (Bar)	Volumen de CO <sub>2</sub>
Batch			
1	4	2,9	1,11
2	6	2,9	1,26
3	6	2,8	1,18
4	8	2,7	1,24
5	6	2,9	1,26

Elaborada por el autor

En cuanto a la acidez total, expresada en porcentaje de ácido láctico, los valores obtenidos estuvieron por debajo del 0,31%, También se obtuvieron, como es lógico tras lo anterior, valores congruentes de pH entre 4,0 y 4,5. Así se obtuvo una cerveza con pH y acidez adecuada, teniendo en cuenta el estilo Golden ale elaborada, que garantizan la estabilidad de la misma y posibilitan su conservación durante un periodo de tiempo más largo.

**Tabla 26.** Acidez y pH de la Cerveza.

Muestra	Acidez total (% ácido láctico)	pH
Batch	0,31	4,12
Cornelius 1	0,24	4,22
Cornelius 2	0,23	4,2
Cornelius 3	0,27	4,18

Elaborada por el autor.

## CONCLUSIONES

La elaboración de la cerveza artesanal producida se realizó con base en la ingeniería del área, y requirió un estudio detallado de antecedentes, una buena selección de condiciones de producción, y la aplicación de conocimientos para el desarrollo experimental de un producto de fácil comercialización.

Fue posible elaborar y evaluar fisicoquímica y organolépticamente la cerveza artesanal baja en alcohol producida, con unas características similares a las de la cerveza tradicional (aspecto, olor, sabor amargo). Se encontró que la cerveza artesanal con 1,11 % v/v de alcohol obtenida se adapta a las condiciones requeridas por la Cervecería Colón ya que no se necesita la implementación de nuevos equipos y tecnologías de alto costo.

Los métodos adecuados de producción y la calidad de las materias primas posibilitan que la cerveza elaborada mantenga sus características sensoriales, y sea un producto de gran aceptación por parte de los consumidores.

También hay que resaltar que la composición química del agua es fundamental para que se desarrollen correctamente todos los procesos de producción del mosto y para controlar la fermentación llevada a cabo por la levadura. La calidad de agua potable con la que se trabajó en la Planta de la Cervecería Colón es la adecuada, ya que al analizar sus propiedades fisicoquímicas, se encontró que el agua de Bogotá cumple con los parámetros recomendados en la literatura para la obtención de una cerveza de calidad.

## RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros en la elaboración de cerveza artesanal baja en alcohol, se recomienda comprobar que el proceso de fermentación realizado se haya desarrollado correctamente, simulando en Matlab los resultados obtenidos con la utilización de modelos matemáticos de la bibliografía. Además, estas simulaciones podrían servir para la optimización del escalado del proceso.

A pesar de su reciente introducción en el mercado, la cerveza con bajo contenido de alcohol se presenta como una bebida con una clara proyección a futuro. Por ello, se propone conocer y estudiar con más detalle las propiedades nutricionales y bromatológicas de esta bebida, así como su relación con la salud.

Se recomienda determinar el color y amargo de la cerveza utilizando el método espectrofotométrico donde se mida la absorbancia de la cerveza a una longitud de onda específica, previamente desgasificada para realizar así el cálculo de la determinación de color en unidades °EBC y el amargor en unidades °BU.

**BIBLIOGRAFÍA**

- A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production.* (2012). *Journal of Food Engineering*, 108(4), 493–506. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.09.020>
- Alternatives to malt in brewing.* (2017). *Trends in Food Science & Technology*, 65, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2017.05.001>
- Ashurst, P. R. (2016). *Carbonated Beverages. In Reference Module in Food Science.* Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03240-6>
- Craft vs. industrial: Habits, attitudes and motivations towards beer consumption in Mexico.* (2016). *Appetite*, 96, 358–367. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2015.10.002>
- De la Espriella Guerrero, R. A., Rodriguez, V., Rincón, C. J., Morales, D. C., Rodríguez, S. J. P., & Gómez-Restrepo, C. (2016). *Consumo de alcohol en la población colombiana. Encuesta Nacional de Salud Mental 2015. Revista Colombiana de Psiquiatría*, 45, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.rcp.2016.05.002>
- Domestication and Divergence of Saccharomyces cerevisiae Beer Yeasts.* (2016). *Cell*, 166(6), 1397–1410.e16. <https://doi.org/10.1016/J.CELL.2016.08.020>
- Dussap, C.-G., & Poughon, L. (2017). *Microbiology of Alcoholic Fermentation.* In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 263–279). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63666-9.00010-8>
- Exploring the use of Saccharomyces cerevisiae commercial strain and Saccharomycodes ludwigii natural isolate for grape marc fermentation to improve sensory properties of spirits.* (2014). *Food Microbiology*, 41, 33–41. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2014.01.006>
- Formation of polymeric pigments in red wines through sequential fermentation of flavanol-*

*enriched musts with non-Saccharomyces yeasts.* (2018). *Food Chemistry*, 239, 975–983.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.037>

Fox, G. (2018). *Starch in Brewing Applications*. In *Starch in Food* (pp. 633–659). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00016-0>

Garduño-García, A., López-Cruz, I. L., Ruíz-García, A., & Martínez-Romero, S. (2014).

*Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal*. *Ingeniería, Investigación Y*

*Tecnología*, 15(2), 221–232. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)72212-7](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)72212-7)

Hornsey, I. S. (2016). *Beer: History and Types*. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 345–

354). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00057-X>

Keim, N. L., Stanhope, K. L., & Havel, P. J. (2016). *Fructose and High-Fructose Corn Syrup*. In

*Encyclopedia of Food and Health* (pp. 119–124). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/B978-0-](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00333-0)

[12-384947-2.00333-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00333-0)

Leiper, K. A., & Miedl, M. (2009). *Colloidal stability of beer*. In *Beer* (pp. 111–161). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-669201-3.00004-X>

MacLeod, L., & Evans, E. (2016). *Barley: Malting*. In *Encyclopedia of Food Grains* (pp. 423–

433). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00153-4>

*Removal of bacteria and yeast in water and beer by nylon nanofibrous membranes.* (2015).

*Journal of Food Engineering*, 157, 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.02.005>

*Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal.* (2014). *Ingeniería, Investigación*

*Y Tecnología*, 15(2), 221–232. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)72212-7](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)72212-7)

*Production and characterization of alcohol-free beer by membrane process.* (2015). *Food and*

*Bioproducts Processing*, 94, 158–168. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2015.03.003>