

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Bioquímica y Farmacia

**Optimización del proceso de elaboración de Cerveza Artesanal mediante
herramientas de Diseño Experimental**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Bioquímico
Farmacéutico

Autores:

Katherine Abigail Aguirre Tenesaca

Henry Mateo Illescas Yunga

Director:

María Elena Cazar Ramírez

ORCID:  0000-0001-5228-3514

Cuenca, Ecuador

2024-10-15

Resumen

La cerveza es una bebida alcohólica que puede ser elaborada tanto de manera artesanal como industrialmente; ambos procesos se caracterizan por una alta complejidad y diversidad en su composición final, atribuida a las materias primas y al procedimiento de elaboración. Actualmente, existen varios tipos y estilos de cerveza. El mercado de la cerveza artesanal ha crecido exponencialmente, destacando aquellas que innovan en su preparación para establecer una marca sólida que atrae clientes y satisface al consumidor. En este estudio se busca optimizar el proceso de elaboración de cerveza artesanal estilo Blonde Ale mediante un diseño experimental. A través de una revisión bibliográfica, se identificaron las variables que influyen significativamente en el proceso de fermentación y en las características finales de la cerveza. Se realizó un diseño factorial 2^3 combinando las variables: temperatura, volumen de inóculo y tiempo de fermentación, en donde la variable de respuesta fue el cuerpo de la cerveza, evaluado mediante espectrofotometría. Los resultados muestran que con temperaturas altas (24 °C) hay una reducción significativa en el cuerpo de la cerveza, sugiriendo que aumentar la temperatura dentro del rango estudiado puede mejorar el proceso. El volumen de inóculo por sí solo no influye en el cuerpo de la cerveza, pero sus interacciones con otros factores son importantes para la optimización. Además, aumentar el tiempo de fermentación de 7 a 10 días resultó en una mejora significativa, destacando la necesidad de considerar tanto el tiempo de fermentación como la temperatura como parámetros críticos para optimizar eficazmente el proceso de fermentación.

Palabras clave del autor: fermentación, cuerpo de la cerveza, blonde ale, diseño factorial



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Beer is an alcoholic beverage that can be produced both artisanally and industrially. Both methods are characterized by the high complexity and diversity of the final composition, attributed to the raw materials and brewing processes used. Various types and styles of beer exist today, with the craft beer market growing exponentially. Brands that innovate in their preparation establish a solid presence, attracting and satisfying consumers. This study aims to optimize the brewing process of Blonde Ale craft beer through experimental design.

A bibliographic revision identified the key variables influencing the fermentation process and the final characteristics of the beer. A 2^3 factorial design was conducted, combining the variables of temperature, inoculum volume, and fermentation time. The response variable was the beer's body, evaluated using spectrophotometry. Results indicated that higher temperatures (24 °C) significantly reduced the beer's body, suggesting that increasing the temperature within the studied range can enhance the process. The inoculum volume alone did not significantly affect the beer's body; however, its interactions with other factors were crucial for optimization. Additionally, extending the fermentation time from 7 to 10 days resulted in a significant improvement, underscoring the importance of considering both fermentation time and temperature as critical parameters for effectively optimizing the fermentation process.

Author Keywords: fermentation, beer body, blonde ale, factorial design



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract	3
Introducción.....	11
Objetivos	13
General.....	13
Específicos	13
Marco Teórico	14
1. Cerveza Artesanal.....	14
1.1 Definición	14
1.2 Tipos de Cervezas	14
1.3.1 Fermentación Baja	15
1.3.2 Fermentación Alta	15
1.3.3 Fermentación Espontánea	15
1.3.4 Fermentación Mixta	15
1.4 Materias Primas para la Elaboración de Cerveza Artesanal	15
1.4.1 Cebada	16
1.4.2 Agua	17
1.4.3 Lúpulo	17
1.4.4. Levadura cervecera.....	18
1.5 Proceso de Fabricación de la Cerveza Artesanal	19
1.6 Fases del proceso de elaboración de la cerveza artesanal.....	19
1.6.1 Molienda y Maceración	19
1.6.2 Lavado del Grano	20
1.6.3 Cocción.....	20
1.6.7 Fermentación.....	20
1.6.8 Maduración y Acondicionamiento	21
1.7 Características de la cerveza tipo Blonde Ale.....	21
1.7.1 Sabor	22
1.7.2 Aroma	22
1.7.3 Aspecto.....	22
1.7.4 Sensación en la boca	22
1.8 Parámetros de calidad en la producción de Cerveza Artesanal.....	23
1.8.1 Densidad.....	23
1.8.2 Cuerpo de la Cerveza	23

1.8.3 Color de la Cerveza.....	24
Metodología	26
2.1 Tipo de Investigación	26
2.2 Lugar de Estudio	26
2.3 Determinación de las Variables Independientes y Variables Respuesta	26
2.4 Diseño Experimental para Optimización de Parámetros de Fermentación	26
2.5 Proceso Experimental	27
2.5.1 Preparación de la Muestra	27
• Fermentación	28
• Aclaramiento	28
• Evaluación del cuerpo de la cerveza	28
2.6 Análisis estadístico.....	29
2.7 Control de calidad de los parámetros de estudio	29
Resultados y Discusión	33
3.1 Control del proceso de fermentación.....	33
3.2 Determinación del cuerpo de la cerveza	34
3.3 Análisis de los efectos individuales	36
3.4 Análisis de los efectos de las interacciones	37
3.5 Análisis de Varianza (ANOVA)	37
Conclusiones y Recomendaciones	40
4.1 Conclusiones.....	40
4.2 Recomendaciones	40
Referencias	41
Anexos	44

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de clasificación de la cerveza. Fuente: (Valverde Álvarez, 2020)	14
Figura 2: Cebada Cervecera. Fuente: (Melendez, 2021)	16
Figura 3: Humulus Lupulus. Fuente: (Sanz Municio, 2017).....	18
Figura 4: Levaduras del género Saccharomyces. Fuente: (Ferreyra, 2014).....	19
Figura 5: Flujograma de Proceso de elaboración de cerveza artesanal. Fuente: (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010).....	19
Figura 6: Cervezas estilo Ale (derecha) y Lager (izquierda). Fuente: (Maltosaa, 2017).....	21
Figura 7: Escala de color según SRM. Fuente: (Suarez Días, 2013).....	25
Figura 8: Promedio de la variación de la densidad con respecto a los días de fermentación. Fuente: Elaboración propia	33
Figura 9: Gráfica de efectos individuales. Fuente: Elaboración propia	36
Figura 10: Gráfico del efecto interacciones entre variables. Fuente: Elaboración propia....	37
Figura 11: Diagrama de Pareto. Fuente: Elaboración propia	38

Índice de tablas

Tabla 1: Parámetros característicos de los estilos de la cerveza estilo Ale. Fuente: (Hernández Cleves & Muñoz Montaña, 2019)	23
Tabla 2: Absorbancia e Interpretación del resultado. Fuente: (Heinz, Schildbach, Harms, & Pankoke, 2009)	24
Tabla 3: Variables del Diseño Experimental. Fuente: Elaboración Propia	26
Tabla 4: Combinación de variables. Fuente: Elaboración Propia	27
Tabla 5: Lecturas de densidad. Fuente: Elaboración Propia	29
Tabla 6: Lecturas de densidad. Fuente: Elaboración Propia	29
Tabla 7: Lecturas de densidad. Fuente: Elaboración Propia	30
Tabla 8: Lecturas de densidad. Fuente: Elaboración Propia	30
Tabla 9: Lecturas de densidad. Fuente: Elaboración Propia	31
Tabla 10: Lecturas de densidad. Fuente: Elaboración Propia	32
Tabla 11: Lecturas de densidad. Fuente: Elaboración Propia	32
Tabla 12: Absorbancias de los experimentos establecidos en el diseño factorial. Fuente: Elaboración Propia.....	34
Tabla 13: Cálculo de los contrastes y efectos para cada variable. Fuente: Elaboración propia	36
Tabla 14: Tabla resumen del análisis de varianza. Fuente: Elaboración propia	37

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, Fabián y María, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, sin su amor, paciencia y motivación, no sería posible culminar de manera satisfactoria esta hermosa etapa de mi vida. A mi hermana y abuelito, pilares fundamentales en mi vida, por contagiarme de alegría en todo momento.

A Katherine por compartir conmigo el desarrollo de este trabajo y a los amigos que la carrera me brindó, su apoyo y cariño hicieron que este proceso esté lleno de recuerdo inolvidables.

Mateo Illescas

Dedicatoria

El presente trabajo de Titulación está dedicado a mis padres, Hugo y María del Pilar, que me brindaron su apoyo durante este proceso. Ellos con cariño, paciencia, palabras de aliento y sacrificio extraordinario, me brindaron el apoyo necesario y me impulsaron a lo largo de mi trayectoria académica. A mi hermana y mi prima que con su carisma y entusiasmo alegraban aquellos momentos en los que me sentía perdida, a aquellas personas que tras bambalinas y gracias a las cuales este proyecto logro concretarse sin contratiempos.

A Mateo Illescas, por compartir este largo caminar conmigo y junto a quien supere este desafío a pesar de todas las dificultades.

Katherine Aguirre

Agradecimientos

Agradecemos a nuestras familias por todo el apoyo brindado y el continuo sacrificio realizado, por creer en nuestras capacidades y habilidades, a la Dra. María Elena Cazar por guiarnos en estos meses de arduo trabajo y brindarnos su conocimiento para concretar este proyecto y de esa manera tener una presentación impecable y un correcto desarrollo del mismo. Así mismo, expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Mgtr. Juan Pablo Illescas que nos brindó la oportunidad y facilidades de realizar nuestro Proyecto de Titulación en su empresa “SPIEGA” y cumplir los objetivos y metas planteadas de manera satisfactoria.

Agradecemos a la Universidad de Cuenca nuestra Alma Mater y a todos los docentes quienes a lo largo de estos años nos han empapado de conocimientos que nos permitirán defendernos en este mundo cambiante y lleno de desafíos, pero lo que destaca de esos conocimientos impartidos son los principios y valores que incorporamos en nuestro diario vivir.

Mateo y Katherine

Introducción

La cerveza artesanal ha experimentado un crecimiento significativo en popularidad durante la última década, impulsada por el deseo de los consumidores de explorar sabores únicos y de alta calidad. Este fenómeno ha llevado a un aumento en el número de pequeñas cervecerías que buscan diferenciarse a través de la innovación en sus procesos de producción. A diferencia de las grandes cervecerías industriales, las cervecerías artesanales suelen enfocarse en lotes pequeños y en técnicas tradicionales, lo que les permite experimentar con diferentes ingredientes y métodos de fermentación para crear productos distintivos y exclusivos (Brewers Association, 2020).

Dentro del proceso de elaboración, la fermentación es uno de los procesos más críticos en la producción de cerveza artesanal, ya que determina en gran medida el perfil organoléptico del producto final. Este proceso biológico implica la conversión de azúcares fermentables presentes en el mosto en alcohol etílico y dióxido de carbono mediante la acción de levaduras. Durante la fermentación, las levaduras no solo producen alcohol y gas, sino que también generan una variedad de compuestos secundarios, como ésteres y fenoles, que contribuyen a los sabores y aromas característicos de la cerveza (Briggs et al., 2016).

La levadura tipo Blonde Ale es especialmente apreciada en la producción de cervezas artesanales debido a su capacidad para generar sabores suaves, afrutados y ligeramente maltosos, características que son muy valoradas en este estilo de cerveza. Esta levadura pertenece a la especie *Saccharomyces cerevisiae*, es conocida por su versatilidad y por ser una de las más utilizadas en la industria cervecera. La Blonde Ale es un estilo de cerveza que se caracteriza por su color claro, su cuerpo ligero y su balance entre dulzor y amargor, lo que la hace atractiva tanto para cerveceros como para consumidores (Watson, 2019).

El control de las variables de fermentación, como el tiempo, el volumen de inóculo y la temperatura, es esencial para obtener los resultados deseados en la producción de cerveza. El tiempo de fermentación, por ejemplo, puede afectar significativamente el desarrollo de sabores y aromas. Una fermentación más prolongada puede permitir una mayor complejidad en el perfil de sabor, mientras que una fermentación más corta puede resultar en una cerveza más fresca y ligera (Martínez et al., 2018).

El volumen de inóculo de levadura es otra variable crucial. Un mayor volumen de inóculo puede acelerar la fermentación y mejorar la consistencia del producto, pero también puede llevar a una sobreproducción de compuestos indeseados si no se controla adecuadamente (Vieira y Almeida, 2017). Por otro lado, un volumen de inóculo menor puede resultar en una

fermentación más lenta y un riesgo mayor de contaminación por microorganismos no deseados.

La temperatura de fermentación es quizás la variable más influyente. La levadura tipo Blonde Ale, como muchas otras levaduras de cerveza tipo Ale (alta fermentación), tiene una temperatura óptima de fermentación que generalmente oscila entre los 18 y 24 °C. Fermentar a temperaturas más bajas puede ralentizar la actividad de la levadura y producir sabores más limpios, mientras que temperaturas más altas pueden acelerar la fermentación y aumentar la producción de ésteres y fenoles, contribuyendo a un perfil de sabor más complejo y afrutado (Espinosa y García, 2019).

El presente estudio se centra en evaluar cómo estas variables afectan la calidad y las características sensoriales de la cerveza artesanal Blonde Ale. Mediante un diseño experimental factorial, se pretende investigar las interacciones entre el tiempo de fermentación, el volumen de inóculo de levadura y la temperatura de fermentación, y cómo estas interacciones influyen en el perfil organoléptico de la cerveza final.

Objetivos

General

- Determinar el procedimiento óptimo para la fermentación de cerveza artesanal utilizando *Saccharomyces cerevisiae* para lograr el máximo rendimiento.

Específicos

- Evaluar la interacción de las variables de la producción de cerveza artesanal mediante la aplicación de un diseño factorial.
- Comparar los diseños experimentales del procedimiento optimizado mediante el método analítico de espectrofotometría.

Marco Teórico

1. Cerveza Artesanal

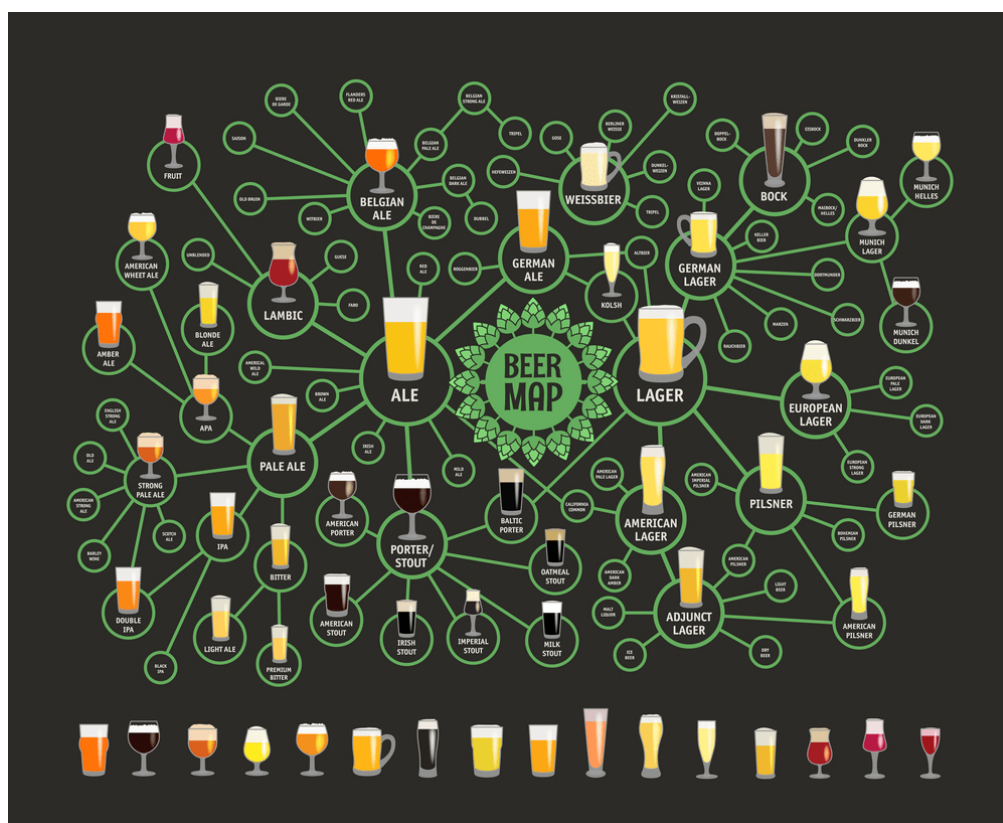
1.1 Definición

La cerveza artesanal es una bebida alcohólica compleja elaborada con cebada y otros elementos que en una secuencia de etapas tales como: malteado, maceración, fermentación y maduración se obtiene un producto natural y que según los componentes usados en su fabricación puede generar distintas variedades de cerveza (Tarantino, 2016; Luján Corro & Vásquez Villalobos, 2010).

1.2 Tipos de Cervezas

Existen varios tipos de cervezas cuyo desarrollo parte de varios métodos de preparación e ingredientes utilizados, por lo que se puede clasificar a las cervezas (**Figura 1**), según el tipo de agua empleada para su fabricación, la forma de fermentación, el color, los ingredientes, la levadura utilizada, etc. La clasificación según el tipo de la fermentación aporta características distintivas a la cerveza (Valverde Álvarez, 2020).

Figura 1: Mapa de clasificación de la cerveza. **Fuente:** (Valverde Álvarez, 2020)



1.3 Clasificación según el tipo de fermentación

Las cervezas se clasifican según la fermentación en los siguientes tipos:

1.3.1 Fermentación Baja

Conocida como fermentación *Lager*, es mayoritariamente conocida alrededor de todo el mundo. Su nombre se atribuye a su característica fermentación que ocurre en la parte inferior del tanque de fermentación, es un proceso más lento, su maduración es un proceso largo y se debe realizar en frío, lo que determina una apariencia más clara.

La levadura usada es *Saccharomyces pastorianus* y brinda a la cerveza un toque más dulce y aunque no es regla, se recomienda consumir a baja temperatura. Se destacan 4 familias: Familia Pilsner, Familia Amber Lager, Familia Dark Lager y Familia Bock “Start”, cada una con sus características diferenciales. La primera familia se caracteriza por su claridad y limpidez, tienen alto contenido de espuma, pero de manera general tienen un bajo grado alcohólico (Valverde Álvarez, 2020).

1.3.2 Fermentación Alta

También conocidas como cervezas *Ale*, tienen un proceso de fermentación similar a las anteriores, pero ocurre en la parte alta del tanque y a temperaturas más elevadas, debido a ese proceso tienen un acabado más turbio a comparación de las *Lager*. La levadura utilizada tiene una resistencia más alta al alcohol por lo que su grado alcohólico es mayor. Las familias destacadas son: Familia Pale Ale, Familia Indian Pale Ale, Familia Amber-Red Brown Ale, Familia Porter Stout, Familia Strong Ale, etc (Valverde Álvarez, 2020).

1.3.3 Fermentación Espontánea

Se caracteriza por realizar la fermentación sin la adición de la levadura ya que, en lugar de cerrar el tanque de fermentación, este permanece abierto y el proceso ocurre debido a hongos o bacterias ambientales. Es decisión del productor si se utiliza la mínima cantidad de lúpulo o evitar el uso, sin la adición de lúpulo el amargor de la cerveza es mínimo (Valverde Álvarez, 2020).

1.3.4 Fermentación Mixta

Es una técnica relativamente nueva cuyo uso se está extendiendo y debido a su preparación se les ha empezado a llamar *Ale salvajes*, no se emplea un único tipo de levadura sino una mezcla de varias especies y se puede añadir frutas o zumos durante la etapa de fermentación (Valverde Álvarez, 2020).

1.4 Materias Primas para la Elaboración de Cerveza Artesanal

La cerveza se fabrica a partir de la fermentación de cereales, los cuales pasan por un procesamiento para que los polisacáridos se conviertan en azúcar y la acción de la levadura lo transforme en alcohol. Se debe tomar en cuenta que en la elaboración de la cerveza

intervienen variadas reacciones tanto enzimáticas como biológicas, que provocan una continua monitorización del proceso y de los variados parámetros que intervienen para lograr obtener una cerveza de excelente calidad (Tarantino, 2016).

1.4.1 Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es el cultivo mayormente difundido en el planeta, es una planta de ciclo corto, de la cual se cultivan mayoritariamente dos especies: la cervecera (*Hordeum distichum*) y la de forraje (*Hordeum hexastichon*). Se trata de una Gramínea, de altura que puede alcanzar los 60 cm, caracterizada por espigas flexibles, cuyas semillas se adhieren al cascabillo terminando en forma de arista (Martínez Díaz, 2022).

La cebada cervecera (**Figura 2**) se puede cosechar en noviembre, diciembre y a inicios de enero, en países de estacionalidad marcada. La cebada tiene una alta estabilidad cuando se ha secado y su conservación es a bajas temperaturas. Para que sea utilizable en la preparación de la cerveza es necesario que la cebada pase por un proceso de germinación y secado de tal manera que las enzimas transforman el almidón en azúcar soluble (Tarantino, 2016).

La cebada cervecera tiene un poder germinativo mayor o igual a 95% lo que permite que las semillas germinen ya que si no sucede no se producirán las enzimas necesarias ni tampoco se transformará la cebada y serán susceptibles a ataques de microorganismos. Debe tener un contenido de proteínas entre el 10% y 12% para evitar afectar la capacidad enzimática ya que los aminoácidos libres no nutren adecuadamente a las levaduras durante la fermentación (Martínez Díaz, 2022).

Existen tres tipos de maltas básicas utilizadas en mayor medida y son las más comunes, de las cuales la Malta Pilsen (Grano Germinado + Secado a temperaturas bajas) es la más utilizada alrededor del mundo para elaborar la cerveza porque en sus características del producto final ofrece un color claro y un suave sabor, por lo tanto, las cervezas que se elaboran a partir de esta materia prima son las conocidas como Rubias o Doradas (Tarantino, 2016).

Figura 2: Cebada Cervecera. **Fuente:** (Melendez, 2021)



1.4.2 Agua

El agua utilizada en la fabricación de cerveza es un factor determinante para el éxito en la producción de cerveza ya que constituye el 95% del contenido de la misma. Para la preparación de esta bebida se debe utilizar aguas blandas cuya característica es su bajo contenido de calcio y magnesio, cuyas sales pueden afectar el pH durante el proceso de elaboración de la cerveza. Durante la fermentación, el pH disminuye, dándose un efecto amortiguador, ya que los iones calcio reaccionan con fosfatos orgánicos e inorgánicos presentes en la malta precipitando como fosfatos de calcio, lo cual contribuye en la acidificación del mosto. No obstante, estos procesos no influyen de manera significativa en el sabor del producto (Tarantino, 2016).

1.4.3 Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta dioica trepadora, de la que se usan las flores femeninas (**Figura 3**) en el proceso de elaboración de cerveza, ya que éstas transfieren el sabor amargo característico de la bebida. Se puede agregar en distinta proporción y según el tiempo de contacto con el mosto durante la ebullición se genera el sabor, aroma y amargor característicos (Valverde Álvarez, 2020).

La lupina presente en los gránulos amarillos de la flor, contribuye con el amargor pues está relacionado con los ácidos amargos capaces de cristalizar, debido a sus procesos de oxidación y polimerización el sabor amargo se pierde durante el proceso. Estos procesos se catalizan por el contacto con el oxígeno, humedad y la temperatura razón por la que se debe conservar a 0 °C y humedad relativa no mayor a 75%. El sabor final de la cerveza viene dado por el tanino del lúpulo que reacciona con proteínas del mosto y con los aceites

brindando el aroma característico (Tarantino, 2016).

Con el avance en la industria actualmente se utilizan pellets que consisten en las hojas molidas y previamente deshidratadas introducidas en cilindros. Además de las características que aporta a la cerveza como aroma o sabor, este es un bactericida natural que al ser usado en la elaboración permite que se prolongue el tiempo de vida de la bebida alcohólica (Tarantino, 2016; Valverde Álvarez, 2020).

Figura 3: *Humulus Lupulus*. **Fuente:** (Sanz Municio, 2017)



1.4.4. Levadura cervecera

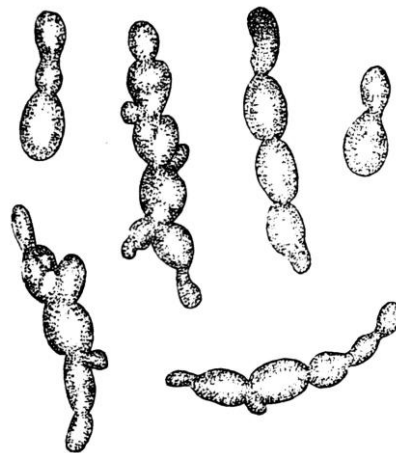
Las levaduras son microorganismos que forman parte del reino *Fungi*, estos se nutren de los carbohidratos que han sido transformados en el proceso de malteado. Existen dos tipos de levaduras utilizados en la elaboración de bebidas alcohólicas, que permiten distinguir entre *Ale* y *Lager*. Sus diferencias se deben principalmente a las temperaturas específicas en las que ocurre la fermentación; Las levaduras tipo *Ale* fermentan a temperaturas que suelen oscilar entre 14 y 25 °C, mientras que las levaduras tipo *Lager* efectúan la fermentación a temperaturas bajas, entre 6 y 10 °C (Tarantino, 2016).

En la elaboración de cerveza artesanal, generalmente se realizan dos fermentaciones. Durante la primera fermentación, se produce una cantidad de alcohol que ronda los 3 °GL, mientras que, en la segunda fermentación dentro de la botella, se produce un aumento en el contenido de alcohol y gas, ya que se añaden azúcares adicionales (Heredia Jara, 2022).

La levadura cervecera presenta un tamaño con diámetro de 2 – 8 µm y longitud de 3 – 15 µm y su forma es ovalada (**Figura 4**). En la fabricación de la cerveza se pueden optar por seleccionar de varias cepas de levaduras y dichas cepas son pertenecientes a dos conocidas especies del género *Saccharomyces*: *Saccharomyces cerevisiae* y

Saccharomyces uvarum (Universidad Nacional de la Plata, 2020).

Figura 4: Levaduras del género *Saccharomyces*. **Fuente:** (Ferreyra, 2014)



1.5 Proceso de Fabricación de la Cerveza Artesanal

En el proceso de elaboración de la cerveza se llevan a cabo seis fases consecutivas (**Figura 5**): molienda, maceración, cocción, fermentación, maduración y acondicionamiento (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010).

Figura 5: Flujograma de Proceso de elaboración de cerveza artesanal. **Fuente:** (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010)



1.6 Fases del proceso de elaboración de la cerveza artesanal

1.6.1 Molienda y Maceración

La molienda implica romper el grano malteado para exponer el interior y asegurar una

adecuada hidratación durante el macerado. No se debe exagerar ya que, si el grano es demasiado fino, el filtrado será difícil y gran parte terminará en el sedimento desechable. Por otro lado, si los granos quedan enteros o demasiado grandes, los almidones no se expondrán correctamente y la extracción de los azúcares será insuficiente (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010).

La maceración es el proceso mediante el cual los granos molidos se mezclan con agua caliente para extraer los almidones y convertirlos en azúcares fermentables a través de enzimas presentes en la malta. Es común realizar una infusión de 1,5 a 2 horas y se puede realizar a temperatura constante durante todo el proceso o temperaturas crecientes, comenzando a 65 °C y aumentando hasta 75 °C. Este parámetro influye directamente en el cuerpo de la cerveza (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010).

1.6.2 Lavado del Grano

El objetivo principal es extraer la mayor cantidad posible de azúcares fermentables del grano después de la maceración sin afectar la calidad del mosto. Un buen lavado del grano optimiza el rendimiento del proceso y contribuye a una mayor eficiencia en la producción de cerveza, aprovechando al máximo la malta utilizada (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010)

1.6.3 Cocción

Es una etapa fundamental en el proceso de elaboración de cerveza artesanal que ocurre después del lavado del grano, en la cual se hierva el mosto obtenido de la maceración y el lavado con varios propósitos clave, como la esterilización del mosto para eliminar microorganismos indeseados y garantizar un entorno libre de contaminaciones antes de la fermentación, la isomerización del lúpulo, que transforma los alfa-ácidos en compuestos solubles que aportan el amargor característico de la cerveza, y la evaporación de compuestos volátiles no deseados, como el dimetilsulfuro (DMS), que puede generar sabores indeseados. Además, durante la cocción, se produce la concentración del mosto mediante la evaporación de agua, lo que incrementa la densidad del mosto y el contenido alcohólico final. Finalmente, la cocción también desnaturaliza las enzimas presentes, deteniendo la conversión de almidones en azúcares y estabilizando el perfil fermentable que definirá el cuerpo y dulzura de la cerveza (Picón Sánchez, 2020).

1.6.7 Fermentación

La fermentación es una de las etapas más importantes en la elaboración de cerveza artesanal, ya que es el proceso en el cual las levaduras convierten los azúcares

fermentables presentes en el mosto en alcohol y dióxido de carbono, lo que define el perfil final de la cerveza, incluyendo su grado alcohólico, sabor, cuerpo y características sensoriales. Las levaduras metabolizan azúcares simples como la glucosa y la maltosa, transformándolos en etanol y CO₂, responsables del contenido alcohólico y la carbonatación natural de la cerveza. Además, las levaduras producen subproductos como ésteres, fenoles y alcoholes superiores que aportan aromas y sabores, como notas frutales, especiadas y florales, siendo estos influenciados por el tipo de levadura y las condiciones de fermentación. A medida que la fermentación avanza, las partículas suspendidas se asientan en el fondo del fermentador, clarificando la cerveza, y el acondicionamiento posterior, que puede incluir una fermentación secundaria o reposo en frío, mejora la claridad y suaviza los sabores (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010; Garduño-García, Martínez-Romero, López-Cruz, & Ruíz- García, 2014).

1.6.8 Maduración y Acondicionamiento

La maduración y el acondicionamiento son las etapas finales en la elaboración de cerveza artesanal, esenciales para desarrollar completamente los sabores, estabilizar la cerveza y prepararla para el envasado. Durante estas fases, las levaduras eliminan compuestos indeseados, lo que afina y equilibra el perfil de sabor. A su vez, se clarifica la cerveza mediante la sedimentación de partículas, se estabiliza el cuerpo y se ajusta la textura final. Además, en algunos casos, se realiza una carbonatación natural durante el acondicionamiento, mejorando la espuma y la sensación en boca del producto final (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010; Picón Sánchez, 2020).

1.7 Características de la cerveza tipo Blonde Ale

La Ale Rubia, también conocida como Blonde Ale, es un tipo de cerveza que se distingue por su accesibilidad, buen equilibrio y claridad (**Figura 6**), ofreciendo un sabor agradable y refrescante sin ser agresivo. Entre sus atributos destacan las notas de fruta, lúpulo o malta (Strong & England, 2015).

Figura 6: Cervezas estilo Ale (derecha) y Lager (izquierda). **Fuente:** (Maltosaa, 2017)



1.7.1 Sabor

Inicialmente, esta cerveza presenta un dulzor suave y rara vez exhibe el carácter ligero del sabor de la malta. Generalmente, no tiene sabor a caramelo, aunque si lo presenta, es un caramelo pálido. Debido a la fermentación que la caracteriza, la formación de ésteres es opcional, pero si están presentes, son bien recibidos. Es importante señalar que el lúpulo puede generar un sabor que varía desde ligero a sabor más concentrado, sin llegar a ser agresivo. En cuanto al amargor, este puede ir de bajo a medio, tendiendo más hacia el compuesto que es la malta o a un equilibrio entre ambos (malta y lúpulo). El final es seco y puede mostrar un perfil dulce- maltoso (Strong & England, 2015).

1.7.2 Aroma

Puede variar desde un aroma suave a moderado de malta dulce, con toques ligeros de caramelo o pan. También pueden notarse aromas cítricos, florales o frutales en algunos casos (Strong & England, 2015).

1.7.3 Aspecto

Presenta un color amarillo suave hasta un dorado profundo, su consistencia debe ser clara o brillante, esta bebida presenta espuma misma que es blanca con una retención regular a buena (Strong & England, 2015).

1.7.4 Sensación en la boca

Puede tener una textura media o ligera, con niveles de carbonatación que pueden ser moderados o elevados, siempre manteniendo un carácter delicado sin llegar a ser abrumador (Strong & England, 2015).

1.8 Parámetros de calidad en la producción de Cerveza Artesanal

1.8.1 Densidad

La medición de la densidad en la cerveza artesanal permitirá determinar el contenido alcohólico y el cuerpo de la cerveza. La densidad del “wort” o mosto, muestra el contenido de azúcares que están presentes en la solución. Para expresar este contenido se miden los Grados Plato, también conocido como gravedad específica. La gravedad específica es la densidad que equivale a 1 g de extracto (compuesto principalmente por azúcares) en 100 g de disolución, medida que se realiza a 17.5 °C. Mientras más densidad tiene el mosto, la cerveza tendrá un mayor contenido de alcohol, debido a la transformación por las levaduras de los azúcares en alcohol y como consecuencia se requiere de una mayor cantidad de lúpulo. Dado que los alfa ácidos contribuyen al amargo de la cerveza en los mostos densos, estos compuestos no se pueden solubilizar por completo y como resultado no aportan con el sabor amargo esperado en la bebida y como medida correctiva se opta por utilizar una mayor cantidad de lúpulo que suple el sabor amargo tal como sería en un mosto de menor densidad, por otro lado el motivo de incrementar la cantidad de lúpulo permite al fabricante lograr un equilibrio entre el sabor dulce y amargo ya que mientras más denso el mosto más azúcares contiene y por tanto mayor sabor dulce, por lo que la adición del lúpulo brinda la característica marga para lograr un equilibrio aceptable en la bebida (Suarez Días, 2013).

A continuación, se muestran algunos de los tipos de cerveza tipo Ale, junto con parámetros característicos obtenidos a partir de la densidad: grado de amargor (IBU's), la densidad original (OG) y la densidad final (FG) (Suarez Días, 2013).

Tabla 1: Parámetros característicos de los estilos de la cerveza estilo Ale. **Fuente:** (Hernández Cleves & Muñoz Montaña, 2019)

Tipo de Cerveza	Grado de Amargor	Densidad Inicial (g/cm ³)	Densidad Final (g/cm ³)
Blonde Ale	15 – 28	1,038 – 1,054	1,008 – 1,013
Brown Ale	20 – 30	1,040 – 1,052	1,008 – 1,013
Ale Belga	8 – 20	1,044 – 1,052	1,008 – 1,012

1.8.2 Cuerpo de la Cerveza

El cuerpo de la cerveza hace referencia a la sensación de la textura y el peso que deja en la boca al consumir una bebida alcohólica. El cuerpo va a estar determinado por parámetros tales como las materias primas usadas o el procesamiento y se puede medir a partir de

métodos analíticos como espectrofotometría, turbidimetría, etc. o en lo que respecta a características organolépticas lo puede realizar un profesional catador especializado y certificado en el campo (Castorena-García, Juárez-Pérez, Cano-Hernández, Santiago-Santiago, & López-Mejía, 2020).

En la **tabla 2** se observa la medida de absorbancia a 405 nm y su significancia en cuanto a cuerpo de la cerveza artesanal tipo Ale, se observa que la absorbancia puede variar entre 0,1 – 1,0 para cervezas como las Blonde Ale que como característica es su claridad y baja turbiedad (Heinz, Schildbach, Harms, & Pankoke, 2009).

Tabla 2: Absorbancia e Interpretación del resultado. **Fuente:** (Heinz, Schildbach, Harms, & Pankoke, 2009)

Absorbancia	Interpretación
Cuerpo Ligero a Medio Absorbancia 0,1 – 0,3	Cerveza típica estilo Blonde Ale, fácil de beber y de carácter refrescante.
Cuerpo Medio Absorbancia 0,3 – 0,6	Es también una cerveza estilo Blonde Ale, pero implica una dificultad mayor, mayor presencia en la boca. Indica presencia moderada de compuestos fenólicos y un cuerpo más robusto, es una cerveza Blonde Ale con un cuerpo más lleno.
Cuerpo Medio a Pesado Absorbancia > 0,6	Es una característica no esperada en una cerveza estilo Blonde Ale. Podría indicar una mayor concentración de compuestos, no es deseado ya que el cuerpo es muy pesado y una turbidez exagerada para el estilo.

1.8.3 Color de la Cerveza

Existen sustancias variadas que son responsables de dar color a las bebidas alcohólicas tales como: melanoidinas, polifenoles oxidados, antocianinas, carotenoides, clorofila, productos de caramelización. La fuente primaria de color son las melanoidinas que se originan en la reacción de pardeamiento no enzimático durante su procesamiento térmico. Su espectro de color va desde el amarillo claro hasta el color ámbar y se puede medir según la escala SRM (Standard Reference Method - EEUU) (**Figura 7**) o EBC (European Brewing Convention), los cuales se asemejan en la medición a misma longitud de onda (430 nm), pero difieren en la

longitud del paso de luz, pues la escala SRM es a 1,27 mm mientras que la escala EBC es a 1 cm (Rodríguez Cárdenas, 2003).

Figura 7: Escala de color según SRM. **Fuente:** (Suarez Días, 2013)



Metodología

2.1 Tipo de Investigación

El presente proyecto se desarrolló con un enfoque de investigación de corte transversal, analítico.

2.2 Lugar de Estudio

Las determinaciones experimentales se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa SPIEGA Cerveza Artesanal (Parroquia El Valle, Cuenca, Ecuador). El trabajo experimental se realizó desde 18 de marzo a 14 de junio de 2024.

2.3 Determinación de las Variables Independientes y Variables Respuesta

Las variables independientes consideradas en este estudio fueron: temperatura de fermentación, volumen de inóculo de levadura y tiempo de fermentación. Estas variables fueron seleccionadas por su influencia descrita en la etapa de fermentación y en las características finales de la bebida alcohólica de elaboración artesanal. La selección de estas variables se basa en estudios previos y en la literatura existente, que indican que estos factores tienen un impacto directo en el rendimiento de la fermentación y las características sensoriales de la cerveza resultante.

La optimización del proceso de elaboración de cerveza artesanal se evaluó en función de dos variables respuesta: densidad y cuerpo del producto terminado.

2.4 Diseño Experimental para Optimización de Parámetros de Fermentación

El diseño experimental aplicado es un diseño factorial completo 2^3 , donde k representa el número de variables involucradas: temperatura, volumen de inóculo y tiempo de fermentación.

Para establecer los niveles de cada variable, se utilizaron los rangos recomendados por el fabricante de la levadura y la capacidad de las instalaciones de la empresa SPIEGA. A continuación, se presentan las variables aplicadas con sus respectivos límites.

Tabla 3: Variables del Diseño Experimental. **Fuente:** Elaboración Propia

Variable	Mínimo (-)	Máximo (+)
Temperatura de fermentación	20 °C	24 °C
Volumen de inóculo	50 g/ hL	80 g/ hL
Tiempo de fermentación	7 días	10 días

El diseño factorial 2^3 se desarrolla mediante la combinación de las variables, y se presenta en la tabla 4.

Tabla 4: Combinación de variables. **Fuente:** Elaboración Propia

Experimento No	Temperatura (°C)	Volumen de inóculo (g/hl)	Tiempo de fermentación (días)
1	20	50	7
2	24	50	7
3	20	80	7
4	24	80	7
5	20	50	10
6	24	50	10
7	20	80	10
8	24	80	10

2.5 Proceso Experimental

2.5.1 Preparación de la Muestra

El proceso experimental comenzó con la preparación del mosto, el cual es el líquido fermentable obtenido de la maceración de la malta. La maceración se realizó calentando la malta en agua a 65 °C durante 70 minutos. Este proceso fue crucial para la conversión de los almidones en azúcares fermentables, esenciales para la actividad de la levadura durante la fermentación. La calidad del mosto se validó midiendo su densidad, que debía encontrarse

en un rango de 1.045 - 1.048 para asegurar una fermentación adecuada. La densidad del mosto fue un indicador clave de su contenido de azúcares y otros sólidos disueltos, y se monitoreó cuidadosamente para garantizar la consistencia del proceso de fermentación.

- ***Fermentación***

La fermentación se llevó a cabo en el laboratorio de la empresa inmediatamente después de la maceración. El mosto preparado se inoculó con el volumen adecuado de levadura correspondiente a cada combinación experimental y se mantuvo bajo las condiciones específicas de temperatura y tiempo establecidas por el diseño factorial.

Para asegurar que el proceso de fermentación se desarrollara bajo las condiciones preestablecidas, se controló la temperatura tres veces al día. Además, se midió diariamente la densidad del producto. Estos controles regulares ayudaron a mantener un ambiente óptimo para la actividad de la levadura, minimizando las variaciones que pudieran afectar la consistencia y calidad del producto final.

Al finalizar el tiempo de fermentación determinado, el producto se sometió a un proceso de enfriamiento gradual: se llevó a refrigeración a 7 °C y se redujo la temperatura paulatinamente hasta alcanzar los 2 °C en un lapso de dos días. Este enfriamiento gradual fue crucial para permitir que la levadura y otras partículas se sedimentan, facilitando un aclaramiento más efectivo en la siguiente etapa del proceso.

- ***Aclaramiento***

El aclaramiento del producto fermentado se realizó dejando reposar la cerveza a 2 °C durante cinco días. Este periodo de reposo permitió la sedimentación de las partículas suspendidas, lo que resultó en un producto más claro y brillante. Un aclaramiento adecuado fue esencial para mejorar la apariencia y estabilidad de la cerveza, eliminando la turbidez y reduciendo la presencia de sólidos en suspensión que pudieran afectar negativamente la percepción sensorial del producto final.

- ***Evaluación del cuerpo de la cerveza***

El cuerpo de la cerveza fue estimado con medidas de absorbancia a una longitud de onda de 405 nm. Se realizó esta medición en el equipo Rayto RT-9700, monohaz, y se usó una cubeta de vidrio de 10 mm. Para evitar la interferencia de burbujas en la medición, las muestras fueron agitadas con Vórtex ® previas las lecturas de absorbancia.

2.6 Análisis estadístico

Los efectos y contrastes de las distintas variables planteadas en el diseño factorial se evaluaron mediante el análisis de varianza (ANOVA), el cual permitió descomponer la variabilidad total observada en componentes atribuibles a cada una de las variables individuales y a sus interacciones

Para la recopilación y tabulación inicial de los datos, se utilizó el programa Excel, lo que facilitó la organización y preparación de la información para su posterior análisis. Posteriormente, se empleó el software Minitab para el desarrollo de las gráficas, debido a su capacidad avanzada para generar representaciones visuales precisas y detalladas.

2.7 Control de calidad de los parámetros de estudio

El control de los experimentos durante la etapa de fermentación se realizó mediante la medición de la densidad.

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación mínima del experimento; una producción en 7 días a 20 °C con un volumen de inóculo de 50 g/hl.

Tabla 5: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	20,6	1,026	1	20,4	1,028
2	20,4	1,024	2	20,7	1,026
3	20,7	1,022	3	20,1	1,024
4	20,1	1,022	4	20,9	1,022
5	20,8	1,022	5	20,3	1,022
6	20,6	1,02	6	20,6	1,02
7	20,7	1,02	7	20,8	1,018

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación A del experimento; una producción en 7 días a 24 °C con un volumen de inóculo de 50 g/hl.

Tabla 6: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	23,3	1,034	1	24,4	1,03

2	22,9	1,023	2	22,9	1,02
3	23,7	1,02	3	23,3	1,017
4	23,8	1,019	4	22,7	1,017
5	24,2	1,019	5	23,5	1,017
6	23,6	1,018	6	23,4	1,016
7	23,5	1,018	7	23,3	1,015

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación B del experimento; una producción en 7 días a 20 °C con un volumen de inóculo de 80 g/hl.

Tabla 7: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	20,7	1,024	1	20,3	1,026
2	20,5	1,024	2	20,7	1,024
3	20,7	1,022	3	20,4	1,022
4	20,1	1,022	4	20,6	1,02
5	20,8	1,02	5	20,2	1,02
6	20,6	1,018	6	20	1,019
7	20,7	1,018	7	20,1	1,018

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación AB del experimento; una producción en 7 días a 24 °C con un volumen de inóculo de 80 g/hl.

Tabla 8: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	23,7	1,032	1	24,3	1,026
2	23,1	1,024	2	21,5	1,02
3	23,2	1,02	3	23,2	1,018
4	23	1,019	4	22,4	1,016
5	23,5	1,018	5	23,7	1,016
6	23,3	1,018	6	22,5	1,016
7	23,6	1,017	7	22,2	1,015

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación C del experimento; una producción en 10 días a 20 °C con un volumen de inóculo de 50 g/hl.

Tabla 9: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	20,7	1,028	1	20,1	1,028
2	20,5	1,026	2	20,8	1,024
3	20,7	1,024	3	20,3	1,022
4	20,1	1,022	4	20,6	1,022
5	20,8	1,022	5	20,4	1,02
6	20,6	1,021	6	20,9	1,02
7	20,7	1,02	7	20,2	1,018
8	20,4	1,02	8	20,7	1,018
9	20,3	1,018	9	20,5	1,016
10	20,5	1,016	10	20	1,015

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación AC del experimento; una producción en 10 días a 24 °C con un volumen de inóculo de 50 g/hl.

Tabla 8: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	25,2	1,034	1	23,3	1,03
2	24,5	1,024	2	23	1,02
3	25	1,02	3	24,7	1,019
4	24,7	1,019	4	24	1,02
5	24,5	1,018	5	23,9	1,018
6	24,6	1,018	6	23,2	1,018
7	24,7	1,017	7	24,2	1,017
8	24,9	1,017	8	23,6	1,016
9	24,5	1,017	9	24,3	1,015
10	24,6	1,016	10	24,4	1,015

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación BC del experimento; una producción en 10 días a 20 °C con un volumen de inóculo de 80 g/hl.

Tabla 10: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	20,5	1,026	1	20,3	1,028
2	20,2	1,024	2	20,7	1,026
3	20,8	1,024	3	20,5	1,024
4	20,3	1,022	4	20,8	1,022
5	20,6	1,02	5	20,1	1,022
6	20,1	1,018	6	20,6	1,02
7	20,7	1,018	7	20,4	1,018
8	20,9	1,016	8	20,9	1,018
9	20,4	1,016	9	20,2	1,016
10	20	1,014	10	20	1,016

En la tabla a continuación observamos la densidad y el control de la temperatura en la combinación ABC del experimento; una producción en 10 días a 24 °C con un volumen de inóculo de 80 g/hl.

Tabla 11: Lecturas de densidad. **Fuente:** Elaboración Propia

Primera Producción			Segunda Producción		
Días	Temperatura	Densidad	Días	Temperatura	Densidad
1	24,6	1,032	1	24,9	1,028
2	23,4	1,022	2	24,8	1,018
3	23,5	1,019	3	24,1	1,017
4	24,6	1,018	4	23	1,016
5	24,3	1,017	5	23,6	1,016
6	24,5	1,017	6	23,7	1,015
7	24,7	1,016	7	23,5	1,015
8	24,1	1,016	8	23,7	1,014
9	23,9	1,016	9	23,3	1,014
10	24,3	1,015	10	23,6	1,013

Resultados y Discusión

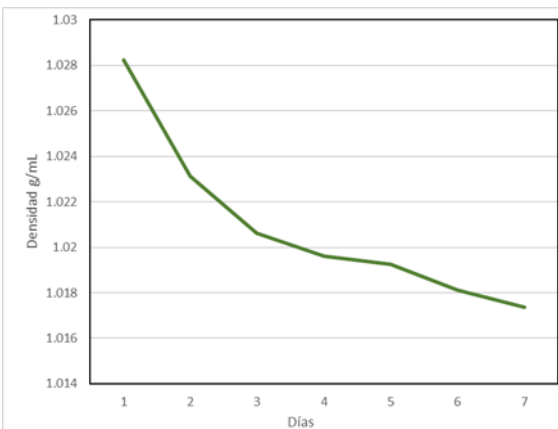
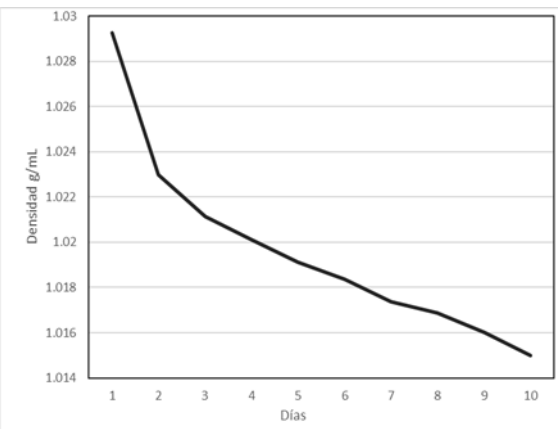
3.1 Control del proceso de fermentación

La correcta medición de la densidad es crucial en la analítica cervecera, ya que permite determinar el extracto, compuesto principalmente por azúcares, dextrinas, compuestos nitrogenados y minerales. La densidad proporciona información esencial sobre la composición y calidad del mosto y la cerveza, al comparar su densidad con la de una solución de sacarosa. Este procedimiento simplifica el análisis rutinario y asegura la precisión en la evaluación del producto.

Los experimentos realizados durante un período de 7 días demostraron que la densidad al finalizar la producción se encuentra en un rango de 1.017 a 1.020 (**Figura 8a**). Estos resultados indican que un ciclo de fermentación más corto tiende a mantener una densidad ligeramente superior, lo cual puede influir en las características finales de la cerveza, como el cuerpo y la dulzura residual.

En contraste, los experimentos extendidos a 10 días mostraron un rango de densidad menor, que varía entre 1.015 y 1.016 como se observa en la **Figura 8b** al finalizar el proceso de fermentación. Esta reducción en la densidad sugiere una mayor atenuación de los azúcares presentes en el mosto, resultando en una cerveza con un perfil más seco y posiblemente una mayor concentración de alcohol.

Figura 8: Promedio de la variación de la densidad con respecto a los días de fermentación. **Fuente:** Elaboración propia

Promedio de fermentación de 7 días	Promedio de fermentación de 10 días
 Figura 8a: Variación de la densidad en 7 días.	 Figura 8b: Variación de la densidad en 10 días

Considerando que, según Hernández Cleves y Muñoz Montaña, el valor óptimo de densidad final para la levadura estilo Blonde Ale es de 1.013, los resultados más cercanos a este valor óptimo fueron obtenidos en los experimentos de 10 días. Esto sugiere que un período de fermentación más prolongado puede ser más efectivo para alcanzar la densidad deseada, optimizando así la calidad y las características finales de la cerveza artesanal, lo que se alinea a lo propuesto por Cruz Araújo et al., 2021, el tiempo de fermentación óptimo es cerca de 10 días.

3.2 Determinación del cuerpo de la cerveza

La Association of Official Analytical Chemists (AOAC) establece que el valor de absorbancia para la determinación del color de la cerveza artesanal es de 0.405 a una longitud de onda de 430 nm. Este valor de corte se aplica en diversas fórmulas para evaluar el color de la cerveza. Aunque en este estudio no se analiza el color de la cerveza como parámetro principal, dado que el enfoque está en otros aspectos del proceso de fermentación, es relevante mencionar que cada experimento realizado cumplió con los controles de calidad internos respecto al color.

Tabla 12: Absorbancias de los experimentos establecidos en el diseño factorial. **Fuente:** Elaboración Propia

Experimento	Absorbancia 1 (Producción 1)	Absorbancia 2 (Producción 2)	DE	CV
1	0.824	0.84	0.01131	1.36
2	0.587	0.588	0.00071	0.12
3	0.79	0.746	0.03111	4.05
4	0.652	0.54	0.07920	13.29
5	0.415	0.419	0.00283	0.68
6	0.562	0.603	0.02899	4.98
7	0.642	0.579	0.04455	7.30
8	0.646	0.529	0.08273	14.08

*DE: Desviación estándar, *CV: Coeficiente de variación.

Según los resultados obtenidos en la **Tabla 12**, los valores de absorbancia de los experimentos (1), B, AB, BC y ABC indican un cuerpo robusto en la cerveza producida (absorbancia > 0.6). De acuerdo con Heinz, Schildbach, Harms, y Pankoke (2009), un cuerpo robusto no es una característica esperada en la cerveza tipo Blonde Ale, lo que sugiere que estos experimentos no cumplirían con los requisitos necesarios para otorgar esta denominación a la cerveza elaborada.

Los experimentos restantes (A, C y AC), sin embargo, presentan valores de absorbancia que se consideran dentro del rango esperado para las especificaciones de la cerveza Blonde Ale (0.3-0,6). Estos valores son indicativos de un cuerpo más ligero y refrescante, alineado con las características tradicionales de esta variedad.

Se debe tener en consideración, que dentro de las lecturas existe un coeficiente de variación alto, esto puede deberse a que el método de fermentación no está optimizado y los valores se obtuvieron de distintas combinaciones de variables.

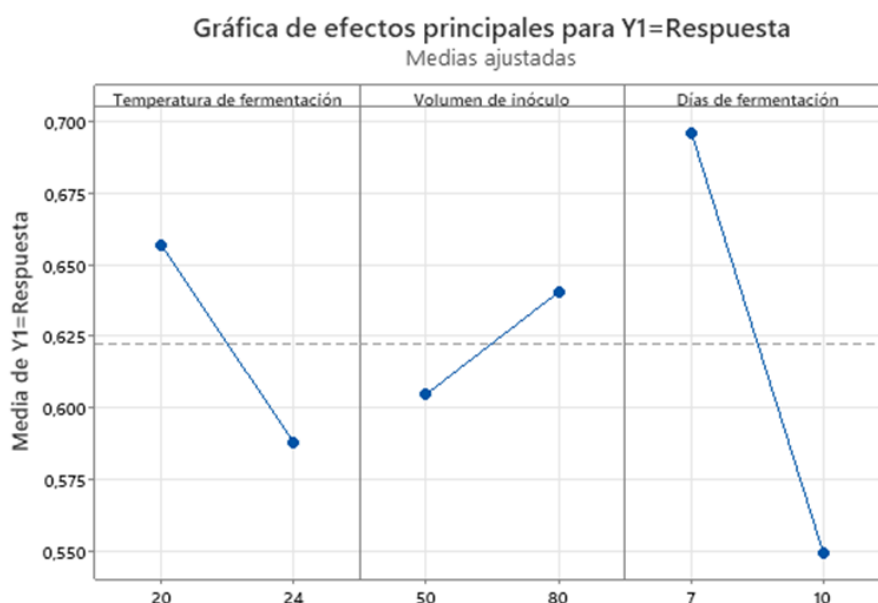
3.3 Análisis de los efectos individuales

Tabla 13: Cálculo de los contrastes y efectos para cada variable. **Fuente:** Elaboración propia

Tabla de efectos y contrastes							
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
Contrastes	-0.5493	0.2860	-0.2313	-1.1720	1.1173	0.5073	-0.5207
Efectos	-0.0687	0.0358	-0.0289	-0.1465	0.1397	0.0634	-0.0651

Los resultados obtenidos en la **Tabla 13** (contrastes y efectos), el factor A (temperatura) tiene un efecto negativo (-0.0687), lo que sugiere que aumentar la temperatura reduce la respuesta del proceso de fermentación.

Figura 9: Gráfica de efectos individuales. **Fuente:** Elaboración propia

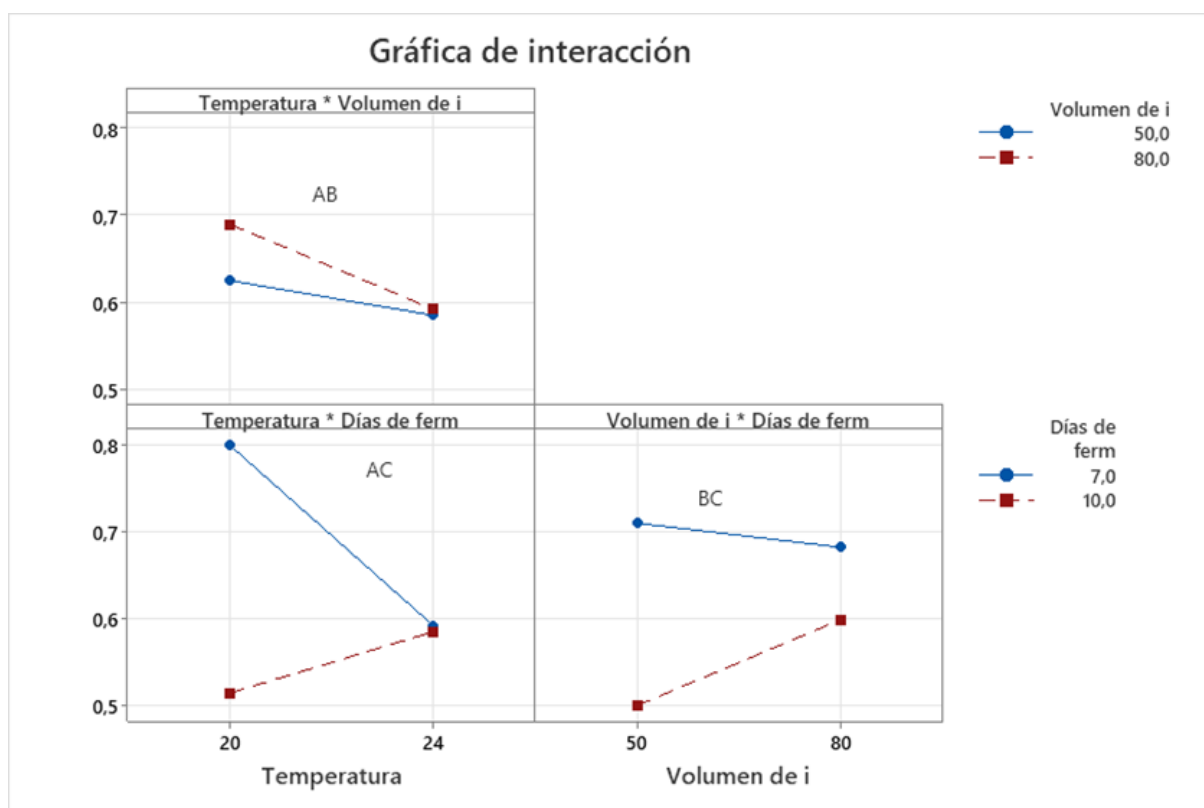


Por otro lado, el factor B (volumen de inóculo) tiene un efecto positivo (0.0358), lo que sugiere que aumentar el volumen de inóculo incrementa la respuesta del proceso de fermentación. Finalmente, el factor C (tiempo de fermentación) tiene un efecto negativo significativo (-0.1465), lo que sugiere que aumentar el tiempo de fermentación reduce la respuesta del proceso de fermentación (**Figura 9**).

3.4 Análisis de los efectos de las interacciones

La interacción entre temperatura y días de fermentación (AB) es significativa, ya que, a una temperatura de 24°C, aumentar los días de fermentación de 7 a 10 días resulta en una disminución considerable de la variable de respuesta. Esto sugiere que un mayor tiempo de fermentación combinado con una temperatura más alta es beneficioso para reducir la variable de respuesta, esto se puede observar en la gráfica de interacciones (**Figura 10**), ya que mientras menos paralela sean las líneas, mayor efecto tendrá dicha interacción en la variable de respuesta.

Figura 10: Gráfico del efecto interacciones entre variables. **Fuente:** Elaboración propia



3.5 Análisis de Varianza (ANOVA)

Para evaluar la significancia estadística de los factores y sus interacciones, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando Excel.

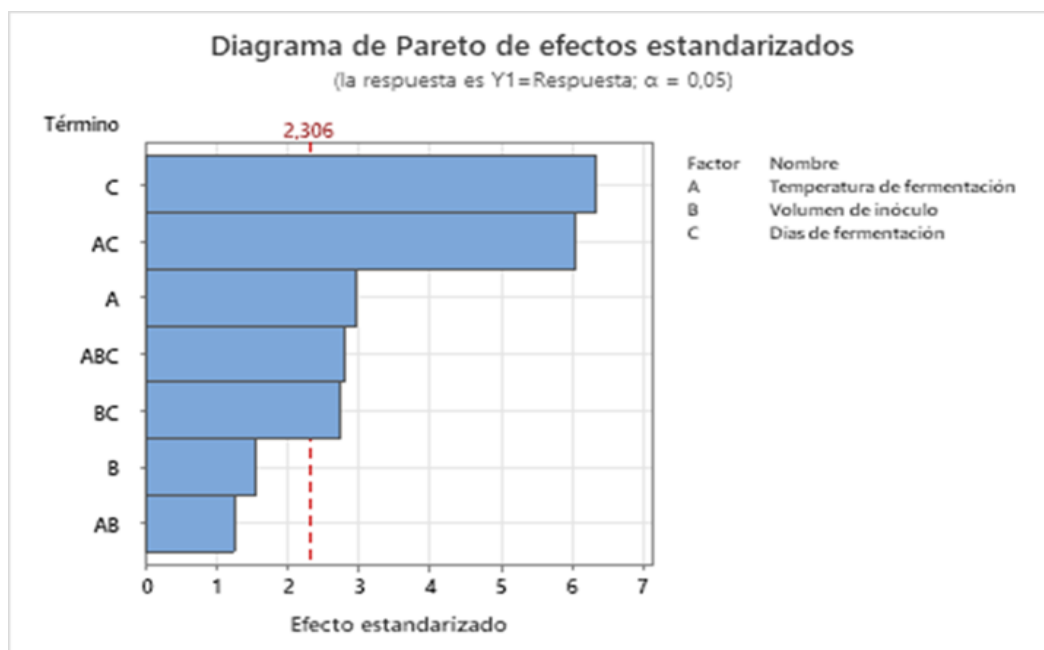
Tabla 14: Tabla resumen del análisis de varianza. **Fuente:** Elaboración propia

ANOVA	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
Valor p	0.0178	0.1602	0.2459	0.0002	0.0003	0.0252	0.0226

El análisis de varianza (ANOVA) realizado (**Tabla 14**) para evaluar los efectos de la temperatura, el volumen de inóculo y el tiempo de fermentación en el proceso de fermentación de cerveza artesanal arrojó resultados significativos. La temperatura (A) tiene un efecto significativo ($p = 0.0178$), indicando que las variaciones en la temperatura influyen considerablemente en el proceso.

El tiempo de fermentación (C) es el factor de mayor influencia, con un efecto altamente significativo ($p = 0.0002$), observado como la variable de mayor relevancia en el gráfico de Pareto (**Figura 11**). Sin embargo, el volumen de inóculo (B) no mostró un efecto significativo individualmente ($p = 0.1602$), sugiriendo que los cambios en este factor, dentro del rango estudiado, no afectan significativamente el proceso de fermentación.

Figura 11: Diagrama de Pareto. **Fuente:** Elaboración propia



En cuanto a las interacciones, la interacción entre temperatura y tiempo de fermentación (AC) resultó ser altamente significativa ($p = 0.0003$), lo que sugiere que la combinación de estos dos factores tiene un impacto considerable en el proceso. La interacción entre volumen de inóculo y tiempo de fermentación (BC) también fue significativa ($p = 0.0252$), indicando que estos factores, cuando se combinan, afectan significativamente el proceso de fermentación.

Además, la interacción triple entre temperatura, volumen de inóculo y tiempo de fermentación (ABC) fue significativa ($p = 0.0226$), lo que sugiere que la interacción conjunta de los tres factores influye en el resultado del proceso. Estos hallazgos indican que, aunque el volumen de inóculo no tiene un efecto significativo por sí solo, sus interacciones con otros factores son

relevantes y deben considerarse para optimizar el proceso de fermentación de la cerveza artesanal.

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

La temperatura de fermentación tuvo un efecto significativo en la variable de respuesta, con una temperatura más alta (24°C) resultando en una mayor reducción de la variable de respuesta. Esto sugiere que aumentar la temperatura dentro del rango estudiado es beneficioso para mejorar el proceso de fermentación.

El volumen de inóculo no mostró un efecto significativo de forma individual en la variable de respuesta. Sin embargo, sus interacciones con otros factores fueron relevantes, lo que indica que, aunque el volumen de inóculo por sí solo no afecta considerablemente el proceso, su combinación con otras variables puede ser importante para la optimización global del proceso.

El tiempo de fermentación demostró ser la variable más influyente en el proceso, ya que, con un aumento en el tiempo de fermentación de 7 a 10 días resultó en una reducción significativa de la variable de respuesta. Esto destaca la importancia de un mayor tiempo de fermentación para alcanzar mejores resultados en el cuerpo de la cerveza tipo blonde Ale.

Las interacciones entre temperatura y días de fermentación (AC) y entre volumen de inóculo y días de fermentación (BC) fueron significativas. Esto sugiere que la combinación de estos factores tiene un impacto considerable en la optimización del proceso y deben ser considerados conjuntamente para mejorar la eficiencia del mismo.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda mantener la temperatura de fermentación en 24°C y extender el tiempo de fermentación a 10 días para obtener una mayor reducción en la variable de respuesta, optimizando así la calidad y eficiencia del proceso de fermentación de cerveza artesanal Blonde Ale de la empresa SPIEGA.
- Se sugiere realizar un monitoreo continuo del proceso de fermentación y ajustar los parámetros conforme sea necesario para mantener la optimización del proceso. Experimentos adicionales pueden ser realizados para explorar otros rangos de valores y validar los hallazgos obtenidos en este estudio.
- Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar el impacto de otros factores no considerados en este estudio, como la composición del mosto, el tipo de levadura utilizada y las condiciones de almacenamiento post-fermentación. Esto permitirá una comprensión más completa y una optimización aún mayor del proceso de producción de cerveza artesanal.

Referencias

- Barranco García, S. A., & Villareal Córdova, G. N. (2021). *Fundación Universidad de América*.
Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8650/1/6152634-2021-2-IQ.pdf>
- Carvajal Martínez, L. D., & Insuasti Andrade, M. A. (2010). *Universidad Técnica del Norte*.
Obtenido de [repositorio.utn.edu.ec: https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/642/1/03%20AGI%20256%20TE SIS.pdf](https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/642/1/03%20AGI%20256%20TE SIS.pdf)
- Castorena-García, J., Juárez-Pérez, V., Cano-Hernández, M., Santiago-Santiago, V., & López-Mejía, O. (2020). *Caracterización Físico-química de Cerveza Artesanal con Adjunto de Maíz Azul y Derivados de Caña de Azúcar*. *Conciencia Tecnológica*, 2-11.
- Díaz, N. A., Bárcena Ruiz, A., Fernández Reyes, E., Galván Cejudo, A., Jorrín Novo, J., Peinado Peinado, J., . . . Túnez Fiñana, I. (2015). *Departamento de Bioquímica y Biología Molecular; Universidad de Rabanales*. Obtenido de https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf
- Ferreira, L. (05 de 15 de 2014). *Facultad de Cs. Agrarias y Forestales UNLP*. Obtenido de <https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreira-.pdf>
- Garduño-García, A., Martínez-Romero, S., López-Cruz, I., & Ruíz-García, A. (2014). *Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal*. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 221-232.
- Guerberoff, G., Marchesino, M., López, P., & Olmedo, R. (2020). *El perfil sensorial de la cerveza como criterio de calidad y aceptación*. *Nexo Agropecuario*, 52-59. Obtenido de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/28926/29911>
- Heinz, M. A., Schildbach, S., Harms, D., & Pankoke, K. (2009). En H. M. Eßlinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (págs. 437-475). Chicago: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Heredia Jara, V. P. (30 de 06 de 2022). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17578/1/156T0056.pdf>

- Hernández Cleves, L. M., & Muñoz Montaña, L. M. (2019). *Fundación Universidad de América*. Obtenido de <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/7606/1/6141312-2019-2-IQ.pdf>
- Luján Corro, M., & Vásquez Villalobos, V. (2010). *Control automático con lógica difusa de la producción de cerveza artesanal en las etapas de maceración y cocción*. Scientia Agropecuaria, 125 - 137.
- Maltosaa. (26 de 11 de 2017). *Mexican Premium Malt*. Obtenido de <https://maltosaa.com.mx/diferencia-entre-una-cerveza-ale-y-una-lager/>
- Martínez Díaz, M. E. (2022). *Universidad Nacional de Río Negro*. Obtenido de https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/9173/1/Martinez_D%c3%adaz_Mar%c3%ada_Eugenia-2022.pdf
- Melendez, L. V. (21 de 04 de 2021). *Cultura Cervecera*. Obtenido de <https://pintadaily.com/cebada-malteada/>
- Menárguez López, E. (25 de 07 de 2017). *Publicaciones Didácticas*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/235855634.pdf>
- Morales-Toyo, M. (2018). *Reacciones Químicas en la Cerveza*. Revista de Química PUCP, 5-11.
- Picón Sánchez, M. (01 de 05 de 2020). *Universidad de Sevilla*. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/99697/TFG-2817-PICON%20SANCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez Cárdenas, H. A. (2003). Obtenido de Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/far696d/doc/far696d.pdf>
- Sanz Municio, A. (06 de 10 de 2017). *La Barraca*. Obtenido de <https://www.labarracadelasapas.com/lupulo-la-esencia-aromatica-la-cerveza/>
- Strong, G., & England, K. (2015). *Beer Judge Certification Program*. Obtenido de Guía de Estilos de Cerveza: https://www.thebeertimes.com/wp-content/uploads/2017/08/2015_Guidelines_Beer_Espa%C3%B1ol-final.pdf
- Suarez Días, M. (13 de 07 de 2013). *Universidad de Oviedo*. Obtenido de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/19093/?sequence=8>

Tarantino, G. (10 de 2016). *Universidad Católica Andrés Bello*. Obtenido de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT2573.pdf>

Universidad Abierta y a Distancia de México. (2016). *UnADM*. Obtenido de https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCSBA/BLOQUE2/ER/02/EQAN/unidad_03/descargables/EQAN_U3_Contenido.pdf

Universidad Nacional de la Plata. (2020). *lipa.agro.unlp.edu.ar*. Obtenido de <https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/GUIA-CERVEZA.pdf>

Valverde Álvarez, A. (2020). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla*. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/106310/TFG-3285-VALVERDE%20ALVAREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=z>

Anexos

Anexo A: Proceso de Cocción del mosto



Anexo B: Equipo de elaboración de cerveza artesanal (simple)



Anexo C: Control estricto de temperatura, humedad durante el proceso de fermentación para elaboración de la cerveza artesanal estilo Blonde Ale



Anexo D: Lectura de densidad final (posterior a la fermentación) de los distintos experimentos



Anexo E: Muestras de cerveza Blonde Ale para lectura en espectrofotómetro a 405 nm



Anexo F: Gráfica de superficie de respuesta para las variables de estudio.

