



Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería en Alimentos

Aplicación de diseño experimental y métodos multicriterio para optimización de cervezas elaboradas a partir de trigo y cebada que se cultivan en la provincia del Cañar

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

Ingeniero en Alimentos

Autor(es):

Aucapiña Espinosa Raúl Steven

Sacoto Aguilera Nathalia Domenique

Director:

Ing. Diego Suárez Estrella, Ph. D.

Cuenca - Ecuador

2025

Dedicatoria

A mis padres, Hernán y Catalina, a mis hermanos, Camila y Daniel, a mi mejor amigo Raúl por ser mi apoyo constante en este camino. Gracias por su compañía, aliento y por recordarme en cada paso que sí podía lograrlo.

Nathalia

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a Dios y a la Virgen Auxiliadora por acompañarme y guiarme siempre en cada etapa de mis estudios. A mis padres Noralma y Johnson por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la honestidad, y por ser mi mayor fuente de fortaleza. A mis hermanos Nicolás y Alessito, por su compañía, sus palabras de ánimo y por caminar a mi lado en cada etapa de este proceso. A mis abuelitos Martha, Rosario, Ecuador y Raúl, por su sabiduría, sus bendiciones y el amor que me acompaña en cada paso. A toda mi familia, tanto por parte de mi mamá como de mi papá, por sus palabras de aliento, su cariño y por formar parte esencial de mi vida.

Y con especial cariño y respeto, dedico este logro a aquellas personas que partieron antes de ver este momento, pero que viven en mi corazón y cuya memoria me impulsó a seguir adelante.

Raúl

Agradecimiento

A mi padre, Hernán, quien fue un pilar fundamental en este camino. Me apoyó desde el inicio hasta el final, siempre motivándome a seguir adelante con firmeza y determinación. A mi madre, Catalina, mi ejemplo a seguir. Gracias por impulsarme a no rendirme, por enseñarme que soy valiente y capaz de alcanzar todo lo que sueño. A mis hermanos, Camila y Daniel, que, a pesar de la distancia, siempre estuvieron a mi lado, apoyándome en cada etapa y ayudándome a sacar lo mejor de mí.

A mi mejor amigo, Raúl, quien fue un apoyo incondicional durante toda la carrera. Gracias por nunca soltarme la mano, por impulsarme a continuar cuando sentía que no podía más y por regalarme una amistad tan sincera y valiosa. Espero que la vida nos vuelva a reunir en el camino. A mi amiga Sol, por su valioso aporte, su generosidad al compartir sus conocimientos y su infinita paciencia a lo largo de este proceso. Gracias por estar siempre dispuesta a apoyarnos en cada momento. Finalmente, extendo mi más profundo agradecimiento al Dr. Diego Suárez Estrella, director de tesis, por su constante disposición, su apoyo incondicional y, sobre todo, por confiar en nosotros desde el inicio.

Nathalia

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por darme la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza para culminar esta etapa. A mis padres, gracias por su amor, su apoyo incondicional y por ser el motor que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, por su cariño, su comprensión y por estar siempre ahí, celebrando mis logros y animándome cuando más lo necesitaba. A mis amigos Angélica y Elian, quienes hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable, llena de aprendizajes, risas y crecimiento. De manera muy especial, a mi mejor amiga Nathalia, con quien el destino me permitió compartir un vínculo hermoso de amistad. Gracias por tu compromiso, tu entrega, tu apoyo incondicional y por ser una compañera inigualable en este proceso. Agradezco profundamente haber recorrido este camino a tu lado, porque tu apoyo y amistad han sido un pilar fundamental para mí.

A mi director de tesis, Dr. Diego Suárez por sus consejos, orientación, tiempo, paciencia y por compartir sus conocimientos con dedicación y generosidad. Gracias por ser un maestro y amigo. A la Ing. Marisol Jara quién me acompañó desde el inicio de este proceso, no solo como guía, sino como una amiga invaluable. Gracias por compartir tus conocimientos, y por hacer este proceso una experiencia llena de aprendizajes, risas y gratos momentos que llevaré siempre conmigo.

Raúl

Resumen

La provincia del Cañar se ha caracterizado a lo largo de su historia por ser el granero del austro, capaz de proveer al sur y centro del país; sin embargo, durante los últimos años ha ido disminuyendo progresivamente su actividad agrícola. Este estudio tuvo como objetivo optimizar cervezas de trigo y de cebada elaboradas a partir de granos cultivados en el cantón Cañar, aplicando diseño experimental y métodos de análisis multivariado, para proponer una alternativa de uso y consumo diferente al que reciben actualmente estos granos. Se utilizó cebada (*Hordeum vulgare* L, var. Rita) y trigo (*Triticum* spp, var. INIAP-Imbabura). Se aplicó un diseño experimental factorial 2^3 con cuatro réplicas al punto central y tres variables estudiadas que fueron tiempo y temperatura de tostado de las maltas y el amargor proyectado. Se llevaron a cabo análisis sensoriales y pruebas físicoquímicas de las cervezas elaboradas (contenido de sólidos solubles, colorimetría, densidad y medición del pH). En la cerveza de cebada, fueron significativas las tres variables analizadas y varias de sus interacciones. En cambio, para la cerveza de trigo, solo el tiempo y la temperatura del tostado fueron significativas. La optimización se realizó por el método de máxima pendiente. Los valores óptimos de elaboración para estas variables fueron: tostado a 139 °C por 19.40 minutos y amargor proyectado de 14.54 IBU para la cebada y 133 °C por 18.23 minutos para el trigo. Las cervezas presentaron buena aceptabilidad sensorial alcanzando valores de 0.903 y 0.912 (90.3 y 91.2%, respectivamente) para las cervezas de cebada y trigo, respectivamente.

Palabras clave: Cebada, trigo, cerveza, diseño experimental, malteado

Abstract

Throughout its history, the province of Cañar has been characterized as a prosperous breadbasket, capable of supplying the south and center of the country; however, in recent years its agricultural activity has progressively declined. This study aimed to optimize wheat and barley beers made from grains grown in the Cañar canton, applying experimental design and multivariate analysis methods to propose an alternative use and consumption different from that currently received by these grains. Barley (*Hordeum vulgare* L., var. Rita) and wheat (*Triticum* spp., var. INIAP-Imbabura) were used. A 2³ factorial experimental design was applied with four replicates at the central point and three variables studied: toasting time and temperature and projected bitterness. Sensory analyses and physicochemical tests (soluble solids content, colorimetry, density, and pH) were carried out. In the barley beer, all the variables were significant, in addition to several interactions among them. In contrast, for wheat beer, only malting time and temperature had a significant influence. Optimization was performed using the maximum slope method. The optimum brewing values for these variables were: roasting at 139°C for 19.40 minutes and projected bitterness of 14.54 IBU for barley and 133°C for 18.23 minutes for wheat. The beers presented good sensory acceptability, reaching 0.903 and 0.912 (90.3 and 91.2%, respectively) values for barley and wheat beers, respectively.

Keywords: Barley, wheat, beer, experimental design, malting

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Materia prima para la elaboración de cerveza.....	1
1.1.1 Cebada	1
1.1.2 Semilla	3
1.1.3 Características químicas de la semilla de cebada	4
1.1.4 Características de una cebada apta para la elaboración de cerveza	5
1.1.5 Trigo	5
1.1.6. Semilla de trigo.....	6
1.1.7 Características químicas de la semilla de trigo.....	7
1.2. Elaboración de cerveza.....	7
1.2.1. Definición	7
1.2.2. Tipos de cerveza	8
1.2.3. Ingredientes.....	9
1.2.4. Proceso de elaboración	9
1.2.5. Cerveza de trigo.....	11
CAPÍTULO II	13
MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1 Materiales	13
2.2 Métodos	13
2.2.1 Limpieza y desinfección de las semillas de cebada y trigo	13
2.2.2 Remojo.....	13
2.2.3 Germinación de las semillas de cebada y trigo.....	14
2.2.4 Aplicación de diseño experimental y métodos multicriterio para optimización de cervezas elaboradas a partir de cebada y trigo	14
2.2.5 Elaboración de cerveza	15
2.2.6 Análisis fisicoquímicos.....	20
2.2.7 Análisis sensorial	21
2.2.8 Análisis estadístico	22
2.2.9 Optimización de cervezas de cebada y trigo.....	23

CAPÍTULO III.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1. Análisis físicos químicos.....	25
3.1.1 Contenido de sólidos solubles	25
3.1.2 Medición de pH	27
3.1.3 Análisis de Colorimetría	28
3.1.4 Análisis sensorial	29
3.1.5 Análisis estadístico	29
3.1.6 Optimización de cervezas de cebada y trigo.....	33
3.1.7 Análisis físico-químico de las de las cervezas optimizadas	33
3.1.8 Análisis estadístico de las muestras optimizadas.....	35
CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS.....	37
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la cebada.....	4
Tabla 1.2 Diferencias entre una cerveza de cebada y trigo.....	11
Tabla 2.1 Diseño experimental 2^3 con cuatro réplicas al punto central.....	15
Tabla 2.2 Condiciones del diseño experimental para la optimización de cervezas de cebada y trigo.....	15
Tabla 2.3. Ponderación de los atributos para la optimización de las cervezas de cebada y trigo.....	23
Tabla 3.1 Sólidos solubles cerveza de cebada.....	25
Tabla 3.2 Sólidos solubles cerveza trigo.....	26
Tabla 3.3 pH y densidad de las cervezas de cebada y trigo.....	27
Tabla 3.4 Colorimetría cerveza de cebada.....	28
Tabla 3.5 Colorimetría cerveza de trigo.....	29
Tabla 3.6 Función de utilidad del análisis sensorial de la cerveza de cebada.....	30
Tabla 3.7 Nivel de significancia al 95% de las variables e interacciones para la cerveza de cebada.....	31
Tabla 3.8 Función de utilidad del análisis sensorial de la cerveza de trigo.....	32
Tabla 3.9 Nivel de significancia al 90% de las variables e interacciones para la cerveza de trigo.....	32
Tabla 3.10 Nuevas coordenadas experimental para la cerveza de cebada.....	33
Tabla 3.11 Nuevas coordenadas experimentales para la cerveza de trigo.....	33
Tabla 3.12 Condiciones de los nuevos puntos para la elaboración de las cervezas de cebada (Opt C) y trigo (Opt T).....	33
Tabla 3.13 pH y densidad de las cervezas de cebada y trigo optimizadas.....	34
Tabla 3.14 Comparación de la colorimetría cerveza de cebada.....	34
Tabla 3.15 Comparación de la colorimetría cerveza de trigo.....	35
Tabla 3.16 Función de utilidad de las cervezas optimizadas respecto a las mejores experimentales.....	35

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1. Proceso de triturado.....	16
Imagen 2.2. Macerado de la malta de cebada	17
Imagen 2.3 Lavado de la malta	17
Imagen 2.4 Enfriamiento del mosto	18
Imagen 2.5 Adición de levadura	19
Imagen 2.6 Recipiente de fermentación.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento del cultivo de cebada en Ecuador	2
Figura 2. Consumo doméstico de Cebada en Ecuador	2
Figura 3. Importaciones de cebada en Ecuador	3
Figura 4. Partes de la planta de cebada.	3
Figura 5. Consumo doméstico de trigo en el Ecuador	6
Figura 6. Escala de colores de la European Brewing Covention (EBC) para determinar el color de la cerveza.	8

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1.1 Materia prima para la elaboración de cerveza

1.1.1 Cebada

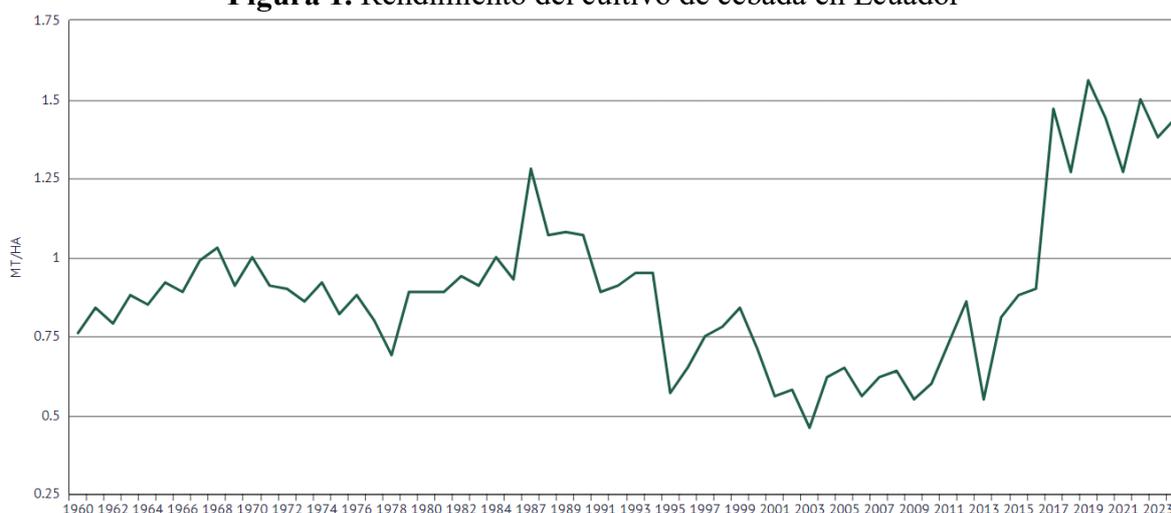
La cebada (*Hordeum vulgare L.*) pertenece a la familia de las Gramíneas, esta planta puede alcanzar hasta un metro de altura. El ciclo de cultivo requiere una preparación del suelo un mes antes de la siembra, mediante arado y cruza, que es la segunda aradura que se aplica a un suelo en la misma temporada, esta se realiza en sentido perpendicular a la primera aradura, incorporando abono de manera adecuada. La siembra se realiza a una profundidad de 5 cm para evitar el ahogamiento de la semilla y la cosecha tiene lugar al alcanzar la madurez en campo. La humedad del grano debe ser entre 13 y 15% para su almacenamiento (Ponce et al., 2022; Newman & Newman, 2008).

La cebada crece en climas frescos y moderadamente secos. Además, necesita entre 400 y 600 mm de precipitaciones durante su ciclo de cultivo. Los suelos más adecuados para su cultivo son poco profundos, pedregosos y bien drenados con un pH que oscila entre 6.5 y 7.6 (SAGARPA, 2017).

En el centro-sur del Ecuador, la época de siembra inicia en noviembre y termina en enero; mientras que, para el centro y norte del país, inicia en enero y termina en marzo. Esta diferencia se debe a la necesidad de coincidir la siembra con el inicio de las lluvias y planificar la cosecha para que coincida con la época seca. Por ende, el cultivo se adecúa a las condiciones climáticas de cada zona. Para la sierra central del país (Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo) la temporada de lluvias comienza en noviembre, marcando el inicio de la siembra. Esto va a permitir que la cosecha se realice durante la época seca, que se estima en enero. Mientras que, para la sierra norte del país, que incluye las provincias de Pichincha, Imbabura, Carchi y Bolívar, la temporada de lluvias inicia en enero y la temporada seca se estima en marzo (Ponce et al., 2022).

El rendimiento de cebada en Ecuador mejoró un 4.35%, pasando de 1.38 toneladas métricas / hectárea en 2022 a 1.44 en 2023 (Figura 1) (Knoema, 2023). Según el MAG (2022), este fenómeno se ha dado gracias al impulso de programas como “Siembra por Contrato”, que permite sembrar granos con un compromiso de compra pre establecido.

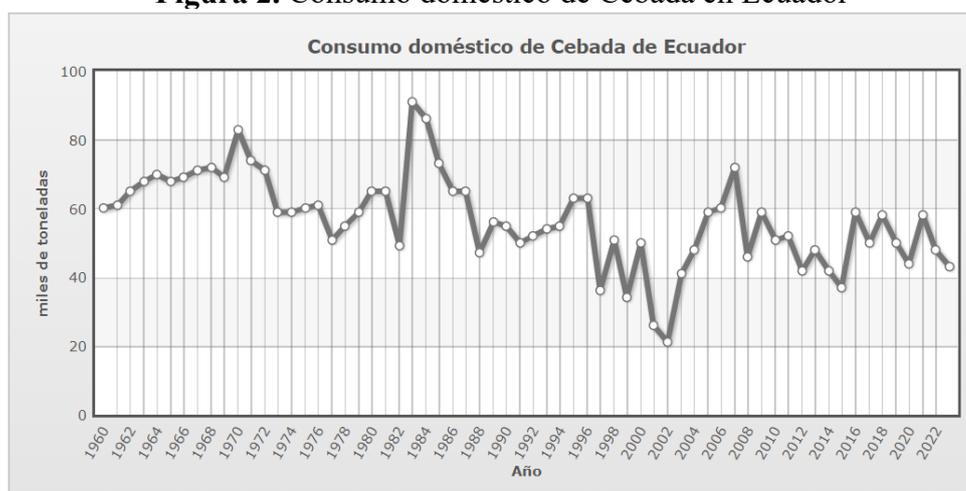
Figura 1. Rendimiento del cultivo de cebada en Ecuador



Fuente: Knoema (2023)

El año 2002 mostró el menor pico de consumo doméstico de cebada en Ecuador, que es menos de la cuarta parte del pico máximo registrado en 1983 (Figura 2). De todas formas, su consumo fue recuperándose progresivamente hasta el 2007, cuando vuelve a decaer y estabilizarse, lo cual sugiere una disminución en la demanda o en el uso de cebada en el mercado.

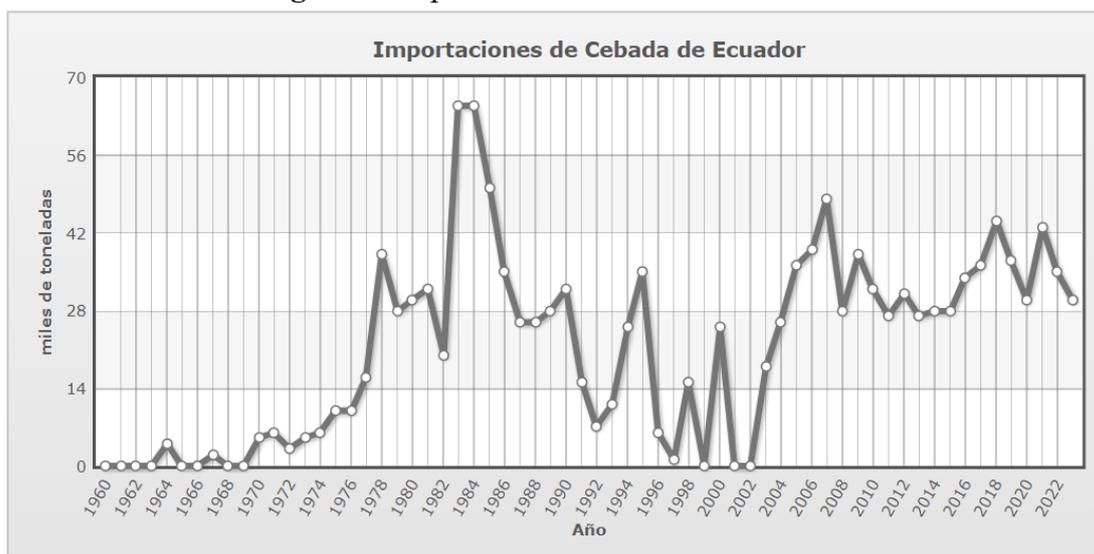
Figura 2. Consumo doméstico de Cebada en Ecuador



Fuente: Indexamundi (2023)

En Ecuador, las importaciones en 2023 fueron de 30 mil toneladas (Indexamundi, 2023). No obstante, en los últimos años las importaciones han mostrado una tendencia a la baja (Figura 3). En la gráfica se puede apreciar que los picos más altos de importaciones en los últimos 30 años se sitúan en 2007, 2018 y 2021. Esta reducción en los últimos años se debe a un menor consumo (Figura 2), lo que ha resultado en un menor volumen de importaciones.

Figura 3. Importaciones de cebada en Ecuador

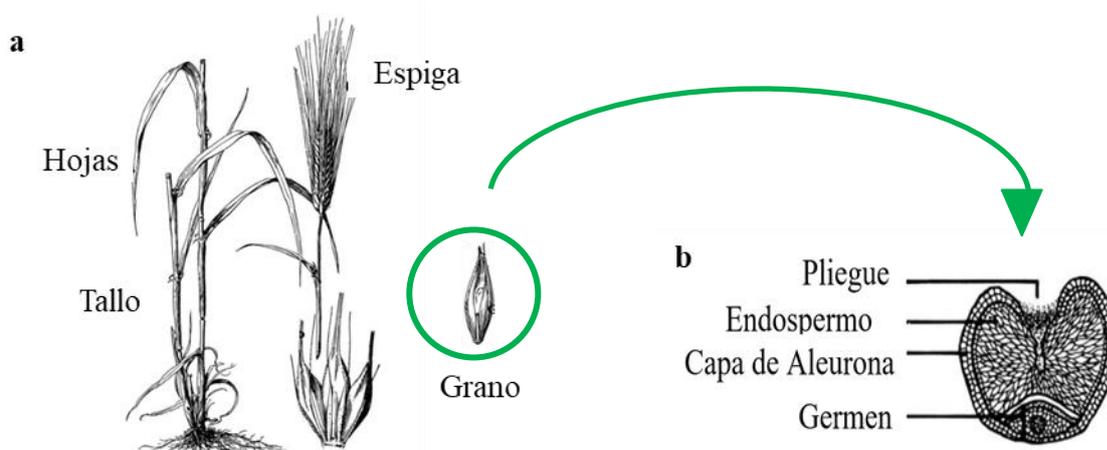


Fuente. Indexmundi (2023)

1.1.2 Semilla

La espiga de cebada (Figura 4), se ubica en la punta del tallo, consiste en un número variable de espiguillas unidas. Las condiciones ambientales influyen en la longitud de la espiga. Dentro de las espigas, se da el desarrollo del grano. La cáscara, compuesta por celulosa y lignina, se adhiere a la cariópse. El endospermo es la parte más grande del grano, contiene aleurona rica en proteínas y el endospermo amiláceo con granos de almidón. El embrión, situado en el lado dorsal de la cariópse, contiene el material necesario para el crecimiento de una nueva planta. Los granos de cebada varían en tamaño según el genotipo, la posición en la espiga y las condiciones ambientales (Newman & Newman, 2008).

Figura 4. Partes de la planta de cebada.



Fuente (Newman & Newman, 2008).

Según SAGARPA (2017), las dimensiones oscilan entre 6 y 9.5 mm de longitud, 1.5 y 4 mm de ancho, con un peso entre 35 y 45 mg con cáscara y 25 y 35 mg sin cáscara (Newman & Newman, 2008).

1.1.3 Características químicas de la semilla de cebada

Almidones: El almidón es la fuente principal de carbohidratos de reserva. El contenido de almidón en la cebada depende de factores como la variedad y las condiciones de cultivo; pero generalmente, oscila entre el 45 y 65% (Tabla 1) (Newman & Newman, 2008). El alto contenido de almidón es crucial para las aplicaciones industriales como la producción de cerveza ya que, durante este proceso el almidón se convierte en azúcares fermentables (Samper, 2013).

Proteínas: El contenido de proteínas en la cebada oscila entre el 7 y 25% (Tabla 1) (Newman & Newman, 2008). Varía según la disponibilidad de nitrógeno y las características genéticas de las variedades. De acuerdo con Osborne (1909), se clasifican en fracciones solubles en agua (albúminas), solubles en sales diluidas (globulinas), solubles en alcoholes (prolaminas u hordeínas) y solubles en ácidos o álcalis (glutelinas).

Lípidos: Se encuentran distribuidos en todo el grano de cebada, especialmente en la aleurona y el endospermo. Representan entre el 2.1% y 3.7% (Tabla 1) de la materia seca, con un promedio de 3.0%. Los principales ácidos grasos son: palmítico (23%), oleico (13%), linoleico (56%) y linolénico (8%) (Ullrich, 2011).

Azúcares: El contenido de azúcares varía entre 0.74% y 0.84% (Tabla 1), predominando la sacarosa. Los enlaces α -1,4 del almidón producen amilosa, mientras que los enlaces α -1,6 forman amilopectina, que es una estructura ramificada. Aunque la fructosa puede estar presente, el almidón está compuesto por cadenas de glucosa. Durante la germinación, el almidón se hidroliza, lo que genera cadenas más cortas y maltosa, que es un disacárido formado por dos moléculas de glucosa. La maltosa y la glucosa resultantes son fermentadas por las levaduras, lo que produce alcohol. Durante la germinación, la glucosa y fructosa se unen en la capa de aleurona formando sacarosa (Briggs, 1978).

Tabla 1. Composición química de la cebada

Cereal	Almidones (%)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Azúcares (%)
Cebada	45 - 65	7 - 25	2.1-3.7	0.74 - 0.84

Fuente: Newman & Newman, (2008).

1.1.4 Características de una cebada apta para la elaboración de cerveza

La cebada es utilizada principalmente para consumo humano y forraje animal. Las variedades de cebada preferidas para la elaboración de cerveza son aquellas con un contenido alto en almidón, cuya hidrólisis permitirá una liberación de altas cantidades de azúcares fermentables, a partir de los cuales se alcanzarán los niveles deseados de alcohol (Hornsey, 2003). La cebada ideal para este tipo de procesos debe tener un balance óptimo de proteínas, que proporcionarán estabilidad a la espuma (Hughes & Baxter, 2001).

En Ecuador, el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha desarrollado variedades de cebada para adaptarse a las diferentes regiones del país, incluyendo: INIAP - Atahualpa (1992), INIAP - Shiry (1999), INIAP - Cañari (2003), INIAP - Quilotoa (2003), INIAP - Cañacapa (2003), INIAP - Guaranga (2010), INIAP - Palmira (2014) (Repositorio INIAP, 1992, 1999, 2003, 2010, 2014).

1.1.5 Trigo

El trigo es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas (*Poaceae*) que se clasifica dentro del género *Triticum* (Khan y Shewry, 2009). La altura final que alcanza la planta de trigo se ve influenciada por la genética y las condiciones ambientales, por lo general varía entre 0.80 y 1.30 m (INTA, 1995).

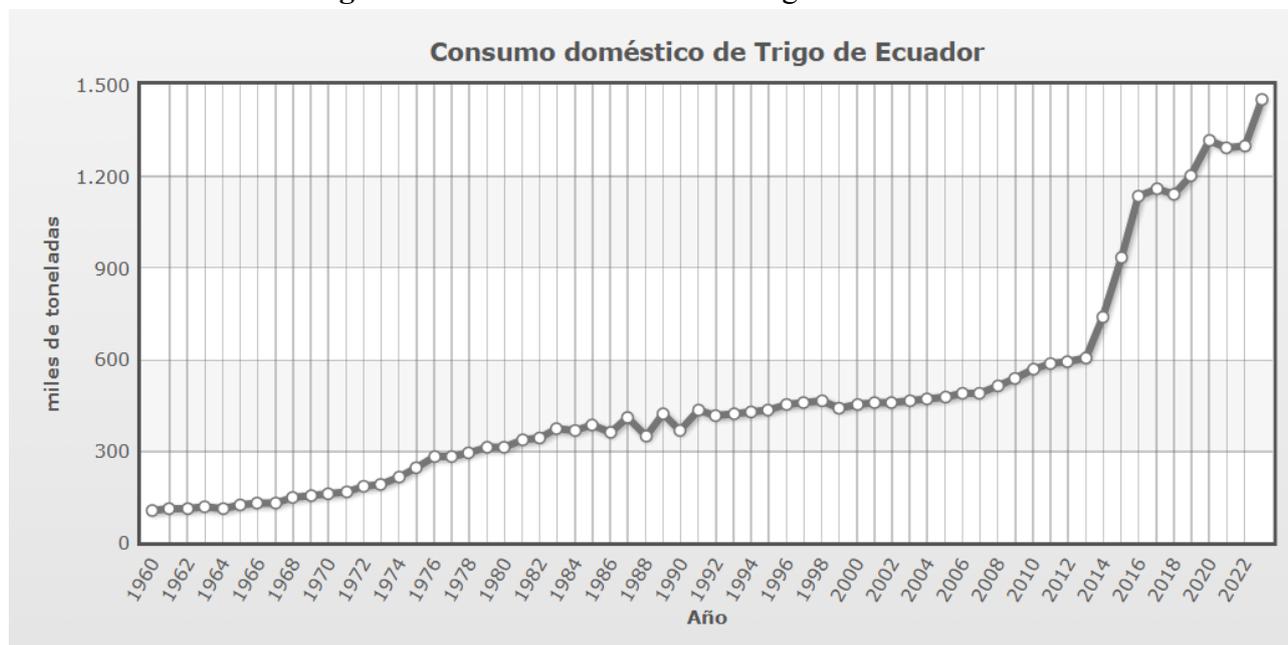
Las variedades de trigo se clasifican como: de invierno o primavera según sus necesidades de frío, su resistencia invernal y su sensibilidad a la duración del día. El período de crecimiento del trigo de primavera (spring) varía de 100 a 130 días, mientras que el trigo de invierno (winter) requiere entre 180 y 250 días para completar su maduración. La elección de las variedades adecuadas dependerá del producto que se desea elaborar a partir de ellas. Las características de la semilla obtenida se verán influenciada significativamente por las condiciones ambientales durante el cultivo, incluyendo la duración del día y temperatura (FAO, 2024), además de las inherentes a la variedad de trigo.

Según datos proporcionados por la FAO el área más provechosa para el cultivo de trigo se encuentra entre los 35 y 55° de latitud norte y los 25 y 45° de latitud sur (FAOSTAT, 2017; citado en Abbate, 2017, Capítulo 1, p.7). En el Ecuador las áreas más adecuadas para la siembra de trigo se encuentran en altitudes entre 2200 y 3200 metros, con precipitaciones de 400 a 700 mm y temperaturas promedio de 11 a 20°C. La semilla debe ser plantada a una profundidad no mayor a 5 cm para asegurar una rápida emergencia y así evitar que se ahogue. El trigo puede crecer en diversos tipos de suelo; pero se prefieren aquellos arcillosos y arenosos. Por otro lado, el pH óptimo para su crecimiento y desarrollo debe oscilar entre 6.5 y 7.5 (INIAP, 2024).

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, aplicada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2023), las zonas de mayor producción de trigo en

el Ecuador son las provincias de Carchi, Chimborazo, Bolívar, Imbabura y Pichincha. En el año 2023, se cultivaron alrededor de 5 000 hectáreas de trigo en el país, con una productividad de 2 toneladas por hectárea. Sin embargo, se importaron 1 600 000 toneladas de trigo. Adicionalmente, en el año 2023 el consumo doméstico de trigo en el Ecuador fue de 1 450 000 Tm (Indexmundi, 2023) (Figura 5).

Figura 5. Consumo doméstico de trigo en el Ecuador



Fuente: Indexmundi (2023).

1.1.6. Semilla de trigo

Los granos de trigo tienen aproximadamente 8 mm de largo y pesan alrededor de 35 mg, aunque hay trigos europeos que pesan unos 55 mg en promedio. Su tamaño varía según la variedad y la posición en la espiga de trigo. Los granos son redondeados en un lado y tienen una hendidura longitudinal en el lado opuesto, que se profundiza casi hasta el centro del grano (Hoseney, 2010).

Salvado: es la capa exterior del grano que actúa como una protección y representa aproximadamente el 14% del grano. Está compuesto por el pericarpio, la cubierta de la semilla y la epidermis nuclear, y se distingue por su alto contenido de fibra y cenizas, así como por la ausencia de almidón (Hoseney, 2010).

Germen: es la fracción más pequeña constituyendo del 2.3 al 2.5% del grano. Se encuentra en la parte dorsal del grano y se compone de dos partes principales que son el eje embrionario (o embrión) y el escutelo, los cuales funcionan como almacén de nutrientes. El germen se caracteriza por carecer de almidón y por su alto contenido de aceite; además, genera la mayoría de las enzimas para el proceso de germinación (Hoseney, 2010).

Endospermo: consiste en la capa externa de la aleurona y el endospermo almidonado. El endospermo del grano de trigo se divide en dos partes principales: una capa exterior gruesa y cuboidal llamada aleurona, que carece de almidón cuando madura, y un centro almidonado. La aleurona es rica en enzimas, cenizas, proteínas, fósforo y lípidos, además de contener concentraciones más altas de ciertas vitaminas que otras partes del grano (Hoseney, 2010).

1.1.7 Características químicas de la semilla de trigo

Almidón: El grano de trigo contiene un 85% (p/p) de carbohidratos, de los cuales, cerca del 80% son almidones, que se van a acumular en el endospermo amiláceo. Mientras que el 12% son polisacáridos de la pared celular, presentes en todos los tejidos (Khan & Shewry, 2009).

Proteínas: El contenido total de proteínas en el grano de trigo varía según la variedad, las condiciones de crecimiento y el manejo postcosecha, pero en promedio representa entre el 8 y 15% del peso seco del grano (Shewry & Halford, 2002). Las proteínas del grano de trigo se clasifican en no glutínicas y proteínas del gluten. Las no glutínicas incluyen proteínas hidrosolubles y proteínas solubles en cloroformo-metanol (CM), representando hasta el 20% del total de proteínas. Por otro lado, las proteínas del gluten pueden constituir aproximadamente el 80% del total de proteínas en el grano de trigo e incluyen prolaminas típicas, que se destacan por su alta concentración de prolina, glutamina y cisteína (Sisson et al., 2012).

Carbohidratos: En un grano de trigo maduro, los carbohidratos constituyen el 85%, del 7% consiste en monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos de baja masa molecular, que se encuentran en la capa de aleurona, el endospermo amiláceo y los tejidos del eje embrionario, así como fructanos, presentes en el endospermo amiláceo y el eje embrionario (Khan & Shewry, 2009).

Lípidos: La distribución de lípidos en el grano de trigo varía considerablemente. Los lípidos del trigo entero están compuestos por un 70% de lípidos no polares, 20% de glicolípidos y 10% de fosfolípidos, aproximadamente. El germen de trigo tiene la mayor concentración de lípidos, principalmente triacilgliceroles no polares, y el mayor porcentaje de fosfolípidos en comparación con otras partes del grano. El salvado tiene más fosfolípidos que glicolípidos, mientras que el endospermo contiene más glicolípidos que fosfolípidos (Nuncio, 2016).

1.2. Elaboración de cerveza

1.2.1. Definición

La normativa ecuatoriana INEN 2262 (2013) define a la cerveza como “bebida de moderado contenido alcohólico, resultante de un proceso de fermentación controlado, por medio de levadura cervecera proveniente de un cultivo puro, en un mosto elaborado con agua de características

fisicoquímicas y bacteriológicas apropiadas, cebada malteada sola o mezclada con adjuntos, con adición de lúpulo y/o los derivados de lúpulo”

Dentro de los requisitos más relevantes se incluyen el uso de levadura de cultivo puro sin contaminantes, agua potable tratada adecuadamente y la inclusión de ingredientes adicionales seguros, como enzimas y colorantes naturales. Están prohibidos los alcoholes añadidos, edulcorantes artificiales, sustitutos del lúpulo, saponinas y colorantes artificiales. La cerveza debe tener un contenido alcohólico entre 1.0% y 10% v/v, pH de 3.5 a 4.8, y cumplir con límites específicos para metales como hierro, cobre y plomo. Para cervezas pasteurizadas, se establecen máximos de microorganismos anaerobios, mohos y levaduras. La clasificación de la cerveza abarca el grado alcohólico, extracto original, color, tipo de fermentación y la proporción de materias primas (INEN, 2013).

1.2.2. Tipos de cerveza

Lager: Es una cerveza de fermentación baja, en la cual las levaduras operan a temperaturas bajas y se depositan en el fondo del tanque de fermentación. Distinguida por su dulzura y sin aromas dominantes. Es la clase de cerveza más famosa en todo el mundo, debido a que su elaboración es a temperaturas bajas durante todo el año. Su composición usualmente incorpora maltas como la Pilsner (hasta un 100%), en ocasiones se adiciona también malta caramelo para potenciar el gusto. Este tipo de cerveza cumple con parámetros como: alcohol de 4-5.5%, color de 7-15 °EBC (Figura 6) y un amargor de 15-25 IBU. Es crucial supervisar la actividad de las enzimas en la malta durante el proceso de maceración para asegurar un proceso eficaz (Koljonen & Olli, 2019).

Figura 6. Escala de colores de la European Brewing Covention (EBC) para determinar el color de la cerveza.

EBC	Ejemplos de cervezas	Color de la cerveza
4	Pale Lager, Witbier, Pilsener, Berline Weisse	
6	Maibock, Blonde Ale	
8	Weißbier	
12	American Ale Pale, Indian Pale Ale	
16	Weißbier, Saison	
20	English Bitter, Extra Special Bitter	
26	Biere de Garde, Double IPA	
33	Dunkles Lager, Märzen, Amber Ale	
39	Brown Ale, Bock, Dunkelbier, Dunkelweizen	
47	Irish Dry Stout, Doppelbock, Porter	
57	Stout	
69	Foreign Stout, Baltic Porter	
79	Imperial Stout	

Fuente: Fernández (2016) citado por Arenas (2016).

Ale: El término "Ale" se refiere a la cerveza que se fermenta con cepas de levadura que se elevan a la superficie del tanque y fermentan a temperaturas que oscilan entre 15 y 20°C. Estas cervezas se caracterizan por poseer aroma y sabor ácidos, frecuentemente con un perfil complejo. En la mayor

parte del planeta, las ales se permiten madurar a una temperatura inferior durante un lapso de dos o más semanas (Cárdenas, 2021). Este tipo de cerveza contiene un grado de alcohol que varía entre el 3.5% y el 5.5%, un color que se encuentra entre 15 y 30 °EBC, y una amargura que oscila entre 20 y 30 IBU (Koljonen & Olli, 2019).

1.2.3. Ingredientes

Los ingredientes principales para la elaboración de la cerveza son agua, cebada malteada, lúpulo y levadura. El proceso para elaborar cerveza implica la extracción e hidrólisis de los carbohidratos de la cebada malteada para dar lugar a una solución azucarada, conocida como "mosto", que contiene nutrientes clave para el crecimiento de la levadura. Este mosto sirve como fuente de nutrientes para el crecimiento "anaeróbico" de la levadura. Durante la fermentación, la levadura consume azúcares simples, liberando calor y produciendo etanol junto con otros subproductos metabólicos que contribuyen al sabor de la cerveza. Durante el proceso de elaboración de la cerveza ocurren cambios que son impulsados por enzimas presentes naturalmente en la cebada y activadas durante la germinación y la levadura. El resto del proceso de elaboración implica principalmente cocción y enfriamiento del mosto, la separación y la clarificación, que solo producen cambios menores en la composición química en comparación con las reacciones catalizadas por enzimas. La cebada es capaz de producir las enzimas necesarias para hidrolizar el almidón, β -glucanos, pentosanos, lípidos y proteínas, que son los compuestos principales de interés para la elaboración de la cerveza (Willaert, 2012).

1.2.4. Proceso de elaboración

1.2.4.1. Malteado

El proceso de elaboración de cerveza comienza con granos maduros de cebada, con un contenido moderado de proteínas que puede oscilar entre 10 y 12 %. La primera fase de este proceso es el malteado que tiene como objetivo romper y permeabilizar las paredes celulares de β -glucano y las proteínas insolubles en el endospermo, para permitir que las enzimas accedan a los gránulos de almidón y convertir el almidón en azúcares solubles. Para ello, la cebada debe ser remojada, logrando aumentar su contenido de agua al 45%, lo cual estimula la respiración en el embrión y la producción de giberelinas, hormonas que promueven la producción de enzimas hidrolíticas. Durante la germinación, el grano se mantiene a unos 16°C, produciendo amilasas, proteasas y celulasas que hidrolizan almidón y proteínas, además de permeabilizar las paredes celulares. La malta húmeda se seca para detener la actividad enzimática y estabilizarla para el almacenamiento, a la vez que se eliminan sabores no deseados y se desarrollan sabores más atractivos. Las temperaturas de secado varían para producir diferentes tipos de maltas, desde maltas lager (hasta 85°C) hasta maltas Ale (100

°C), aportando una amplia gama de sabores, aromas y colores a la cerveza final (Hughes & Baxter, 2001).

1.2.4.2. Maceración

Antes del proceso de maceración, el grano seco debe ser triturado, para facilitar la accesibilidad de sus componentes internos. Luego, se mezcla con agua y se calienta para activar sus enzimas. Este proceso se caracteriza por la transformación del almidón en azúcares fermentables, pasando por tres etapas principales: gelatinización, en la cual el agua ingresa en los gránulos de almidón, separando sus cadenas de almidones (con temperaturas óptimas de 60 a 65 °C para la cebada y de 58 a 64 °C para el trigo); luego, la licuefacción, donde estas cadenas se fragmentan en dextrinas; y finalmente, la sacarificación, en la que las dextrinas se convierten en azúcares fermentables gracias a la acción de enzimas (Oddone, 2020). Posteriormente, se realiza una cocción a 100 °C con el lúpulo añadido. Durante este proceso, las proteínas se coagulan, se evaporan compuestos volátiles no deseados y se desarrolla el color, sabor y aroma necesarios para la fermentación (Aroh, 2019).

1.2.4.3. Fermentación

La fermentación de la cerveza se realiza entre los 7 y 13 °C para lagers y entre 16 y 18 °C para ales, donde la levadura se mezcla con el mosto en un recipiente. Durante la fermentación, la levadura metaboliza los azúcares, produce dióxido de carbono y alcohol etílico, además de compuestos volátiles que contribuyen al sabor. Las cepas de lager son de fermentación inferior, mientras que las de ale son de fermentación superior. Al final del proceso, la levadura se flocula y se separa del mosto. Una vez terminada la fermentación, el recipiente se puede enfriar a 0°C para que la levadura se asiente en el fondo y pueda ser separada en un proceso llamado trasiego (Hughes & Baxter, 2001).

1.2.4.4. Maduración

La cerveza recién producida contiene compuestos de sabor indeseables que deben ser eliminados durante la maduración. Durante este proceso, la pequeña cantidad de levadura que sigue en contacto con la cerveza tiene dos efectos. Primero, produce más dióxido de carbono, lo que carbonata la cerveza y elimina compuestos volátiles no deseados. Segundo, la levadura elimina químicamente ciertos componentes activos en el sabor. En particular facilita la reducción de diacetilos a dioles, compuestos que no tienen impacto en el sabor (Hughes & Baxter, 2001). En el proceso tradicional de maduración, se utiliza una temperatura cercana a cero, un pH bajo y una baja concentración de levadura, lo que requiere un período de maduración entre 3 y 4 semanas (Willaert, 2012).

1.2.4.5. Envasado

Tras el acondicionamiento, la cerveza puede ser centrifugada para remover la levadura residual, luego enfriada, filtrada y envasada en botellas, latas o barriles. Este proceso se conoce como cerveza acondicionada en la cervecería y constituye la mayor parte de la cerveza que se encuentra en el mercado actualmente (Hughes & Baxter, 2001).

1.2.5. Cerveza de trigo

Las cervezas de trigo son de fermentación alta, la mayoría de veces se elaboran a partir de una mezcla de trigo y cebada con una proporción 50:50. Dependiendo de la tradición de cada país, puede elaborarse con trigo malteado o no. Cuando no está malteado, proporciona un sabor a pan recién hecho, lo que le añade una característica distintiva a la cerveza (Koroluk, s.f.). Las cervezas de trigo, conocidas por su espuma muy pálida y su aspecto más claro en comparación con las cervezas lager, suelen ser turbias debido a la dificultad de filtrar el trigo. En Europa, estas cervezas se denominan "blancas", son de fermentación alta y no requieren largos períodos de almacenamiento (Beazley, 1993, p. 48). La diferencia que existe entre una cerveza de cebada y trigo se puede resumir en los siguientes aspectos (Tabla 1.2):

Tabla 1.2 Diferencias entre una cerveza de cebada y trigo

Aspectos	Cebada Malteada	Trigo Malteado
Estabilidad de la espuma	Baja	Alta
Estabilidad de la turbidez	Baja	Alta
Nitrógeno libre	Alta	Baja
Viscosidad	Baja	Alta

Fuente: Oddone (2020)

Existen tres tipos principales de cervezas de trigo. La cerveza Weizenbier, que contienen al menos un 50% de trigo, son conocidas por su aroma y sabor a clavo, gracias a la acción de las levaduras utilizadas. Por otro lado, tenemos la cerveza Weisse, que es especialmente refrescante, con un bajo contenido de alcohol y una acidez pronunciada. Por último, las cervezas Witbier contienen trigo no malteado y están especiadas con cáscara de naranja, añadiendo un toque distintivo a su sabor (Beazley, 1993).

1.2.5.1 Proceso de elaboración de cerveza de trigo

El proceso de elaboración de la cerveza de trigo tipo Weizenbier comienza con el quebrado del grano, procurando mantener la cáscara intacta para usarla como filtro. Luego, se mezcla la malta con agua en el tanque de maceración para liberar las enzimas. Las temperaturas de maceración varían, se puede comenzar a 30-40°C por 30 minutos, luego a 45-50°C por 50 minutos, y terminar a 60 °C por 10 minutos. Posteriormente, el mosto se filtra y se pasa al tanque de cocción, donde se mantiene por 60 a 90 minutos y se añade el lúpulo. Después, el mosto se enfría y se añaden levaduras específicas para cerveza de trigo para la fermentación, transformando los azúcares en alcohol y CO₂. Para la elaboración de cerveza Weizenbier se utiliza levadura de alta fermentación a 15-25°C por 4 a 6 días y se madura a 0-4°C por 3 días, diferenciándose de la lager pilsener, para la que se utiliza levadura de fermentación baja y requieren un proceso de maduración más largo (Sanlate, 2010, p. 10).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

La cebada (*Hordeum vulgare L*, var. Rita) y el trigo (*Triticum spp*, var. INIAP-Imbabura) empleados fueron cultivados en la provincia de Cañar, Ecuador. Adquiridas a la Asociación de Productores de Semillas y Alimentos Nutricionales “Mushuk Yuyay” (APROSANAMY), que se encuentra en la ciudad de Cañar, Ecuador.

Para la desinfección de las semillas se utilizó una dilución preparada a partir de hipoclorito de sodio comercial al 5% (Clorox, Guayaquil, Ecuador) y agua destilada obtenida en los laboratorios de Bioquímica de la Universidad del Azuay (UDA).

Para la elaboración de las cervezas se utilizó agua comercial y lúpulo Cascade (Beerland:6.3% A.A). Para la elaboración de cerveza de cebada se utilizó levadura Safale US-05, mientras que para la cerveza de trigo se usó la SafAle WB-06 de alta fermentación. Al final del proceso se añadió azúcar refinada (San Carlos, La Troncal, Ecuador).

2.2 Métodos

2.2.1 Limpieza y desinfección de las semillas de cebada y trigo

Las semillas, fueron sometidas a un proceso de limpieza y selección, en el cual se separaron los granos sanos de aquellos dañados, con el fin de reducir la carga microbiana. La clasificación se realizó de manera manual, utilizando un tamiz de 7 mesh para eliminar impurezas como pajillas, piedrecillas o granos partidos. Para la desinfección, se utilizó una solución de hipoclorito de sodio al 1.5%, en la que las semillas fueron sumergidas durante 5 minutos (Pastor, 2023). Posteriormente, las semillas fueron escurridas y enjuagadas con abundante agua, repitiendo el lavado varias veces hasta eliminar completamente el olor a cloro.

2.2.2 Remojo

Una vez desinfectadas, las semillas fueron sometidas a un proceso de remojo en agua destilada por 48 horas, con el propósito de facilitar la absorción de agua, hidratar sus tejidos internos y activar diversos procesos metabólicos (Pita & Pérez, 2009). Transcurridas las 24 horas, el agua fue reemplazada para mantener condiciones óptimas durante el remojo.

2.2.3 Germinación de las semillas de cebada y trigo

2.2.3.1 Proceso de germinación

El proceso de germinación de las semillas de cebada y trigo se llevó a cabo en una cámara climática de condiciones constantes (Memmert HPP260; Schwabach, Alemania), a una temperatura controlada de 17 ± 0.5 °C y una humedad relativa de $90\pm 1\%$ (Villacís, 2024). Las semillas de cebada fueron germinadas durante 6 días y las de trigo por 7 días.

El equipo cuenta con un sistema propio de regulación de humedad; sin embargo, fue necesario reducir la circulación de aire, puesto que durante las pruebas preliminares las semillas tendieron a secarse excesivamente, razón por la cual, se cubrieron los dos ventiladores inferiores del equipo utilizando láminas de acetato y se procedió a realizar un rociado Diario con agua destilada utilizando un atomizador.

2.2.3.2 Secado de las semillas

Una vez finalizado el proceso de germinación, las semillas se secaron a 41 °C por 48 horas. Se separaron las raicillas de las semillas mediante fricción manual y se eliminaron a través de un tamiz de 7 mesh. Las semillas se colocaron en fundas herméticas, se etiquetaron con las condiciones de germinación correspondientes para cada muestra y se almacenaron a 4°C.

2.2.4 Aplicación de diseño experimental y métodos multicriterio para optimización de cervezas elaboradas a partir de cebada y trigo

La aplicación de diseños experimentales durante el desarrollo y evaluación de alimentos permite disminuir la cantidad de experimentos necesarios y obtener información relevante para medir el impacto de los factores (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2012). Se elaboraron las cervezas aplicando un diseño experimental factorial 2^3 , cuyos valores se clasificaron entre -1 y +1, con cuatro réplicas en el punto central (0) (Tabla 2.1).

Los factores evaluados fueron: tiempo y temperatura de tostado de las semillas, y amargor proyectado (IBU) de la cerveza (Tabla 2.2).

Tabla 2.1 Diseño experimental 2³ con cuatro réplicas al punto central

Número de muestra	Tiempo de tostado	Temperatura de tostado	Amargor proyectado (IBU)
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0

Tabla 2.2 Condiciones del diseño experimental para la optimización de cervezas de cebada y trigo

Variable	Tiempo de tostado (min)	Temperatura de tostado (°C)	Amargor proyectado (IBU)
-1	20	140	15
0	30	170	19
+1	40	200	23

2.2.5 Elaboración de cerveza

2.2.5.1 Cerveza de cebada y trigo

Para la elaboración de la cerveza una parte de las semillas de cebada se utilizó como malta base. Estas semillas poseen una elevada actividad enzimática, fundamental para la elaboración de la cerveza y que se perdería si fueran sometidas a un proceso de tostado. Estas semillas de cebada fueron utilizadas como malta base tanto para las cervezas de cebada, como para las de trigo. Otra parte de las semillas, tanto de trigo como de cebada, se tostaron en un horno (Unox Bakertop Mind Lievox 8 XEBPC-08EUB, Cagliari, Italia), de acuerdo al diseño experimental, con una ventilación de nivel 1. Las semillas se distribuyeron sobre bandejas dentro del horno y se movieron con una espátula cada 5 minutos para que el tostado sea uniforme. La temperatura y tiempo de tostado fueron aplicados de acuerdo al diseño experimental establecido (Tablas 2.1 y 2.2).

Se mezclaron las maltas en una proporción 80:20 y 50:50 (malta base: malta tostada) para las cervezas de cebada y trigo, respectivamente. Cada muestra se elaboró con 1 kg de granos.

2.2.5.1.1 Molienda

Las maltas fueron trituradas (Imagen 2.1) empleando un molino de dos rodillos (Mighty Mill MILL352, USA), con una separación de 0.89 mm entre ellos. Este proceso permitió una ruptura adecuada de la estructura del grano con el objetivo de facilitar la extracción de azúcares fermentables que se encuentran en su interior.



Imagen 2.1. Proceso de triturado

2.2.5.1.2. Maceración

La malta triturada fue colocada en una bolsa de algodón para facilitar su filtración. Se sumergió en 4 litros de agua previamente calentada a 75 °C (Imagen 2.2). Durante el proceso de maceración, se controló que la temperatura se mantuviera entre 63 y 65 °C. Si la temperatura fuera inferior, la actividad enzimática sería menor. En cambio, si la temperatura superara los 65°C las enzimas se inactivarían, disminuyendo su efecto sobre los almidones (Ferreyra, 2014). Cada 15 minutos se recirculó el macerado, para disminuir la cantidad de partículas en suspensión que se extraigan durante el proceso. La maceración duró una hora, aproximadamente, y se determinó su culminación a través de la prueba de lugol.



Imagen 2.2. Macerado de la malta de cebada

Una vez finalizado el proceso de maceración, se retiró el mosto y se enjuagaron los granos retenidos en la bolsa (Imagen 2.3) utilizando 500 mL de agua a 75 °C, con el fin de extraer la mayor cantidad de azúcares y compuestos aromáticos y gustativos presentes, que no hayan sido arrastrados con el mosto. Además, este proceso permitió recuperar parte del agua perdida durante la maceración. Se midió el volumen final del mosto con el fin de calcular la cantidad de lúpulo a incorporar.



Imagen 2.3 Lavado de la malta

2.2.5.1.3 Cocción

El mosto se llevó a ebullición por 60 minutos. Se adicionó el lúpulo una vez alcanzado el punto de ebullición. La cantidad de lúpulo a adicionar en cada muestra varió según el diseño experimental (Tablas 2.1 y 2.2). Este valor debe ser determinado a partir del volumen del mosto (Cervezomicón, 2016) aplicando la ecuación 1:

$$\text{Lúpulo (g)}: \frac{IBU * V * CrD}{TA * \%AA * 1000} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- IBU: Unidades Internacionales de amargor. Expresa el nivel de amargor deseado.
- TA: Factor de aprovechamiento de lúpulo, este dato se obtiene a partir de una tabla específica, la cual permite estimar la tasa de aprovechamiento del lúpulo según diversas condiciones del proceso (Cervezomición, 2016).
- %AA: Contenido de alfa-ácidos del lúpulo, este valor es proporcionado por el distribuidor y suele encontrarse impreso en la etiqueta de la bolsa de lúpulo.
- V: Volumen del mosto final, expresado en litros.
- CrD: Corrector de la densidad.

Si la densidad del mosto antes de la cocción es menor a 1.050 g/mL, el factor de corrección (CrD) es 1; por el contrario, si su densidad es superior a dicho valor, el factor de corrección será mayor a 1 y se calcula con la ecuación 2:

$$CrD = 1 + \frac{(Densidad\ antes\ del\ hervido - 1.050)}{0.2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Se utilizó lúpulo Beerland (Alfa-ácidos 6.3%) para aportar aroma y amargor. Al inicio de la ebullición se añadió la cantidad del lúpulo calculada según la Ecuación 1 para alcanzar el amargor deseado en la cerveza. Faltando 10 minutos para culminar la cocción, se agregó un 50% adicional de lúpulo para aportar sustancias aromáticas (las sustancias aromáticas del lúpulo adicionado inicialmente se pierden durante la cocción y es necesario reemplazarlas). Una vez finalizado este proceso se enfrió el mosto en baño maría con agua helada hasta alcanzar una temperatura de 20°C (Imagen 2.5).



Imagen 2.4 Enfriamiento del mosto

2.2.5.1.4. Fermentación

Para la cerveza de cebada se utilizó la levadura SafeAle US 05, Fermentis la cual se activó con agua a un rango de temperatura entre 18 a 20 °C, mientras que para la cerveza de trigo se utilizó la levadura SafAle WB-06 de alta fermentación, esta se activó con agua a una temperatura de entre 27 a 29 °C, para luego agregar al mosto y así iniciar la etapa de fermentación en ambos casos (Imagen 2.6). La cantidad de levadura varía según cada experimento (Tabla 2.1). En ambos casos, el agua fue esterilizada previamente y luego atemperada de acuerdo a la necesidad específica de cada tipo de cerveza.



Imagen 2.5 Adición de levadura

Los recipientes que se utilizaron para la fermentación fueron de 4 litros, los cuales se desinfectaron previamente con amonio cuaternario para su posterior utilización. Se realizó un agujero en la parte superior de la tapa para colocar la trampa de aire (airlock) y permitir la salida de dióxido de carbono que se genera en la fermentación y también para evitar la entrada de oxígeno y agentes contaminantes (Malba Insumos Cerveceros, 2025).

El mosto fue trasvasado al recipiente plástico, donde se procedió a añadir la levadura. Inmediatamente, se colocó la tapa y la trampa de aire. El recipiente fue sellado con papel film de cocina y con papel aluminio en la parte superior de la tapa (Imagen 2.6). El ambiente se mantuvo lo más estéril posible.



Imagen 2.6 Recipiente de fermentación

Para la cerveza de cebada y trigo se estableció un tiempo de fermentación de 7 días, mientras que para la cerveza de trigo fue de 6 días (Palmer, 2006; Sanlate, 2010).

2.2.5.1.5. Maduración

Pasado el tiempo de fermentación, la cerveza fue envasada en botellas ámbar de 330 mL, previamente esterilizadas. Se añadió una pequeña cantidad de azúcar (1.65 g), que es necesaria para llevar a cabo la gasificación natural durante el periodo de maduración. Según Oddone (2018) para la cerveza tipo Ale, la carbonatación final debe alcanzar 2.20 volúmenes de CO₂. El primer paso consiste en calcular el volumen de CO₂ ya está disuelto en la cerveza. Dado que la fermentación se llevó a cabo a una temperatura ambiente de 20 °C, se considera que hay aproximadamente 0.88 volúmenes de CO₂ disuelto. Por lo tanto, se necesita generar 1.32 volúmenes adicionales de CO₂. De acuerdo con la misma fuente, 1.30 volúmenes de CO₂ es igual a 2.55 gramos por litro. Como cada gramo de azúcar puede liberar 0.463 gramos de CO₂, se requieren 5.50 gramos de azúcar por litro para alcanzar la cantidad necesaria de gas en la cerveza. En este caso se utilizaron botellas de 300 ml, añadiendo 1.65 gramos de azúcar por botella para lograr la carbonatación deseada

Las botellas fueron envasadas utilizando equipo de venoclisis y selladas herméticamente para luego ser colocadas en una bodega a temperatura ambiente. El tiempo de maduración para la cerveza de cebada fue de 4 semanas (Willaert, 2012) mientras que para la cerveza de trigo fue 15 días (Sanlate, 2010).

2.2.6 Análisis fisicoquímicos

Se midió el porcentaje de sólidos solubles al final de cada proceso: maceración, fermentación y maduración. Se utilizó un refractómetro digital (Pocket Refractometer Pal-1, Tokio, Japón) usando

agua como blanco para la calibración. Se tomó una muestra de cada cerveza y se colocó en el prisma del refractómetro para obtener el resultado en grados Brix. La medición se realizó por triplicado luego de la maduración para calcular su densidad aplicando la ecuación 2, valor que servirá para calcular la cantidad de lúpulo a adicionar. También fue medida luego de la fermentación para verificar el consumo de los azúcares. Finalmente, se midió luego de la maduración para determinar esta característica en el producto de final.

Para la medición del pH en las cervezas elaboradas, se realizó previamente la desgasificación de cada muestra a ser evaluada, con el fin de evitar interferencias en la lectura. Se utilizó un pH-metro digital (JENWAY 3510 pH Meter, Stone, Reino Unido). Se tomó una alícuota de 15mL de cada experimento y se introdujo el electrodo del equipo en la muestra. El procedimiento se realizó por triplicado.

Se tomó una alícuota de cada experimento, dejando reposar las muestras durante unas horas con el fin de eliminar el gas residual. Posteriormente cada muestra se analizó con un colorímetro (Lovibond LC 100/SV, Dortmund, Alemania). Para la medición, se colocó cada muestra en la cubeta del equipo con una capacidad de 3.5 mL, asegurándose de posicionarla correctamente y cerrar la tapa superior para evitar interferencias lumínicas externas. Se registraron los parámetros de color L^* que representa la luminosidad, a^* y b^* , que corresponden a las coordenadas cromáticas en los ejes rojo-verde y amarillo-azul, respectivamente (Koren et al, 2020). La prueba fue realizada por triplicado.

Se utilizó un hidrómetro (LD Carlson; Ohio, Estados Unidos) para determinar la densidad de cada una de las muestras. Previamente, las muestras fueron desgasificadas y acondicionadas a una temperatura de 15°C. Luego se colocaron en una probeta de 250 ml, donde se sumergió el hidrómetro y se leyó el valor en la escala correspondiente.

2.2.7 Análisis sensorial

Se realizaron pruebas sensoriales preliminares de olor, color y sabor a un grupo de 25 personas en los laboratorios de análisis sensorial de la Universidad del Azuay, con el propósito de evaluar su sensibilidad frente a estos estímulos. En la prueba de olor, a cada participante se le entregaron cuatro muestras aromáticas (banana, manzana roja, guanábana y frutos rojos) aplicadas en motas de algodón, que debían ser identificadas y registradas en la ficha según el código correspondiente. Para la prueba de color se entregaron dos conjuntos de tubos de ensayos con diferentes intensidades de colores. En el primer conjunto debían ordenar los tubos desde el color amarillo de menor intensidad hasta el azul de mayor intensidad, mientras que para el segundo debían organizar desde el color rojo hasta el azul. Para la evaluación de sabores se entregaron soluciones que representaban los sabores básicos: dulce, salado, umami y amargo, cada una debidamente codificada, los panelistas debían identificar el sabor

que predomina en cada una. Cada prueba fue calificada de manera individual, y con base en los resultados obtenidos, se seleccionaron 12 participantes con las puntuaciones más altas para conformar el panel de jueces. Posteriormente, los panelistas recibieron capacitación sobre las principales características sensoriales de la cerveza. También se les explicó detalladamente cómo calificar cada característica de las muestras y cómo completar la ficha de evaluación, la cual utilizó una escala hedónica de siete puntos, en la que “1” indicaba una baja calificación (me disgusta mucho) y “7” una alta aceptación (me gusta mucho) (Anexos 1 y 2).

Cada panelista recibió alrededor de 15 mL de cada muestra, servidos en vasos plásticos transparentes de 2 onzas. Los parámetros evaluados fueron apariencia (color, turbidez, relación espuma-volumen, persistencia de la espuma, aromas identificados, gustativos (dulzor, amargor, acidez, astringencia, gusto y retrogusto), y textura (cuerpo, carbonatación, astringencia). Además, se consideró la impresión general de la bebida, expresada como su aceptabilidad global.

2.2.8 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y sensoriales fueron tabulados en Microsoft Excel para su posterior interpretación. A partir de las respuestas obtenidas en la evaluación sensorial, se calcularon las medianas de cada parámetro evaluado por muestra, conformando una matriz de medianas que permitió ordenar los resultados y facilitar su análisis comparativo entre las diferentes muestras.

La matriz fue ingresada en el programa DART 2.0 (Talete srl (2007), Milán, Italia), donde cada parámetro fue ponderado (Tabla 2.3) y se aplicó una función exponencial creciente para calcular la función de utilidad correspondiente a cada muestra. La función de utilidad se encuentra en un rango de 0 a 1 (aunque también puede expresarse de forma porcentual). Mientras más cercana a 1 sea la función de utilidad, mayor será su aceptabilidad en el caso de las cervezas de este estudio. Se suele considerar que, cuando su valor es mayor a 0.6, este índice es positivo. De todas formas, este valor es referencial y depende de la matriz que se esté evaluando.

En el software estadístico Minitab se cargaron los valores correspondientes a las funciones de utilidad obtenidas a partir del análisis sensorial. Para el caso de la cerveza de cebada, se trabajó con un nivel de confianza del 95%, mientras que para la cerveza de trigo se empleó un nivel de confianza del 90%. Se analizó el diseño con las funciones de utilidad de cada experimento y se obtuvieron los valores p del programa, tanto para las variables individuales como para las interacciones entre factores. Esta revisión tuvo como objetivo identificar cuáles de estas variables e interacciones presentaban una influencia significativa sobre la respuesta sensorial. Posteriormente, se analizó la ecuación de respuesta obtenida, la cual permitió visualizar el efecto de cada variable independiente

sobre la función de utilidad. En este punto, se interpretaron los signos positivos (+) y negativos (-) de los coeficientes, lo cual facilitó comprender cómo cada factor contribuye a la mejora del producto final.

Tabla 2.3. Ponderación de los atributos para la optimización de las cervezas de cebada y trigo

Ponderación	Parámetros	Ponderación
Y1	Color	7.5
Y2	Turbidez	7.5
Y3	Relación espuma volumen	7.5
Y4	Persistencia de la espuma	7.5
Y5	Aroma	6
Y6	Intensidad	5
Y7	Persistencia	4
Y8	Dulzor	6
Y9	Amargor	7
Y10	Acidez	7
Y11	Gusto	12
Y12	Regusto	6
Y13	Cuerpo	4
Y14	Carbonatación	6
Y15	Astringencia	7
Y16	Aceptabilidad general	10

2.2.9 Optimización de cervezas de cebada y trigo

Se aplicó el método de máxima pendiente para la optimización de las cervezas de cebada y de trigo. Se calcula la nueva coordenada experimental, que constituirá el primer punto de optimización, aplicando la Ecuación 3. Si se requirieran nuevos puntos experimentales para la optimización, se aplica la misma ecuación.

Nueva coordenada de cada variable significativa: $Coeficiente * K + Po$ (Ecuación 3)

El coeficiente corresponde al valor de cada variable significativa, obtenida en la ecuación respuesta proporcionada por Minitab, considerando su signo. K representa la distancia de desplazamiento en la dirección de la máxima pendiente. A mayor valor de K, más distanciado se encuentra la nueva coordenada experimental, respecto al punto inicial. En este caso concreto se optó por un valor de K=5 para ambas cervezas. Finalmente, Po representa la coordenada del punto inicial, que es aquella del experimento con mejor función de utilidad. Este procedimiento se realiza para cada

variable significativa, obteniéndose las nuevas coordenadas experimentales para cada una de ellas. A partir de estas nuevas coordenadas, se calculan por interpolación o extrapolación, cuáles son las nuevas condiciones reales de experimentación.

Se realizó el Análisis de la varianza (ANOVA) y el análisis de la t de Student para identificar diferencias significativas utilizando el programa Statgraphics. Los parámetros evaluados para estos análisis fueron medidos por triplicado. La t de Student fue utilizada para el análisis de diferencias significativas entre dos muestras, que fueron las optimizadas respecto a las de mejor función de utilidad del diseño experimental original. Los resultados se representaron con asteriscos, donde “*”, “**”, “***” representan diferencias significativas al 95, 99 y 99.9% de seguridad, respectivamente. Por otro lado, ANOVA nos permitió reconocer las diferencias significativas al comparar más de dos muestras y fue utilizado en el análisis de los parámetros fisicoquímicos, entre las muestras del diseño experimental.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis físicos químicos

3.1.1 Contenido de sólidos solubles

Luego de la maceración, la muestra con mayor concentración de sólidos solubles fue C8, mientras que el valor más bajo se midió en C7 (Tabla 3.1). Estas muestras tienen la misma temperatura de tostado (200 °C) pero difieren en el tiempo de tostado (40 y 20 minutos respectivamente). Un resultado mayor a 10 °Brix luego de la maceración, indica una adecuada extracción de azúcares fermentables, lo que permitirá continuar con la siguiente fase del proceso. En caso de obtener un valor inferior o coloración oscura en la prueba de lugol, se requiere extender el tiempo de maceración. Un estudio realizado por Bastos dos Santos et al. (2019) demostraron que el mosto de la malta pura puede alcanzar un contenido de 11 °Brix, similar a los valores reportados en este estudio. De todas formas, proponen incrementar el tiempo de ebullición para favorecer una mayor extracción de azúcares disponibles para la fermentación.

Tabla 3.1 Sólidos solubles cerveza de cebada

Muestra	Volumen (Litros)	Sólidos solubles (°Brix)		
		Macerado	Fermentación	Maduración
C1	3.15	11.2	5.8	6.0
C2	3.26	10.7	5.1	5.7
C3	2.28	11.0	6.1	6.1
C4	3.23	10.9	6.2	6.3
C5	2.92	10.7	4.9	5.5
C6	3.00	10.9	6.1	5.9
C7	2.94	10.2	4.9	5.5
C8	3.50	11.6	6.6	6.6
C9	3.39	10.5	5.7	5.7
C10	3.21	11.9	6.0	6.2
C11	3.40	12.9	6.4	6.7
C12	3.04	10.2	5.1	5.5

En el caso del trigo, durante la etapa de maceración, se observó que las muestras tratadas a menor temperatura presentaron la mayor concentración de sólidos solubles, mientras que las muestras tratadas a mayor temperatura mostraron los valores más bajos, mientras que el tiempo de tostado parece no influir significativamente en este parámetro. Estas diferencias pueden deberse a que, en el

proceso del malteado del trigo, las temperaturas de secado más altas disminuyen el contenido de humedad del grano, dificultando la accesibilidad de los azúcares reductores en su interior. Lo cual influyó también en el tiempo de maceración aplicado, puesto que se debía alcanzar al menos los 10 °Brix.

Tabla 3.2 Sólidos solubles cerveza trigo

Muestra	Volumen (Litros)	Sólidos solubles (°Brix)		
		Macerado	Fermentación	Maduración
T1	3.25	11.7	6.6	6.7
T2	3.25	11.9	6.3	6.1
T3	3.37	10.8	5.8	6.1
T4	3.35	10.6	6.2	6.2
T5	3.00	11.5	6.2	6.6
T6	3.21	11.1	6.5	6.6
T7	3.27	11.4	6.3	6.3
T8	3.22	10.5	6.5	6.7
T9	3.29	11.2	5.8	6.0
T10	3.22	10.6	5.8	5.9
T11	3.27	10.9	5.5	5.7
T12	3.24	11.6	6.9	6.6

Durante la etapa de fermentación, las muestras de cebada y trigo mostraron una disminución en la concentración de sólidos solubles de alrededor del 50% en comparación con los valores registrados tras la maceración. Las muestras presentaron un rango de sólidos solubles de 4.9-6.6 °Brix para la cebada y 5.5-6.6 °Brix para trigo, mostrando una diferencia de 1.7 y 1.1 °Brix, respectivamente. El proceso de fermentación resulta en una disminución de sólidos solubles a medida que los azúcares se convierten en etanol, dióxido de carbono y energía en forma de ATP, siendo la concentración inicial de azúcares fermentables un factor determinante en la concentración final de alcohol (Granada-Díaz & Grosso, 2020). La diferencia en los resultados podría atribuirse a las distintas concentraciones iniciales de sólidos solubles derivadas del proceso de maceración.

En la maduración, las muestras de la cerveza de cebada (Tabla 3.1) con menor concentración de sólidos solubles fueron C5 y C7 que presentan el mismo tiempo de tostado (20 minutos) pero diferente temperatura de tostado (140 °C y 200°C). Al contrario, las muestras con mayor concentración de sólidos solubles fueron C8 y C4, que fueron elaboradas con las maltas tostadas a mayor tiempo y temperatura (40 minutos por 200 °C). Así mismo, las muestras de la cerveza de trigo (Tabla 3.2) tienden a presentar un ligero incremento en la concentración de sólidos solubles después

de la maduración respecto a la fermentación. Luego de la fermentación se adiciona una pequeña cantidad de azúcar a las botellas (1.65g) para mejorar la carbonatación y que serán consumidos por las levaduras (Stulíkova, et al., 2020); es decir, se produce una fermentación secundaria de estos azúcares y otros residuales que aún están presentes en la cerveza (Boto & Boto, 2017).

3.1.2 Medición de pH

Las muestras C4 y C5 son aquellas que presentan los valores más altos de pH con respecto a las demás, es decir son aquellas que se perciben como menos ácidas. Cabe recalcar que estas dos muestras presentan diferentes condiciones de temperatura y tiempos de tostado de la malta: 40 minutos a 200 °C (C4) y 20 minutos a 140 °C (C5). Todas las muestras se encuentran en un rango de pH de 3.86 a 4.02, presentando la diferencia máxima de pH de 0.016. En cuanto al trigo, las muestras T3 y T7 presentaron los mayores valores de pH, teniendo iguales condiciones experimentales: 20 minutos de tostado a 200 °, esto podría reflejar que a menor tiempo y mayor temperatura de malteado se observa un mayor pH. En cambio, las muestras T4 y T6 presentan menor valor de pH, estas muestras tienen mayor tiempo malteado (40 minutos), lo que nos podría indicar que el tiempo de malteado provoca un menor valor de pH. Así mismo, los valores de pH para los dos tipos de cerveza (Tabla 3.3) se ubicaron dentro de los límites permitidos por la norma INEN 2262:2013, comprendidos entre 3.5 y 4.8.

Tabla 3.3 pH y densidad de las cervezas de cebada y trigo

Cerveza de cebada			Cerveza de trigo		
Muestra	pH	Densidad (g/mL)	Muestra	pH	Densidad (g/mL)
C1	3.890±0.005 ^b	1.006±0.1 ^a	T1	3.834±0.001 ^h	1.006±0.1 ^c
C2	3.963±0.005 ^e	1.006±0.1 ^a	T2	3.836±0.001 ⁱ	1.008±0.1 ^d
C3	3.966±0.003 ^e	1.008±0.1 ^b	T3	3.927±0.002 ^k	1.006±0.1 ^c
C4	4.019±0.002 ^g	1.010±0.1 ^c	T4	3.770±0.001 ^e	1.008±0.1 ^d
C5	4.021±0.001 ^g	1.006±0.1 ^a	T5	3.832±0.001 ^g	1.006±0.1 ^c
C6	3.952±0.001 ^d	1.006±0.1 ^a	T6	3.613±0.001 ^a	1.006±0.1 ^c
C7	3.950±0.005 ^d	1.008±0.1 ^b	T7	3.886±0.001 ^j	1.006±0.1 ^c
C8	3.908±0.002 ^c	1.010±0.1 ^c	T8	3.826±0.001 ^f	1.010±0.1 ^e
C9	3.967±0.012 ^e	1.006±0.1 ^a	T9	3.698±0.001 ^c	1.005±0.1 ^b
C10	3.991±0.001 ^f	1.008±0.1 ^b	T10	3.676±0.001 ^b	1.006±0.1 ^b
C11	3.862±0.001 ^a	1.008±0.1 ^b	T11	3.713±0.001 ^d	1.006±0.1 ^a
C12	3.861±0.001 ^a	1.006±0.1 ^a	T12	3.836±0.001 ⁱ	1.005±0.1 ^b

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras (LSD, n=3)

Por otro lado, las muestras C4 y C8 presentaron una densidad final ligeramente superior en comparación con las demás, diferencia que puede estar relacionada con el proceso de malteado de las semillas. La muestra T8 presenta una densidad final ligeramente mayor en comparación con las demás muestras. De todas formas, la diferencia máxima de densidad entre las muestras es de 0.005g/mL. Estas pequeñas variaciones en las muestras se deben principalmente al tratamiento de malteado y variaciones propias del proceso de maceración, ya que en esta etapa se extraen los compuestos necesarios del mosto para la fermentación (Monge, 2016). Por otro lado, la disminución de la densidad final de la cerveza se debe a un proceso conocido como atenuación, el cual ocurre durante la fermentación, cuando los azúcares son consumidos, provocando así un descenso en la densidad (Hough, s.f).

3.1.3 Análisis de Colorimetría

Las muestras C3, C4, C7 y C8 son muestras que tienen en común una mayor temperatura de tostado (200 °C) y son más oscuras y rojizas que las tratadas a menores temperaturas (Tabla 3.4). El parámetro b* no permite una visualización muy clara de los efectos de las variables analizadas. De modo similar, las cervezas de trigo tostadas a mayor temperatura (200 °C) son más oscuras.

Tabla 3.4 Colorimetría cerveza de cebada

Muestra	L	a*	b*
C1	37.6±0.36 ^d	21.90±0.1 ^f	48.37±0.15 ^c
C2	50.67±0.05 ^g	11.30±0.15 ^a	48.93±0.15 ^c
C3	31.30±0.17 ^b	24.37±0.21 ^h	44.03±0.23 ^b
C4	29.53±0.25 ^a	27.27±0.06 ⁱ	42.27±0.40 ^a
C5	38.90±1.28 ^e	17.67±0.32 ^b	43.90±0.46 ^b
C6	35.67±0.46 ^c	22.80±0.30 ^g	48.20±0.56 ^c
C7	35±0.62 ^c	24.23±0.32 ^h	50.83±0.61 ^d
C8	29.53±0.25 ^a	28.57±0.21 ^j	42.57±0.35 ^a
C9	43.67±1.45 ^f	17.47±0.40 ^b	53.37±1.55 ^e
C10	42.67±0.06 ^f	19.27±0.06 ^d	54±0.26 ^c
C11	43.20±0.1 ^f	18.43±0.06 ^c	53.90±0.26 ^c
C12	43.63±0.23 ^f	20.27±0.25 ^e	53.70±0.1 ^c

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras (LSD, n=3)

En cambio, las muestras T4 y T8 (Tabla 3.5) presentan valores más bajos de L, a* y b*, lo cual se relaciona con su elaboración bajo las condiciones más intensas del diseño experimental, en tiempo y temperatura de tostado. Estas muestras serían: más oscuras, menor rojizas y amarillas. El color oscuro se debe a la prolongada exposición de la malta a altas temperaturas, que favorece el

desarrollo de productos de reacción de Maillard y la caramelización durante la cocción del mosto, responsables del oscurecimiento en el color de las muestras (Kunze, 2006; Morales, 2018).

Tabla 3.5 Colorimetría cerveza de trigo

Muestra	L	a*	b*
T1	47.4±0.10 ^h	14.67±0.25 ^c	50.23±0.25 ^g
T2	34.37±0.23 ^g	26.07±0.06 ^e	47.67±0.47 ^f
T3	21.8±0.44 ^d	30±0.10 ^k	29.3±0.27 ^d
T4	3.70±0.20 ^a	8±0.27 ^b	0.57±0.25 ^a
T5	48.9±0.17 ⁱ	15.67±0.06 ^d	55.4±0.17 ^h
T6	31.77±0.50 ^f	26.6±0.44 ^f	42.97±2.36 ^e
T7	19.20 ± 0.20 ^b	28.37±0.06 ⁱ	23.03±1.55 ^b
T8	3.70 ± 0.27 ^a	2.33±0.40 ^a	-0.77±0.115 ^a
T9	22.83±0.15 ^e	29.5±0.06 ^j	30.23±0.90 ^d
T10	22.03±0.15 ^d	27.7±0.10 ^h	29.93±0.12 ^d
T11	20.33±0.32 ^c	27.23±0.21 ^g	26.67±0.59 ^c
T12	20.77±0.21 ^c	30.40±0.17 ^l	25.43±0.06 ^c

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras (LSD, n=3)

3.1.4 Análisis sensorial

Con base en los resultados obtenidos del análisis sensorial, se procedió a tabular la información en Microsoft Excel y a construir las matrices de medianas para cada atributo por muestra (Anexos 3 y 4).

3.1.5 Análisis estadístico

La aceptabilidad de las muestras se relaciona con la función de utilidad, para ello se estima que valores superiores a 0.6 presentan una buena aceptabilidad por parte de los consumidores (Pavan & Todeschini, 2008). Las muestras con mayor función de utilidad de la cerveza de cebada fueron C1 y C3 mientras que C2 y C6 fueron las menores (Tabla 3.6). Al analizar las muestras, C1 y C3 presentan mismo tiempo de tostado (20 minutos); pero difieren en la temperatura. Las muestras con menores valores de función de utilidad son aquellas que fueron elaboradas con las combinaciones de tiempo de tostado máximo y temperatura de tostado mínimo. Sin embargo, todas las muestras tuvieron funciones de utilidad superiores a 0.7. Se puede decir que las muestras con valores mínimos en las variables analizadas según el diseño experimental obtienen las mejores respuestas de aceptabilidad mientras que las muestras con valores máximos de tiempo de tostado tienen una menor función de utilidad. Las réplicas de los puntos centrales también resultaron aceptables con valores superiores a 0.8.

Tabla 3.6 Función de utilidad del análisis sensorial de la cerveza de cebada

Muestra	Tiempo de tostado	Temperatura de tostado	Amargor proyectado (IBU)	Función de utilidad
C1	-1	-1	-1	0.856
C2	+1	-1	-1	0.798
C3	-1	+1	-1	0.849
C4	+1	+1	-1	0.809
C5	-1	-1	+1	0.807
C6	+1	-1	+1	0.756
C7	-1	+1	+1	0.756
C8	+1	+1	+1	0.810
C9	0	0	0	0.815
C10	0	0	0	0.809
C11	0	0	0	0.816

Se determinaron los valores p de las variables y sus respectivas interacciones para ambas cervezas, utilizando el software estadístico Minitab. En el caso de la cerveza de cebada (Tabla 3.7), las variables e interacciones significativas se obtuvieron al 95% de nivel de confianza ($p < 0.05$). De acuerdo a los resultados obtenidos, las tres variables analizadas fueron significativas: tiempo y amargor proyectado de forma individual y a través de interacciones, mientras que la temperatura de tostado es significativa por su interacción con el tiempo y por la interacción triple, así las interacciones significativas son: Tiempo de tostado*Temperatura de tostado, Tiempo de tostado*amargor proyectado y Tiempo de tostado*Temperatura de tostado*amargor proyectado. Las tres variables y sus interacciones forman la ecuación de la función de utilidad (Ecuación 4) y todas ellas deben ser optimizadas. Esta es una ventaja de este diseño experimental respecto a otros como el de Plackett-Burman que evalúa las variables de forma individual y puede omitir variables que sean significativas por efecto de sus interacciones, descartándolas a pesar de su importancia y, por ende, no considerarlas durante el proceso de optimización.

Tabla 3.7 Nivel de significancia al 95% de las variables e interacciones para la cerveza de cebada

Factor	Valor p
Tiempo de tostado	0.002
Temperatura de tostado	0.580
Amargor proyectado	0.003
Tiempo de tostado*temperatura de tostado	0.007
Tiempo de tostado*amargor proyectado	0.011
Temperatura de tostado*amargor proyectado	0.934
Tiempo de tostado*temperatura de tostado*Amargor proyectado	0.015

$$F(U) = 0.80512 - 0.01187 \text{ Tiempo de tostado} + 0.00088 \text{ Temperatura de tostado} - 0.02288 \text{ Amargor proyectado} + 0.01538 \text{ Tiempo de tostado*Temperatura de tostado} + 0.01262 \text{ Tiempo de tostado*Amargor proyectado} + 0.01088 \text{ Tiempo de tostado*Temperatura de tostado*Amargor proyectado}$$

(Ecuación 4)

Para el caso de las cervezas de trigo, las muestras con mayor función de utilidad fueron T1 y T5 (Tabla 3.8), mientras que la muestra T8 fue la menor. Se puede observar que, en las condiciones experimentales, T1 y T5 compartieron los mismos parámetros de tostado: 20 minutos a 120 °C. Por otro lado, las muestras con menor función de utilidad (T8 y T4) fueron elaboradas bajo las condiciones más intensas de tiempo y temperatura de tostado. De todas formas, casi todas las muestras obtuvieron valores superiores a 0.6, lo que indica una aceptabilidad general positiva. Incluso, los puntos centrales también fueron bien valorados por las panelistas.

Tabla 3.8 Función de utilidad del análisis sensorial de la cerveza de trigo

Muestra	Tiempo de tostado	Temperatura de tostado	Amargor proyectado (IBU)	Función de utilidad
T1	-1	-1	-1	0.788
T2	+1	-1	-1	0.737
T3	-1	+1	-1	0.749
T4	+1	+1	-1	0.678
T5	-1	-1	+1	0.784
T6	+1	-1	+1	0.737
T7	-1	+1	+1	0.675
T8	+1	+1	+1	0.560
T9	0	0	0	0.710
T10	0	0	0	0.639
T11	0	0	0	0.678
T12	0	0	0	0.705

Para la cerveza de trigo se prefirió trabajar con variables e interacciones significativas al 90% de nivel de confianza ($p < 0.1$), debido a que, al 95% resultaba significativa solamente la temperatura de tostado, mientras que al 90% también lo fue el tiempo de tostado. De todas formas, el tiempo de tostado casi fue significativa al 95% de confianza. Los valores p muestran que el amargor proyectado no fue significativo, ni ninguna de las interacciones estudiadas (Tabla 3.9). La ecuación respuesta se redujo a las variables significativas (Ecuación 5).

Tabla 3.9 Nivel de significancia al 90% de las variables e interacciones para la cerveza de trigo

Factor	Valor p
Tiempo de tostado	0.054
Temperatura de tostado	0.025
Amargor proyectado	0.123
Tiempo de tostado*temperatura de tostado	0.409
Tiempo de tostado*amargor proyectado	0.693
Temperatura de tostado*amargor proyectado	0.134
Tiempo de tostado*temperatura de tostado*amargor proyectado	0.638

$$F(U) = 0.7135 - 0.0355 \text{ Tiempo de tostado} - 0.0480 \text{ Temperatura de tostado} \text{ (Ecuación 5)}$$

3.1.6 Optimización de cervezas de cebada y trigo

Para la optimización de cervezas de cebada y trigo se obtuvieron nuevas coordenadas experimentales utilizando la ecuación 3, cuyos resultados se muestran en las tablas 3.10 y 3.11 para la cebada y trigo, respectivamente.

Tabla 3.10 Nuevas coordenadas experimental para la cerveza de cebada

Término	Po	Coficiente	K	Nueva coordenada
Tiempo de tostado	-1	-0.01187	5	-1.05935
Temperatura de tostado	-1	-0.00088	5	-1.0044
Amargor proyectado (IBU)	-1	-0.02288	5	-1.1144

Tabla 3.11 Nuevas coordenadas experimentales para la cerveza de trigo

Término	Po	Coficiente	K	Nueva coordenada
Tiempo de tostado	-1	-0.0355	5	-1.1775
Temperatura de tostado	-1	-0.0480	5	-1.2400

Estas coordenadas experimentales se traducen en nuevas condiciones experimentales para ambas cervezas (Tabla 3.12).

Tabla 3.12 Condiciones de los nuevos puntos para la elaboración de las cervezas de cebada (Opt C) y trigo (Opt T)

Muestra	Tiempo de tostado (min)	Temperatura de tostado (°C)	Amargor proyectado (IBU)
Opt C	19.40	139.42	14.54
Opt T	18.23	132.77	15.00

Debido a la precisión del horno, las temperaturas de tostado de las semillas tuvieron que ser redondeadas, así Opt C se tostó a 139 °C, mientras que Opt T se realizó a 133°C.

3.1.7 Análisis físico-químico de las de las cervezas optimizadas

La muestra Opt C tiene un pH ligeramente inferior a la mejor muestra experimental (C1); sin embargo, esta diferencia es significativa debido a la pequeña desviación estándar (Tabla 3.13). Por el contrario, la muestra Opt T mostró un valor de pH ligeramente superior al de la muestra T1, este aumento sugeriría una menor acidez en la cerveza. Es importante resaltar que todas las muestras

evaluadas, incluyendo las optimizadas de cebada y trigo, se encuentran dentro del rango permitido por la norma INEN 2262:2013 (pH entre 3.5 y 4.8).

Tabla 3.13 pH y densidad de las cervezas de cebada y trigo optimizadas

Cerveza de cebada			Cerveza de trigo		
Muestra	pH	Densidad (g/mL)	Muestra	pH	Densidad (g/mL)
C1	3.890±0.005***	1.006±0.001***	T1	3.834±0.001***	1.006±0.001***
Opt C.	3.861±0.001	1.008±0.001	Opt T.	3.942±0.001	1.008±0.001

*, **, *** representan diferencias significativas al 95, 99 y 99.9% de nivel de confianza

En cuanto a la densidad final de las muestras, las dos optimizadas Opt.C y Opt.T fueron ligeramente más densas que las de referencia (C1 y T1, respectivamente); de todas formas, las diferencias fueron significativas debido a las bajas desviaciones standard encontradas. Esta diferencia puede estar relacionada con las nuevas condiciones experimentales. Las muestras optimizadas fueron sometidas a tiempos y temperaturas de tostado más bajos que las utilizadas en las muestras C1 y T1, por lo que estas condiciones menos intensas podrían haber permitido una mayor extracción de azúcares fermentables, posiblemente facilitando su accesibilidad e hidratación de los almidones, dando como resultado un incremento en la densidad final.

La luminosidad de ambas muestras optimizadas fue mayor que las de sus referencias (Tablas 3.14 y 3.15). Por el contrario, su tendencia al rojo fue menor. Por otro lado, la cerveza optimizada de cebada fue menos amarilla que la de referencia, mientras que la de trigo, no mostró diferencias significativas en este parámetro.

Tabla 3.14 Comparación de la colorimetría cerveza de cebada

Muestra	L	a*	b*
C1	37.6±0.36***	21.90±0.1***	48.37±0.15***
Opt C	58.80±0.46	4.10±0.61	37.40±0.30

*, **, *** representan diferencias significativas al 95, 99 y 99.9% de nivel de confianza

Estas diferencias de color tanto para Opt.C y Opt.T está relacionadas con las nuevas condiciones experimentales. En las muestras optimizadas no se favoreció significativamente el desarrollo de productos de la reacción de Maillard ni de la caramelización durante la cocción del mosto, procesos responsables del oscurecimiento característico del color en la cerveza, debido a que fueron a un tostado menos intenso.

Tabla 3.15 Comparación de la colorimetría cerveza de trigo

Muestra	L	a*	b*
T1	47.4±0.1***	14.67±0.25***	50.23±0.25
T Opt.	54.17±0.20	10.23±0.28	49.80±0.30

*, **, *** representan diferencias significativas al 95, 99 y 99.9% de nivel de confianza

3.1.8 Análisis estadístico de las muestras optimizadas

Se obtuvieron las funciones de utilidad de las muestras optimizadas y se compararon con la mejor muestra de los diseños experimentales (C1 y T1). El proceso de obtención de las funciones de utilidad de las muestras optimizadas fue realizado del mismo modo que se hizo para las muestras del diseño experimental. Las muestras optimizadas presentaron mejores valores de función de utilidad que todas las muestras experimentales realizadas, lo que evidencia una mejora notable en la percepción de la cerveza por parte de los evaluadores, a pesar de que su percepción de las muestras experimentales era ya buena (Tabla 3.16). La función de utilidad de la cerveza de cebada ascendió de 0.856 a 0.903, mientras que la de trigo pasó de 0.788 a 0.912. En conjunto, los datos respaldan una relación positiva entre las condiciones optimizadas del proceso y la preferencia del panel por las cervezas optimizadas.

Tabla 3.16 Función de utilidad de las cervezas optimizadas respecto a las mejores experimentales

Muestra	Utilidad	Muestra	Utilidad
C1	0.856	T1	0.788
Opt C	0.903	Opt T	0.912

Adicionalmente, al comparar las funciones de utilidad de ambas cervezas optimizadas, se observa que la muestra de trigo presenta un valor ligeramente superior (0.912) al de la cerveza de cebada optimizada (0.903). Esto sugiere que, si bien ambas optimizaciones mejoraron la aceptabilidad del producto, la cerveza de trigo fue la preferida por los evaluadores. Finalmente, cabe señalar que no se incluye un polinomio de la optimización de ninguna de las cervezas, puesto que ambas fueron optimizadas utilizando el método de máxima pendiente y no superficie de respuesta; es decir, la optimización consiste únicamente en las coordenadas de puntos con mejores funciones de utilidad que corresponden a las muestras Opt C y Opt T para la cebada y el trigo, respectivamente.

CONCLUSIONES

Las cervezas de cebada y trigo presentan una buena aceptabilidad sensorial por parte del panel de catación, aun antes de ser optimizadas. De todas formas, luego de la fase de optimización, su aceptabilidad ascendió a valores de 0.903 y 0.912 para las cervezas de cebada y trigo respectivamente.

Mayores temperaturas de tostado producen cervezas más oscuras y con mayores tendencias al rojo.

En el caso de la cerveza de cebada, las variables significativas fueron la temperatura, el tiempo y el nivel de amargor, así como varias interacciones. Por otro, para la cerveza de trigo, las variables que presentaron significancia fueron el tiempo y la temperatura durante el proceso de malteado, mientras que ninguna interacción fue significativa.

Las nuevas condiciones experimentales aplicadas en las cervezas de cebada y trigo demostraron ayudar a producir cervezas con mayor aceptabilidad en comparación de las mejores muestras originales, programadas en el diseño experimental planteado. Estas condiciones son de 139°C, por 19.40 minutos y 14.54 IBUs para la cerveza de cebada, mientras que para la de trigo fueron 133°C, por 18.23 minutos para la cerveza de trigo, independientemente del amargor en el rango experimental estudiado.

REFERENCIAS

- Abbate, P. E. (2017). El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo. En G.A. Divito y F.O. García (Eds.), *Manual del Cultivo de Trigo* (pp. 7-20). International Plant Nutrition Institute.
- Aroh, K. (2019). Review: Beer Production. *SSRN Electronic Journal*. Obtenido de <https://doi.org/10.2139/ssrn.3458983>
- Bamfort, C., Russel, I., Graham, S. (2008). *Beer: A Quality Perspective*. Handbook of Alcoholic Beverages Series.
- Bastos dos Santos, C., et al (2018). *CARACTERIZAÇÃO DO MOSTO PARA A PRODUÇÃO DE CERVEJA*. Universidade Estadual de Feira de Santana.
- Beazly, M. (1993). *Michael Jackson's Beer Companion: Lagers, Ales, Wheat Beers, Stouts, Fruit Beers, Porters, Steam Beers by Michael Jackson*. Duncan Baird Publishers
- Boto, J., Boto, M. (2017). *La cerveza. Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración*. Universidad de León. Consultado el 27 de mayo de 2025.
- Briggs, D. (1978). *BARLEY* (1ª ed.). Thomson Press (India) Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-5715-2>
- Cárdenas, E. (2021). *Guía Elaboración de Cerveza Tipo Ale*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/540950560/Guia-Elaboracion-de-Cerveza-Tipo-Ale>
- Cervezomicón (2016). Densidad – Cervezomicón. <https://cervezomicon.com/tag/densidad/>
- Fernandez, J. (2016). *Cerveza Artesanal*. Consultado el 06 de febrero de 2024. <http://cervezartesana.es/tienda/blog/el-color-de-la-cerveza-y-la-dictadura-del-color.html>
- Ferreyra, L. (2014). *Elaboración de cerveza: historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales* [Tesis]. <https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreyra-.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2024). *Trigo. Descripción de cultivos del clima*. Consultado el 28 de agosto de 2024.

- Granda-Díaz, H., & Grosso, G. (2020). Cinética del proceso de fermentación de mostos en la producción de cerveza. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(2) (pp. 9-21) <https://doi.org/10.23850/24220582.2889>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (2ª ed.). McGraw-Hil.
- Hornsey, S. (2003). *History of Beer and Brewing*. Royal Society of Chemistry. (RSC paperbacks)
- Hoseney, R.C. (2010). *Principles of cereal science and technology*. A General Reference on Cereals Food.
- Hough, J. S (s,f). *Biología de la cerveza y de la malta*. Ed. ACRIBIA S.A <http://www.bionica.info/biblioteca/HoughxxxBiologiaCerveza.pdf>
- Hughes, P., & Baxter, D. (2001). *BEER: QUALITY, SAFETY AND NUTRITIONAL ASPECTS* (1ª ed., Vol. 1). The Royal Society of Chemistry.
- Indexmundi (2023). *Consumo doméstico de Cebada en Ecuador* [Imagen adjunta].
Indexmundi.com.<https://www.indexmundi.com/AGRICULTURE/?pais=ec&producto=cebada&variable=consumo-domestico&l=es>
- Indexmundi (2023). *Importaciones de cebada en Ecuador* [Imagen adjunta].
<https://www.indexmundi.com/agriculture/?pais=ec&producto=cebada&variable=importaciones&l=es>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), (2013). *Bebidas Alcohólicas-Cerveza*. Requisitos (INEN 2262). Consultado el 14 de noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) ESPAC. (2023). Estadísticas Agropecuarias. Consultado el 18 de agosto de 2023 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (1992). *INIAP - Atahualpa 92 Variedad de cebada de grano desnudo*. Consultado el 27 de octubre de 2024.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (1999). *INIAP - Shiry Variedad de cebada*. Consultado el 29 de octubre de 2024.

- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2003). *INIAP - Cañari Variedad de cebada*. Consultado el 2 de noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2003). *INIAP - Quilotoa Variedad de cebada*. Consultado el 2 de noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2003). *INIAP - Cañacapa Variedad de cebada*. Consultado el 5 de noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2010). *INIAP - Guaranga Variedad de cebada*. Consultado el 5 de noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2014). *INIAP - Palmira Variedad de cebada*. Consultado el 8 de noviembre de 2024.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2024). Trigo. Consultado el 17 de noviembre de <https://tecnologia.iniap.gob.ec/trigo/>
- INTA (1995). *Curso de cultivo de trigo*. E.E.A. Pergamino (INTA) Argentina.
- Khan, K. (Ed.), Shewry, P.R. (Ed.) (2009). *Wheat: Chemistry and Technology*. AACC International, Inc.
- Knoema (2023). *Gráfica de Rendimiento de Cebada en Ecuador* [Imagen adjunta]. Knoema.com. Consultado el 11 de septiembre de 2024.
- Knoema (2024). *Ecuador, Cebada*. Consultado el 11 de octubre de 2024.
- Koljonen & Olli (2019). *Beer Companion Lagers*. Consultado el 19 de enero de 2024.
- Koren, D., Hegyesné Vecseri, B., Kun-Farkas, G., Urbin, Á., Nyitrai, Á., & Sipos, L. (2020). How to objectively determine the color of beer?, *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1183. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04237-4>
- Koroluk, C. A. (s.f.). *Cerveza de Argentina - EMBOTELLADO*. Obtenido de <https://www.cervezadeargentina.com.ar/recetas/trigo.htm>
- Kunze, W. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros* (1ª ed.). Berlin: VLB Berlin.

Malba Insumos Cerveceros (2025). *AIRLOCK - TRAMPA DE AIRE PARA FERMENTACIÓN*.

Obtenido de <https://www.malbainsumos.com/tienda/equipamiento/fermentacion-y-madurado/airlock/>

Ministro de Agricultura y Ganadería (MAG), (2022). “1.065 agricultores se benefician con el programa “Siembra por Contrato”. <https://www.agricultura.gob.ec/1-065-agricultores-se-benefician-con-el-programa-siembra-por-contrato/>

Monge, A. (2016). *Cambios en las condiciones de proceso de una cerveza artesanal de la empresa treinta y cinco fábricas de cervezas para obtener un producto con una mejor coloración y la densidad relativa requerida*. Universidad de Costa Rica. Consultado 23 de mayo de 2025.

Morales, M. (2018). *Reacciones químicas en la cerveza*. Revista de Química. Consultado el 17 de mayo de 2025.

Newman, R., Newman, W. (2008). *BARLEY FOR FOOD AND HEALTH: Science, Technology, and products* (1ª ed.), John Wiley & Sons, Inc.

Nuncio, S. (2016). *Características generales del trigo blando y trigo duro y para qué se utiliza* [Tesis]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8225/12686%20SALAS%20NUNCIO,%20DAVID.pdf?sequence=1>

Oddone, S. (2018). *Matemática de la cerveza*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/matematica-de-la-cerveza-5-pdf-free.html>

Oddone, S. (2020). *Maceración*. El Molino. Obtenido de <https://capacitacioneselmolino.com/wp-content/uploads/2020/12/Maceracion.pdf>.

Osborne, T. (1909). *The vegetable proteins* (1ª ed.). Longmans Green. Consultado el 6 de agosto de 2024.

Palmer, J. (2006). *How to brew: Ingredients, methods, recipes, and equipment for brewing beer at home*. (3ª ed.) Principles of Brewing.

Pastor Cajamarca, L. M. (2023). *Efectos de las condiciones de germinación en las características sensoriales y tecnológicas de la cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)* [Tesis]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13790/3/19314.pdf>

- Pavan, M., & Todeschini, R. (2008). *Total-Order Ranking Methods*. Data Handling in Science and Technology, 2, 51–72.
- Pita, J., & Perez, F. (2009). *Germinación de semillas*. MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA y ALIMENTACION. Ed. Mundi-Prensa.
- Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Velásquez, J., Noroña, P. y Jiménez, C. (2022). Manual para la producción sostenible de cebada en la Sierra ecuatoriana. Manual No. 133. INIAP. Quito-Ecuador. 47p.
- Ray, D. (2000). *DESIGNING GREAT BEERS* (1ª ed., Vol. 1). Brewers Publications. Obtenido de https://www.academia.edu/39964825/Design_great_beers
- Samper, A. (2013). *FUNDAMENTO CIENTÍFICO*. Murcia Educa. Obtenido de http://ftp.murciaeduca.es/programas_educativos/Nuevo1/LIBROETSIA/crditos.html
- Sanlate, J. (2010). *Efecto de temperatura de tostado de malta y del porcentaje de trigo en la elaboración de una cerveza tipo Weissbier Alemana*. [Tesis]. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/94e948dc-764d-42b5-b095-5869f5691455/content>
- Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA), (2017). *CEBADA GRANO MEXICANO*.
- Shewry, P. R., & Halford, N. G. (2002). Cereal seed Storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal Of Experimental Botany*, 53(370), 947-958. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.947>
- Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Carcea, M. (2012). Kernel Components of Technological Value, *Durum wheat: chemistry and technology* (pp, 86-87). AACC International, Inc
- Štulíková, K., Novák, J., Vlček, J., Šavel, J., Košin, P., & Dostálek, P. (2020.). Bottle conditioning: technology and mechanisms applied in refermented beers. *Beverages*, 6(3), 56. <https://doi.org/10.3390/beverages6030056>
- Ullrich, S. (2011). *Barley: Production, Improvement, and Uses*. (1ª ed.). Blackwell Publishing Ltd.
- Willaert, R. (2012). Biochemistry of beer. En B.K. Simpson (Ed.), *Food Biochemistry and Food Processing*, (2ª ed.), pp. 627-653.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de catación sensorial para cerveza artesanal a base de cebada

Ficha de catación-sensorial para cerveza artesanal a base de cebada							
Agradezco su ayuda para realizar la degustación de la cerveza. Por favor, en el orden que se solicite deguste las muestras y marque con una (x) de acuerdo a una alternativa de cada característica indicada. Muchas gracias por su colaboración y tiempo.							
Tómese el tiempo necesario para evaluar cada parámetro							
Nombre:							
Muestra						Fecha	
Seleccione una opción del 1 al 7 cada atributo, de acuerdo a lo indicado en la tabla de la escala hedónica (siendo "1" la valoración más baja y "7" la valoración más alta.)							
Escala hedónica							
Características	1 Me disgusta mucho	2 Me disgusta moderadamente	3 Me disgusta poco	4 No me gusta ni me disgusta	5 Me gusta poco	6 Me gusta moderadamente	7 Me gusta mucho
Apariencia							
Color	1	2	3	4	5	6	7
Turbidez							
Relación espuma-volumen							
Persistencia de la espuma							
Olfativo							
Aroma	1	2	3	4	5	6	7
Intensidad							
Persistencia							
	Malta	Afrutado	Resinoso (Pino)	Floral	Levadura	Tostado	Caramelizado
Otro aroma:							
Gustativo							
	1	2	3	4	5	6	7
Dulzor							
Amargor							
Acidez							
Gusto							
Regusto							
Textura							
	1	2	3	4	5	6	7
Cuerpo							
Carbonatación							
Astringencia							
Impresión global de la bebida							
	1	2	3	4	5	6	7
Aceptabilidad general							

Anexo 2. Ficha de catación sensorial para cerveza artesanal a base de trigo

Ficha de catación-sensorial para cerveza artesanal a base de trigo							
Agradezco su ayuda para realizar la degustación de la cerveza. Por favor, en el orden que se solicite deguste las muestras y marque con una (x) de acuerdo a una alternativa de cada característica indicada. Muchas gracias por su colaboración y tiempo.							
Tómese el tiempo necesario para evaluar cada parámetro							
Nombre:							
Muestra				Fecha			
Seleccione una opción del 1 al 7 cada atributo, de acuerdo a lo indicado en la tabla de la escala hedónica (siendo "1" la valoración más baja y "7" la valoración más alta.)							
Escala hedónica							
Características	1	2	3	4	5	6	7
	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho
Apariencia							
	1	2	3	4	5	6	7
Color							
Turbidez							
Relación espuma-volumen							
Persistencia de la espuma							
Olfativo							
	1	2	3	4	5	6	7
Aroma							
Intensidad							
Persistencia							
Aromas identificados (En caso necesario, marque más de uno)							
	Afrutado (Banana)	Fenólico (Clavo de olor)	Grano crudo	Floral	Levadura	Herbal	Caramelizado
Otro aroma:							
Gustativo							
	1	2	3	4	5	6	7
Dulzor							
Amargor							
Acidez							
Gusto							
Regusto							
Astringencia							
Textura							
	1	2	3	4	5	6	7
Cuerpo							
Carbonatación							
Impresión global de la bebida							
	1	2	3	4	5	6	7
Aceptabilidad general							

Anexo 3. Matriz de medianas calculadas a partir de la evaluación sensorial de la cerveza de cebada

Muestra	Apariencia				Olfativo				Gustativo					Textura		Impresión global
	Color	Turbidez	Relación espuma volumen	Persistencia de la espuma	Aroma	Intensidad	Persistencia	Dulzor	Amargor	Acidez	Gusto	Regusto	Astringencia	Carbonatación	Cuerpo	Acceptabilidad general
C1	7	7	6	5.5	6.5	5	5	6.5	6	6.5	6	6	6	6.5	6	6
C2	6	6	6	6	6	6	5.5	6	6	5	6	5.5	6	5	6	5.5
C3	7	6	6.5	5.5	6.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
C4	7	6	5	5.5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5.5
C5	6.5	6	5	5.5	6	5.5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
C6	6.5	6	5	4.5	6.5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5
C7	6	5.5	6	6	6	5	4.5	5	6	5	5.5	5	5.5	6	6.5	5
C8	6	6	5.5	6	7	5	5	6	6	6	6	5.5	5.5	6	5.5	6
C9	6	6	6.5	6.5	6.5	6	6	5.5	5.5	6	6	5	5	5.5	6	6
C10	6	6	5.5	5	6.5	7	6	6	5.5	6	6	5	5.5	6	6	6
C11	7	7	6	6	6	5	5.5	6	6	6	5.5	5.5	5.5	6	6	5.5

Anexo 4. Matriz de medianas calculadas a partir de la evaluación sensorial de la cerveza de trigo

Muestra	Apariencia				Olfativo				Gustativo					Textura		Impresión global
	Color	Turbidez	Relación espuma volumen	Persistencia de la espuma	Aroma	Intensidad	Persistencia	Dulzor	Amargor	Acidez	Gusto	Regusto	Astringencia	Cuerpo	Carbonatación	Acceptabilidad general
T1	7	6	6	5.5	5	4.5	4.5	6	6	6	6	5	5.5	6	6	5.5
T2	6.5	5.5	5.5	5.5	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5
T3	6.5	6	6	6	6	5	5	5.5	6	5	5	5	4.5	5.5	6	5
T4	5.5	5.5	6	5	6	6.5	6	5	5	5	4.5	3	4.5	5.5	5	4.5
T5	7	6.5	6	6	6	5.5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5
T6	6	5	5	5	5.5	5.5	5.5	6	5.5	5.5	6	5	4.5	6	6	5
T7	6	5	6	5	6	5.5	5.5	5	3.5	5	5	4	5	5.5	5	4.5
T8	4	3.5	5	5	5.5	5	5	5	3.5	5	4	3	4	5	4.5	4
T9	6	5.5	6	5.5	5	5	4.5	5	5.5	5	5	5	4.5	5.5	6	5
T10	6	5	5	4.5	6	5	4.5	5	5	5	4	3.5	4	5.5	5	5
T11	6	5	4	3	5	5	5	6	5.5	5.5	6	4.5	4.5	6	5	5
T12	6	5.5	6	5	6.5	6.5	6	5.5	4.5	5	5	4	4	5	5	5.5