



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**Aprovechamiento de residuos de procesos de panificación en la elaboración
de bebidas fermentadas de consumo moderado**

**HOLGUIN ANCHUNDIA ELICETH JOHANNA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MURILLO FIERRO ROBERTO JOAO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**Aprovechamiento de residuos de procesos de panificación en la
elaboración de bebidas fermentadas de consumo moderado**

**HOLGUIN ANCHUNDIA ELICETH JOHANNA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MURILLO FIERRO ROBERTO JOAO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Aprovechamiento de residuos de procesos de panificación en la
elaboración de bebidas fermentadas de consumo moderado**

**HOLGUIN ANCHUNDIA ELICETH JOHANNA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MURILLO FIERRO ROBERTO JOAO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

CUENCA MAYORGA FABIAN PATRICIO

**MACHALA
2023**

Aprovechamiento de residuos de procesos de panificación en la elaboración de bebidas fermentadas de consumo moderado

por Holguín Anchundia Eliceth Johanna y Murillo Fierro Roberto Joao

Fecha de entrega: 07-mar-2024 09:08a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2314199551

Nombre del archivo: TT_2023D2_Holguín-Murillo.docx (3.39M)

Total de palabras: 13656

Total de caracteres: 74233

Aprovechamiento de residuos de procesos de panificación en la elaboración de bebidas fermentadas de consumo moderado

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTE QUE CONTIENE COINCIDENCIAS

1

namnamnomnom.com

Fuente de Internet

<1%

< 1%

★ www.sherwin.com.mx

Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 4 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, HOLGUIN ANCHUNDIA ELICETH JOHANNA y MURILLO FIERRO ROBERTO JOAO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Aprovechamiento de residuos de procesos de panificación en la elaboración de bebidas fermentadas de consumo moderado, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



HOLGUIN ANCHUNDIA ELICETH JOHANNA

0706618873



MURILLO FIERRO ROBERTO JOAO

0705546349

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro padre celestial por todo lo que nos brinda salud y vida, que gracias a él se mantienen las ganas de seguir adelante, nuestros padres por esos años de lucha invaluable que nos han enseñado que la constancia y dedicación llegan a sobresalir, cada día hay que arriesgarse no solo por un mejor porvenir si no por la adquisición de nuevos conocimientos, nuestros amigos de curso incondicional, ya que empezamos este camino que se llama Universidad, expresar el más sincero agradecimiento a nuestro tutor Ing. Fabian Cuenca.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de fin de carrera a mi pequeño hijo Asahi Daniel que sin duda alguna ha vivido la mitad de este difícil proceso, también a mis padres Guillermo y María, mi esposo Daniel que me han impulsado a seguir adelante con su amor incondicional, apoyo constante que sobrepasa todas las barreras valorando todo su amor y sacrificio hacia mi persona.

Me gustaría dedicar este trabajo a toda mi familia por ser el mejor apoyo que un estudiante puede tener, sobre todo a mis padres Roberto y Johanna, los cuales han sido el motor e inspiración durante estos años de preparación. También a mis compañeros, amigos y docentes que a lo largo de este tiempo me brindaron su amistad y conocimientos.

Resumen

El objetivo de este estudio es explorar el potencial del pan en estado de retrogradación como un reemplazo parcial de la malta en la producción de bebidas alcohólicas de consumo moderado. Se realizó una comparación de diversos parámetros fisicoquímicos, análisis estadísticos y composición proximal de los tratamientos obtenidos. Utilizando el software Design Expert 6, se identificaron 2 tratamientos: T1 (50 % pan y 50 % cebada) y T2 (75 % pan y 25 % cebada). Las cervezas resultantes fueron sometidas a la evaluación de 21 catadores no expertos para evaluar atributos como color, sabor, aroma, aceptabilidad e intensidad alcohólica y se utilizó un diseño de bloque para establecer diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Hubo diferencias significativas en la intensidad alcohólica. En cuanto a la conductividad térmica, densidad y calor específico, los resultados se asemejaron a los valores típicos de la cerveza industrial y artesanal. La formulación con 50 % de pan y 50 % de cebada resultó ser la más aceptada sensorialmente, según la evaluación de 21 catadores no expertos, y mostró resultados superiores en la composición química proximal, a excepción de la humedad. Aunque los tratamientos elaborados presentaron resultados ligeramente inferiores en parámetros termofísicos, la viscosidad cinemática fue ligeramente superior, lo cual puede ser percibido positivamente por los consumidores, ya que se asocia comúnmente con una sensación más densa y espesa en las cervezas. La cerveza con un 50 % de pan en la formulación logró una alta aceptabilidad entre los catadores, sugiriendo que el pan en estado de retrogradación es un sustituto viable para la elaboración de cerveza, respaldado por análisis óptimos. Los resultados indican que el tratamiento con menor contenido de pan es preferible tanto para la calidad como para el potencial distintivo en el mercado y la satisfacción del consumidor.

Palabras claves: cerveza, pan, fermentación alcohólica, pH, conductividad térmica

Abstract

The aim of this study is to explore the potential of retrograded bread as a partial substitute for malt in the production of moderately consumed alcoholic beverages. Various physicochemical parameters, statistical analyses, and proximate composition of the treatments were compared. Using Design Expert 6 software, 2 treatments were identified: T1 (50% bread and 50% barley) and T2 (75% bread and 25% barley). The resulting beers were evaluated by 21 non-expert tasters to assess attributes such as color, taste, aroma, acceptability, and alcohol intensity, employing a block design to establish significant differences ($p \leq 0.05$). Significant differences were found in alcohol intensity. Regarding thermal conductivity, density, and specific heat, the results resembled typical values of industrial and craft beers. The formulation with 50% bread and 50% barley proved to be the most sensorially accepted, as per the evaluation of 21 non-expert tasters, showing superior results in proximate chemical composition, except for moisture. Though the treatments yielded slightly lower results in thermophysical parameters, kinematic viscosity was slightly higher, which can be positively perceived by consumers as it is commonly associated with a denser and thicker sensation in beers. The beer with 50% bread in the formulation achieved high acceptability among tasters, suggesting that retrograded bread is a viable substitute for beer production, supported by optimal analyses. Results indicate that the treatment with lower bread content is preferable for both quality and distinctive potential in the market, enhancing consumer satisfaction.

Keywords: beer, bread, alcoholic fermentation, pH, thermal conductivity

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II.....	4
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 La cerveza	4
2.1.1 Cerveza artesanal	5
2.2 Malta.....	5
2.3 Lúpulo	6
2.3.1 Lúpulo amarillo.....	7
2.3.2 Lúpulo mágnun	7
2.4 Levadura.....	8
2.5 Agua	8
2.6 Impacto de la industria de bebidas	9
2.7 Pan.....	9
2.8 Fermentación.....	9
2.8.1 Tipos de cerveza según su fermentación	10
2.8.2 Fermentación alcohólica	11
2.9 Reología de los alimentos	12
2.10 Composición estructural del almidón.....	12
2.11 Retrogradación de los almidones	12
2.12 Propiedades termofísicas.....	13
2.12.1 pH	14
2.12.2 Viscosidad.....	14
2.12.3 Densidad	15
2.12.4 Grado alcohólico	15
2.12.5 Acidez	16
2.13 Conductividad térmica de los alimentos	16
2.14 Calor específico de los alimentos	16
2.15 Análisis de varianza (ANOVA)	16
2.16 Diseño completamente aleatorizado (DCA)	17
CAPÍTULO III.....	17

3 METODOLOGÍA	17
3.1 Localización	17
3.2 Obtención de la materia prima	17
3.3 Diseño de mezclas	17
3.4 Descripción de las etapas del proceso de elaboración de cerveza.....	20
Preparación de la materia prima.....	20
Remojo del pan	20
Molido	20
Macerado	20
Filtrado del mosto	20
Lavado	21
Cocción del mosto	21
Enfriado del mosto.....	21
Trasvasado	21
Fermentación	21
Maduración	21
Envasado.....	22
3.5 Análisis químico proximal	22
3.6 Análisis de las propiedades fisicoquímicas	22
3.6.1 Grado alcohólico	22
3.6.2 pH	22
3.6.3 Densidad	22
3.6.4 Acidez titulable	23
3.6.5 Viscosidad.....	23
3.7 Determinación propiedades termo-físicas	23
CAPÍTULO IV	24
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Análisis proximal de las muestras de cerveza	24
4.2. Resultados de análisis fisicoquímicos de las dos cervezas elaboradas, cerveza industrial y cerveza artesanal	25
4.2.1. Grado alcohólico	25
4.2.2. pH	27
4.2.3. Densidad	28
4.2.4. Acidez	29
4.2.5. Viscosidad.....	31
4.3. Propiedades termo-físicas	32

4.4. Análisis estadístico de los resultados fisicoquímicos de las cervezas elaboradas, cerveza industrial y cerveza artesanal	32
4.4. Evaluación sensorial.....	41
4.5. Análisis estadístico de la evaluación sensorial.....	44
5. CONCLUSIONES	49
6. RECOMENDACIONES.....	51
7. BIBLIOGRAFÍA	52
8. ANEXOS	57

Lista de figuras

Figura 1.- Componentes de la cerveza.....	4
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza	19
Figura 3. Grado alcohólico alcanzado en cada muestra	26
Figura 4. Valor de pH alcanzado en cada muestra	27
Figura 5. Densidad alcanzada en cada muestra	29
Figura 6. Gráfico de acidez resultante de cada muestra	30
Figura 7. Gráfico de viscosidad de cada muestra	31
Figura 8. Gráfica de intervalos de Grado alcohólica vs Tipos de cervezas	33
Figura 9. Gráfica de intervalos de pH vs. Tipos de cervezas	35
Figura 10. Gráfica de intervalos de ácidos vs. Tipos de cervezas	37
Figura 11. Gráfica de intervalos de densidad vs. Tipos de cervezas	38
Figura 12. Gráfica de intervalos de viscosidad vs. Tipos de cervezas.....	40

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de cerveza	11
Tabla 2. Análisis de muestras	18
Tabla 3. Composición químico proximal de la cerveza elaborada con 50 % de cebada y 50 % de pan.....	24
Tabla 4. Composición químico proximal de la cerveza elaborada con 25 % de cebada y 75 % de pan.....	24
Tabla 5. Valores de grado alcohólico de cada muestra de cerveza.....	25
Tabla 6. Valores de pH de cada muestra de cerveza.....	27
Tabla 7. Valores de densidad de cada muestra de cerveza	28
Tabla 8. Valores de acidez de cada muestra de cerveza	29

Tabla 9. Valores de viscosidad de cada muestra de cerveza (MPa/s).....	31
Tabla 10. Propiedades termo-físicas de las muestras analizadas	32
Tabla 11. Media de los ensayos por triplicado del grado alcohólico.....	33
Tabla 12. Análisis de varianza del grado alcohólico de los tipos de cerveza	34
Tabla 13. Prueba de Tukey del grado alcohólico en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%	34
Tabla 14. Media de los ensayos por triplicado del pH.....	34
Tabla 15. Análisis de varianza del pH de los tipos de cerveza	35
Tabla 16. Prueba de Tukey del pH en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%	36
Tabla 17. Media de los ensayos por triplicado de acidez	36
Tabla 18. Análisis de varianza de acidez de los tipos de cerveza.....	37
Tabla 19. Prueba de Tukey de la acidez en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%	37
Tabla 20. Media de los ensayos por triplicado del grado de densidad	38
Tabla 21. Análisis de varianza de densidad de los tipos de cerveza.....	39
Tabla 22. Prueba de Tukey de la densidad en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%	39
Tabla 23. Media de los ensayos por triplicado del grado de viscosidad.....	39
Tabla 24. Análisis de Varianza de viscosidad de los tipos de cerveza	40
Tabla 25. Prueba de Tukey de la viscosidad en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%	41
Tabla 26. Resultados de evaluación sensorial de atributos en cerveza 50% de cebada y 50% de pan	42
Tabla 27. Resultados de evaluación sensorial de atributos en cerveza 25% de cebada y 75% de pan.....	43
Tabla 28. ANOVA – Atributo color entre grupos de ambas muestras	44
Tabla 29. ANOVA – Atributo sabor entre grupos de ambas muestras.....	45
Tabla 30. ANOVA – Atributo olor entre grupos de ambas muestras.....	46
Tabla 31. ANOVA – Atributo aceptabilidad entre grupos de ambas muestras	46
Tabla 32. ANOVA – Atributo intensidad de alcohol entre grupos de ambas muestras	47

Lista de anexos

Anexo #1: Materia prima.....	57
Anexo #2: Remojo del pan.....	57
Anexo #3: Macerado de malta y pan.....	58

Anexo #4: Prueba de yodo	58
Anexo #5: Filtrado del mosto	59
Anexo #6: Activación de levadura	59
Anexo #7: Maduración	59
Anexo #8: Muestras analizadas	60
Anexo #9: Acidez Titulable	60
Anexo #10: Medición de pH	60
Anexo #11: Determinación de densidad	61

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la cerveza ha sido elaborada mediante un proceso de fermentación gracias a la acción de levaduras. Este proceso no solo influye en las características organolépticas del producto, sino también en su seguridad y valor nutricional, gracias a la actividad microbiana involucrada. La cerveza suele contener una variedad de vitaminas hidrosolubles del complejo B (B1, B2, B5), lo que la convierte en un complemento interesante para la dieta habitual. Varios estudios respaldan las ventajas de la cerveza como una bebida completa, ya que contiene minerales, proteínas, carbohidratos, fibras, entre otros nutrientes. Es importante destacar que la cantidad de estos nutrientes puede variar dependiendo del tipo de cerveza y los factores que intervienen en su proceso de producción. En particular, la cerveza negra suele ser rica en hierro, lo que destaca una proporción especial beneficiosa en este aspecto (Pérez, 2007; Alvarenga, 2012; Sánchez, 2010).

La cerveza, una de las bebidas alcohólicas con menor contenido de etanol, es fácil y rápidamente asimilada por el organismo. Como reponedor de electrolitos, proporciona aproximadamente 400 kcal por litro, cubriendo alrededor del 15 % de las necesidades diarias de un adulto. Además, contiene sales minerales como calcio, fósforo, potasio, zinc y magnesio, que representan aproximadamente el 10 % de las necesidades humanas, con una concentración de 0,4 g por litro; el pH de la cerveza es ácido, con un valor de alrededor de 4. A diferencia de otras bebidas alcohólicas, la cerveza aumenta la diuresis debido a las resinas amargas del lúpulo solubilizadas. Por otra parte, el envejecimiento de los productos panificados se define como la disminución de su aceptación por parte del consumidor, causada por cambios que no son resultado de la acción de microorganismos dañinos. Durante el almacenamiento, el pan pierde gradualmente su frescura, evidenciada por la pérdida de crujibilidad de la corteza, el aumento de firmeza y disminución de elasticidad de la miga, y cambios en aroma y sabor. El incremento en firmeza se debe principalmente a dos procesos simultáneos: la migración de agua desde la miga hacia la corteza y la recristalización del almidón, conocida como retrogradación (Suarez, 2024).

PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, la disponibilidad de alimentos se ve notablemente afectada por la creciente sobrepoblación, agotando los medios de subsistencia y generando desperdicios debido a la producción excesiva de ciertos alimentos que no se consumen a tiempo. Un ejemplo paradigmático de este fenómeno es el pan, un producto consumido ampliamente a nivel regional, nacional y global. En ciudades como Machala, esta problemática es especialmente palpable debido a la alta demanda en panaderías, lo que conlleva a la producción de excedentes que plantean desafíos en cuanto a su aprovechamiento.

Motivada por esta realidad, la presente investigación propone la valorización de los residuos de panificación provenientes de establecimientos seleccionados en Machala, considerando su valioso aporte nutricional, para la formulación y elaboración de dos tipos de cerveza. Estos residuos, que podrían considerarse desperdicios, se utilizarían como insumos en la producción de bebidas alcohólicas fermentadas de consumo moderado, en consonancia con el crecimiento exponencial de la industria cervecera y la búsqueda constante de procesos innovadores para satisfacer las demandas del mercado.

La creación de cerveza a partir de ingredientes en estado de retrogradación, como el pan no vendido en las panaderías, representa una estrategia efectiva para el aprovechamiento sostenible de recursos. Este enfoque contribuye significativamente a la reducción del desperdicio alimentario y promueve la adopción de prácticas enmarcadas en una economía circular. Asimismo, impulsa la conciencia sobre la importancia de utilizar de manera eficiente los recursos disponibles, fomentando una cultura de consumo responsable y sostenibilidad.

OBJETIVOS

Objetivo general

Aprovechar eficientemente los residuos de panadería denominados como «pan viejo» como una alternativa de sustituto parcial de la malta en la formulación para la elaboración de bebidas de consumo moderado como la cerveza.

Objetivos específicos

- Realizar un diseño de mezclas mediante programas estadísticos para obtener las formulaciones adecuadas de malta y pan envejecido para la elaboración del producto final.
- Elaborar bebidas de consumo moderado con la incorporación de residuos de panadería en su formulación para la obtención de un proceso eficiente y determinar sus propiedades proximales con su respectiva prueba sensorial.
- Determinar las propiedades termofísicas y fisicoquímicas de las bebidas elaboradas a través de métodos ingenieriles empíricos para conocer sus parámetros requeridos de energía en comparación con bebidas actualmente expandidas en el mercado.

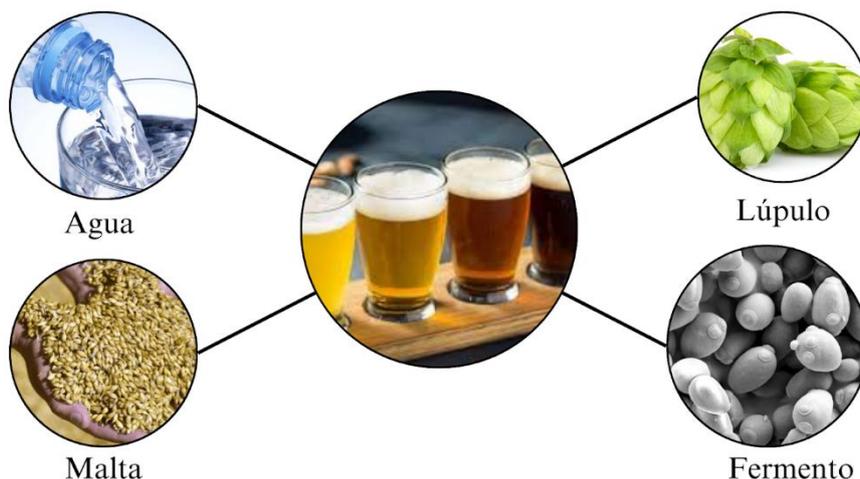
CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 La cerveza

La cerveza, una bebida fermentada de consumo común, se caracteriza por su asociación con momentos de distensión. Además, numerosos estudios biomédicos han evidenciado los potenciales beneficios para la salud asociados con su consumo moderado. Esta bebida, con un contenido alcohólico típicamente bajo (aproximadamente de 4° a 5°, dependiendo de la variedad), carece de grasas, posee un moderado contenido calórico y es una fuente rica en vitaminas hidrosolubles, fibra y minerales (Sánchez et al., 2010). Este proceso fermentativo, denominado «cervecero», se circunscribe a la catálisis y la conversión de los azúcares presentes en la malta en alcohol y el dióxido de carbono, generando así una amplia y compleja gama de sabores y aromas característicos. Actualmente, se define como cerveza exclusivamente a la bebida fermentada elaborada a partir de una combinación de agua, malta, lúpulo y levadura (Suárez, 2013).

Figura 1.- Componentes de la cerveza



Desde tiempos inmemoriales, la elaboración de cerveza se ha basado en la combinación de cuatro componentes esenciales: agua, lúpulo, malta y levadura. Estos elementos, mediante complejas reacciones químicas, se transforman de simples materias primas en el producto final (Mulet et al., 2018).

2.1.1 Cerveza artesanal

La cerveza artesanal, con sus raíces en el Reino Unido en la década de 1970, emergió inicialmente en una escala reducida, caracterizada por lo que se conoce como micro cervecerías. Se considera que la cerveza artesanal es una variedad elaborada en volúmenes reducidos por cervecerías independientes, que emplean tanto técnicas ancestrales como enfoques innovadores. Se distingue por su meticulosidad en el proceso de elaboración, la utilización de ingredientes de alta calidad y la exploración de una amplia gama de estilos y sabores. La producción de estas bebidas no incluye aditivos que alteren su composición, desde la recepción de la materia prima hasta el envasado final, con el objetivo de obtener cervezas con propiedades organolépticas excepcionales para el consumidor. Este tipo de cerveza se elabora a partir de ingredientes básicos como la cebada, el lúpulo, la levadura y el agua. Aunque su contenido alcohólico puede variar, tiende a ser más elevado que el de la cerveza industrial, a menudo superando el 4% de alcohol por volumen. Sus componentes finales incluyen alcoholes, carbohidratos no fermentados en forma de dextrinas, vitaminas, minerales, ácidos fenólicos, dióxido de carbono y agua, siendo este último elemento aproximadamente el 90 % de su composición (Espinoza-Montero et al., 2021).

La producción de cervezas artesanales se diferencia de las cervezas industriales en varios aspectos. En primer lugar, las cervezas artesanales no se someten a procesos de pasteurización, lo que ayuda a preservar los aromas y sabores característicos de la formulación utilizada, así como la vitalidad de la levadura, que continúa realizando modificaciones durante un período de vida más corto. Además, estas cervezas no se filtran, lo que resulta en la retención de partículas en suspensión y una apariencia turbia. Al omitir estos procesos, las cervezas artesanales experimentan una segunda fermentación en la botella, ya que la levadura aún dispone de sustrato para fermentar. Esto conduce a una saturación de la cerveza con dióxido de carbono y etanol, lo que resulta en cervezas más robustas con una graduación alcohólica generalmente superior a las cervezas industriales (Martínez, 2015).

2.2 Malta

El malteado es el proceso fundamental en la preparación de la cebada para la elaboración de cerveza. Implica una germinación parcial seguida de un secado controlado que tiene como objetivo ablandar la pared celular del grano y promover la generación de enzimas diastásicas. Estas enzimas son las responsables de transformar el almidón presente en el grano en extracto

de malta. La calidad de la malta resultante depende de una serie de parámetros que son cruciales para identificar y liberar variedades de malta de alta calidad. Por lo tanto, mantener un estricto control sobre estos atributos de calidad es esencial para garantizar una alta eficiencia en el procesamiento y obtener un producto final de alta calidad tanto en la cervecería como en la maltería (Rani y Bhardwaj, 2021).

Históricamente, la cebada malteada ha sido la principal fuente de azúcares fermentables para la producción de cervezas tradicionales. Sin embargo, en años recientes, su uso ha sido progresivamente sustituido por cebada no malteada y otros cereales sin procesar. Esta transición se debe principalmente a razones económicas, con el beneficio adicional de una mayor sostenibilidad al disminuir la dependencia del costoso proceso de malteado. No obstante, la inclusión de cereales sin procesar, especialmente en grandes cantidades, requiere ajustes en el proceso de elaboración de la cerveza para compensar la falta de enzimas propias de la malta y las diferencias en la composición estructural y química entre los granos malteados y no malteados (Kok et al., 2019).

2.3 Lúpulo

El lúpulo, miembro de la familia de las cannabáceas, se caracteriza por su naturaleza trepadora. Su esencia, conocida como lupulina y extraída de sus flores, contiene el preciado principio activo buscado por los cerveceros. Esta resina es rica en alfa y beta ácidos, polifenoles y aceites esenciales, los cuales son responsables de conferir el sabor y aroma distintivos a la cerveza. Los componentes volátiles presentes en los aceites esenciales del lúpulo representan entre el 0,5 % y el 3 % de su composición, mientras que los componentes no volátiles, presentes en la fracción polifenólica del lúpulo, constituyen el 36 %, contribuyendo significativamente a la sensación en boca de la cerveza. Existen diversas variedades de lúpulos, cada una con características únicas que ofrecen a los cerveceros la oportunidad de experimentar con los sabores de la cerveza. Estos lúpulos se presentan en tres formas: lúpulo natural desecado, tabletas y pellets. Los expertos suelen clasificar las variedades en dos categorías principales: amargos y aromáticos. Los lúpulos amargos contienen concentraciones más altas de alfa ácidos, los cuales son responsables del amargor característico de la cerveza. En contraste, los lúpulos aromáticos, derivados de los aceites esenciales, ofrecen una gama más refinada de aromas y sabores (Hernández & Muñoz, 2019). El lúpulo es un ingrediente insustituible en la elaboración de la cerveza, desempeñando un papel esencial en la creación de su sabor amargo y su distintivo aroma delicado, así como en su conservación. Desde notas florales hasta cítricas, los aromas del lúpulo influyen en el perfil sensorial de la cerveza artesanal deseada (Mendoza et al., 2022).

2.3.1 Lúpulo amarillo

Conocido científicamente como *Humulus lupulus* «Amarillo», este lúpulo presenta una rica concentración de miceno, responsable de sus notas cítricas, particularmente de naranja. El lúpulo amarillo, proveniente de Estados Unidos, ha experimentado un aumento significativo en su popularidad desde su descubrimiento en estado silvestre a finales del siglo XX. Este lúpulo se distingue por su aroma característico, que evoca notas cítricas de naranja y uva, atribuidas a su alto contenido de aceite miceno. Clasificado como una variedad aromática, aunque ocasionalmente utilizado para aportar amargor, el lúpulo amarillo es especialmente apreciado en estilos como el *Pale Ale* americana, cervezas de trigo y algunas variedades de ámbar que buscan resaltar un marcado sabor a lúpulo. En términos de su composición química, el lúpulo amarillo exhibe un contenido de ácidos alfa, el cual oscila entre el 8 % y el 10 %, acompañado de ácidos beta en el rango del 6 % al 7 %. Estas características hacen del lúpulo amarillo una opción distintiva y versátil en la elaboración de cervezas, destacando por su perfil aromático único. Además de los ácidos alfa y beta, que aportan propiedades antiinflamatorias y antibacterianas, el lúpulo amarillo contiene una variedad de polifenoles, antioxidantes que protegen al organismo contra los daños provocados por los radicales libres, los cuales pueden afectar a células o tejidos con el tiempo (Robayo, 2022).

2.3.2 Lúpulo mágnum

El lúpulo Magnum es ampliamente reconocido por su capacidad para aportar amargor a la cerveza, aunque también añade sutiles notas aromáticas de cítricos, hierbas y bosques frescos. Originario de esquejes alemanes, este lúpulo ha ganado popularidad tras su cultivo en la costa oeste de Estados Unidos, gracias a su destacada resistencia tanto al clima como a las plagas. Esta resistencia se traduce en un costo muy razonable sin comprometer la alta calidad del producto. Con niveles de ácidos alfa, los que se sitúan entre el 12 % y el 14 %, y los ácidos beta oscilando entre el 4,5 % y el 5,5 %, el Magnum es especialmente apreciado en la elaboración de cervezas tipo *Lager* y *Ale* de influencia americana. Si bien el lúpulo Magnum se utiliza principalmente por su capacidad de aportar amargor a la cerveza, su perfil aromático más bien neutro lo convierte en una elección útil para aquellos cerveceros que buscan un control preciso sobre el sabor de sus cervezas (Chaparro, 2021).

2.4 Levadura

La levadura, un organismo unicelular que abarca tanto especies dañinas como beneficiosas, ha sido un componente fundamental en la fabricación de productos como la cerveza, el pan y el vino desde tiempos ancestrales. Los principios científicos relacionados con su cultivo y aplicación fueron revelados por Louis Pasteur en el siglo XIX. Existen cepas específicas adaptadas para diversas aplicaciones, como la panadería y la destilación. Las levaduras, siendo hongos unicelulares, varían en tamaño, forma y color y son de dimensiones mayores que las bacterias (Suárez-Machín et al., 2016). En la fabricación de cerveza, las levaduras desempeñan un papel fundamental. No solo son responsables de la fermentación, durante la cual producen principalmente etanol y dióxido de carbono, sino que también metabolizan y generan una variedad de compuestos orgánicos que ejercen una influencia significativa en el aroma y sabor finales de la cerveza. Las especies *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces pastorianus* son comúnmente empleadas para la elaboración de cervezas *Ale* y *Lager*, respectivamente (Amalia et al., 2021). Considerando lo anteriormente expuesto, la levadura desempeña un papel esencial en la conversión de ingredientes básicos en productos de mayor complejidad. Desde una perspectiva microscópica, esta célula única, generalmente del género *Saccharomyces*, lleva a cabo un proceso bioquímico vital de la fermentación.

2.5 Agua

La elaboración de cerveza y bebidas azucaradas representan dos de los usos más extendidos e intensivos del agua en la industria alimentaria. El agua no solo constituye el principal ingrediente en estos procesos, sino que también actúa como un vehículo para generar enormes beneficios para las empresas que la utilizan. Se reconoce ampliamente que el agua desempeña múltiples funciones en la industria, incluyendo su uso como refrigerante, para la generación de calor, y como medio de limpieza, entre otros (Salvador y Vera, 2022). La cerveza, compuesta comúnmente en un 95 % por agua, conlleva un consumo anual mundial que resulta en aproximadamente 85 mm³ de agua. Sin embargo, esta cifra no refleja toda el agua utilizada por la industria cervecera, la cual también se emplea en procesos de limpieza, generación de vapor, evaporación y la que se pierde a través de los desagües. La eficiencia en el uso del agua varía entre las cervecerías, con algunas utilizando más de diez veces el volumen de agua en comparación con la cantidad de cerveza producida. La ubicación de las cervecerías depende en gran medida de la disponibilidad de agua apropiada para el tipo específico de cerveza que se desea producir. Por ejemplo, el agua rica en sulfato cálcico es ideal para las cervezas *Pale ale*, mientras que las aguas blandas son preferibles para las cervezas tipo *Lager*, y el agua con alto

contenido de bicarbonato cálcico es excelente para las cervezas más oscuras (Muñoz y Sánchez, 2018).

2.6 Impacto de la industria de bebidas

En la industria de bebidas, el sector cervecero es estratégico, ya que la cerveza es una de las bebidas con más fama y consumidas en el mundo, ubicándose como la quinta más consumida por debajo del té, las bebidas carbonatadas sin alcohol, la leche y el café. Sin embargo, este proceso de producción conlleva impactos ambientales significativos, por ejemplo, el alto consumo de energía, materias primas y agua, así como la generación considerable de aguas residuales, residuos sólidos y emisiones de CO₂ (Ortiz et al., 2019).

2.7 Pan

La elaboración de pan en Ecuador se distingue por su diversidad y valor intrínseco en cada región del país, reflejando una arraigada tradición gastronómica que se remonta a la introducción del trigo en América, cuando este cereal se convirtió en el elemento básico del pan. A lo largo de la historia, diversas variedades autóctonas de pan han perdurado, conservando sus características distintivas y siendo parte integral de festividades tradicionales (Fierro y Herrera, 2018). El pan desempeña un papel fundamental en la dieta desde una perspectiva nutricional. Sin embargo, persiste una creencia arraigada entre el público de que el consumo de pan conduce al aumento de peso, lo que lleva a muchas personas a limitar o incluso eliminar su ingesta. Esta percepción ha resultado en una disminución del consumo de pan, una parte esencial de la dieta tradicional española, conocida como la dieta mediterránea, tanto en España como a nivel mundial. A pesar de la reducción en el consumo de pan en las últimas décadas, la prevalencia global de la obesidad ha seguido aumentando (Serra, L. & Bautista, I., 2015). El pan tradicional, elaborado con harina de trigo refinada, sigue siendo un producto de panadería muy popular. No obstante, el deseo de llevar un estilo de vida más saludable y el cambio en las preferencias del consumidor hacia productos con un perfil nutricional mejorado han impulsado la demanda de productos de panadería elaborados con ingredientes integrales, en particular aquellos con un alto contenido de fibra dietética (da Costa et al., 2020).

2.8 Fermentación

La fase de la fermentación desempeña un papel preponderante en la producción de cerveza, donde el mosto experimenta una transformación gracias a la acción de la levadura, dando como resultado, al final del proceso, la cerveza. Para comprender adecuadamente la gestión específica

de las fermentaciones, es fundamental examinar brevemente la química subyacente de la composición del mosto y cómo la levadura lo modifica para producir la cerveza deseada. Este análisis aborda la naturaleza de la levadura cervecera y detalla las actividades de este microorganismo durante la fermentación, las cuales son esenciales para respaldar dicha transformación. Se destacan los métodos para monitorear el progreso de la fermentación y se identifican las variables clave que deben controlarse para garantizar resultados consistentes y predecibles (Boulton, 2020). La fermentación constituye un elemento fundamental en la producción cervecera y, dependiendo de su ejecución, puede conducir a resultados diversos. Esto implica que los períodos de fermentación pueden variar considerablemente incluso entre lotes de cerveza de calidad equivalente. Tanto la temperatura de fermentación como el tipo de levadura utilizada son factores críticos para replicar un estilo específico de cerveza. Por lo tanto, es común en la producción cervecera el empleo de sistemas de refrigeración para mantener la temperatura controlada durante todo el proceso de fermentación (Garduño-García et al., 2014).

2.8.1 Tipos de cerveza según su fermentación

Las variedades de cerveza se clasifican, según la temperatura de fermentación, en fermentación alta, baja y espontánea.

Fermentación alta:

Este proceso se caracteriza por la interacción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con un mosto a una temperatura elevada (entre 15 °C y 25 °C). Durante la fermentación, las burbujas de CO₂ producidas arrastran las pequeñas células de levadura hacia la parte superior del tanque de fermentación. Este fenómeno, que da nombre a la «fermentación alta», tiene una duración típica de 2 a 5 días (Mendoza et al., 2022). Las levaduras intervinientes requieren temperaturas de entre 18 y 24 °C para una fermentación óptima, resultando en una cerveza de cuerpo ligero con un contenido alcohólico que oscila entre el 4 % y el 5 %. En particular, el lúpulo aporta un aroma distintivo y sabores pronunciados. La fermentación alta es un proceso empleado en la elaboración de cerveza y otros productos fermentados, donde las levaduras se multiplican y operan en la parte superior del mosto o líquido fermentado. Una característica distintiva de este método es que las levaduras suelen agruparse en la superficie del líquido durante la etapa activa de la fermentación.

Fermentación baja:

La cerveza *Lager*, que constituye el 90 % de la producción mundial, se produce mediante este tipo de fermentación, que se lleva a cabo a temperaturas entre 5 y 15 °C (Burini et al., 2021). El proceso tiene una duración de siete a diez días y se realiza a temperaturas que oscilan entre

4 y 12 °C. Se caracteriza por la adición de levaduras del tipo *Saccharomyces carlsbergensis* al mosto. Generalmente, estas cervezas son menos afrutadas y tienen un contenido alcohólico más bajo que las cervezas de alta fermentación, pero contienen más CO₂, lo que las hace muy refrescantes. Durante la fermentación baja, las levaduras trabajan en la parte inferior del fermentador, formando un sedimento. Este procedimiento, típico de ciertos tipos de cerveza, se distingue de la fermentación alta, donde las levaduras se reúnen en la superficie del líquido fermentado (Mendoza et al., 2022).

Tabla 1. Tipos de cerveza

Tipo de Cerveza	Fermentación baja	Fermentación alta
Contenido alcohólico	4 % - 5 %	8 % - 12 %
Características	Tonalidad clara. Con colores amarillos dorados De espuma fina	Turbias, con color variable dependiente al estilo de fermentación e ingredientes. Espumosa consistente.
Ejemplos	<i>Lager, Light beers, Pilsner, Vienna</i>	<i>Ale (Pale, Ale, Belgian, Red Ale, Indian Pale Ale), Porter, Stout, Imperial, Stouts, Wiezen.</i>

2.8.2 Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica, o séase, el proceso anaeróbico en el cual el azúcar se convierte en dióxido de carbono y alcohol etílico, sin la presencia de oxígeno molecular, es ampliamente reconocido, siendo el vino y la cerveza dos de sus productos más significativos. La primera etapa de este proceso, conocida como glucólisis, se desarrolla de manera similar a la respiración aeróbica. Sin embargo, en lugar de que el ácido pirúvico formado ingrese al ciclo de Krebs para ser completamente oxidado, en la fermentación alcohólica se produce una descarboxilación de este ácido, generando acetaldehído. Posteriormente, esta sustancia actúa como receptora de hidrógeno en lugar de oxígeno del aire, lo que provoca la formación de alcohol etílico. Se ha observado que una variedad de factores, tanto ambientales como relacionados con el crecimiento, impactan en el tipo de subproductos generados durante el proceso de fermentación alcohólica. Estos factores incluyen la concentración de sulfito, el nivel de pH, la temperatura

durante la fermentación, la cantidad de aireación y el grado de inoculación (Zentou et al., 2021). En la producción de cerveza, el proceso de fermentación alcohólica se lleva a cabo utilizando levaduras del género *Saccharomyces*. Este género, clasificado dentro del filo *Ascomycota*, la clase *Hemiascomycetes*, el orden *Saccharomycetales* y la familia *Saccharomycetaceae*, se divide en 12 clases distintas (Arias et al., 2019).

2.9 Reología de los alimentos

La reología de los alimentos ayuda a comprender la deformación y características del fluido en los alimentos sin procesar, los productos en proceso o los productos a medio elaborar y los finales. Tanto la concentración como la temperatura afectan las características físicas de los alimentos, como en características reológicas y sensoriales (Zheng, 2019). Las características de reología son útiles para poder comprender cómo fluye la pulpa de fruta, ya que se analizan a través de varios parámetros de fluido, como tensión de corte, velocidad de corte y velocidad de corte-viscosidad. Los parámetros de reología son muy relevantes en las líneas de producción, influyendo a la circulación por las maquinarias y deben considerarse al aplicar métodos de conservación lo cual implica tratamiento térmico. (Shinwari & Rao, 2020).

2.10 Composición estructural del almidón

El almidón es un hidrato de carbono formado por unidades de D-glucosa que se dividen en dos componentes principales, la amilosa y la amilopectina, estas representan hasta un 99% de la materia seca en el almidón. La amilosa es un polímero con una estructura lineal de enlaces α -1,4 y una moderada ramificación en los puntos de enlace α -1,6. Por otro lado, la amilopectina es un polímero de estructura esquelética con enlaces α -1,4, altamente ramificado y con puntos de ramificación α -1,6 cada 20-30 unidades de glucosa. El almidón tiene propiedades que no son tóxicas y es biodegradable, lo que lo hace útil para diversas industrias tanto alimentarias como no alimentarias (Apriyanto et al., 2022).

2.11 Retrogradación de los almidones

Durante el proceso de retrogradación, las cadenas de almidón experimentan una reorganización molecular para formar una estructura de doble hélice durante la etapa de enfriamiento, que luego se compacta en cristales (Nie et al., 2022). La retrogradación del almidón es un fenómeno bioquímico que implica la reestructuración molecular del almidón después de su gelatinización y el subsiguiente enfriamiento. Los almidones, polisacáridos complejos presentes en alimentos como cereales, tubérculos y legumbres, representan una importante fuente de energía en la dieta

humana. Esta reorganización molecular no solo afecta las propiedades físicas de los alimentos, como su textura y consistencia, sino que también influye en su digestibilidad y en la liberación de nutrientes durante la digestión. Además, es esencial comprender que la retrogradación del almidón no solo tiene implicaciones en la calidad de los alimentos, sino que también juega un papel importante en la industria alimentaria y en la formulación de productos alimenticios. El conocimiento de los factores que afectan la retrogradación del almidón permite a los fabricantes controlar y ajustar las propiedades de los alimentos procesados para satisfacer las preferencias del consumidor y garantizar la calidad del producto final. Este fenómeno, conocido como retrogradación del almidón, es un proceso intrincado influenciado por diversos factores, como el origen y la concentración del almidón, las temperaturas de cocción y enfriamiento, el pH y la presencia de solutos (Rodríguez-Sandoval et al., 2007).

2.12 Propiedades termofísicas

Las propiedades termofísicas de los alimentos desempeñan un papel fundamental en el diseño y la optimización de la transferencia de calor, lo que incide tanto en los costos energéticos como en la calidad de los productos finales (Vargas-Zambrano et al., 2020). Estas propiedades se pueden obtener de tres maneras principales: predicción, que se basa en el uso de ecuaciones que consideran la composición del alimento, la experimentación directa, que implica el diseño de experimentos específicos para medir estas propiedades de manera directa y los métodos indirectos, que consisten en la resolución numérica de sistemas en estado no estacionario de transferencia de calor, seguida de una optimización para obtener los parámetros del modelo. La simulación de la pasteurización de la cerveza, por ejemplo, requiere el conocimiento preciso de estas propiedades termofísicas para llevar a cabo un análisis térmico y fluidodinámico adecuado. Durante este proceso, se aplican los balances de continuidad, energía y cantidad de movimiento, y los modelos matemáticos en estado no estacionario dependen en gran medida de valores como densidad, viscosidad, capacidad calorífica y conductividad térmica. Algunos investigadores incluso recurren a modelos de las propiedades termofísicas del agua para estimar las propiedades similares de la cerveza (Pérez et al., 2021). Teniendo en cuenta estos conceptos, es evidente que las propiedades termofísicas son atributos fundamentales de un material que definen su respuesta ante los cambios de temperatura y la transferencia de calor. Su comprensión es esencial para analizar la interacción entre un material y la energía térmica en diversos contextos y aplicaciones industriales.

2.12.1 pH

El concepto de potencial de hidrógeno, el pH, se refiere a una medida fundamental para determinar la naturaleza ácida o alcalina de una solución. Esta escala numérica se utiliza para cuantificar la concentración de iones de hidrógeno (H⁺) en un medio acuoso, siendo 7 el valor considerado neutro. Valores inferiores a 7 indican acidez, mientras que valores superiores a 7 representan alcalinidad o basicidad. (Martín y Garay, 2020). En términos simples, el pH, o potencial de hidrógeno, representa la medida de acidez o alcalinidad de una solución. A medida que la acidez disminuye, el pH aumenta, estableciendo una relación inversamente proporcional en una escala logarítmica entre la concentración de iones de hidrógeno y la acidez de la solución. Cada alimento posee una composición química única, determinando su pH como ácido o básico. Es importante destacar que el pH de los alimentos que consumimos puede influir en nuestra salud de diversas formas, desde afecciones físicas como la gastritis y la obesidad, hasta manifestaciones emocionales como las migrañas y la halitosis (Lima et al., 2022). Por lo tanto, comprender qué estamos ingiriendo y cómo afecta nuestra salud nos permite apreciar la importancia del conocimiento químico en nuestra dieta diaria.

2.12.2 Viscosidad

En el campo de la reología, la viscosidad es un indicador crucial que define la calidad de los alimentos disponibles en el mercado. La viscosidad juega un papel crítico en la formulación de alimentos, ya que influye en cómo el consumidor percibe la textura y la calidad del producto. Durante la formulación y el procesamiento, los productores de alimentos deben considerar estos aspectos para garantizar la calidad y la aceptación del producto final (Miranda et al., 2021).

La viscosidad es fundamental en la industria cervecera, incluyendo cerveceras, laboratorios de procesamiento y pruebas. Contribuye a la calidad al cuantificar la calidad de la malta y la cerveza, proporcionar información sobre los tiempos de filtración y dar una indicación del comportamiento de la espuma de la cerveza. La importancia ha aumentado debido al desarrollo de sistemas de medición de alto rendimiento que permiten una determinación rápida, precisa y totalmente automática (Severa, 2008).

Por las razones expuestas, se asevera que la viscosidad es una característica física que indica la oposición de un fluido a alterar su forma. Se puede interpretar como la fricción interna que un fluido experimenta al moverse o al aplicarle una fuerza. Un fluido con alta viscosidad tiene mayor resistencia al flujo, mientras que un fluido con baja viscosidad es más fluido y fluye con mayor facilidad.

2.12.3 Densidad

La densidad es un concepto que se refiere a una de las muchas propiedades físicas de la materia. Como propiedad intensiva, ayuda a identificar cada sustancia. Se presenta una fórmula o relación matemática que existe entre la masa de los objetos y el espacio que ocupan (Botero, 2010).

La densidad de la cerveza es una métrica que permite determinar la cantidad de sustancia contenida en la cerveza con relación a su volumen. Esta característica es muy importante en la fabricación de la cerveza y puede interesar a consumidores que se inclinan por los aspectos técnicos de la bebida. Así, es posible realizar un análisis de los siguientes componentes en una cerveza finalizada: densidad, contenido de alcohol, oxígeno disuelto, dióxido de azufre, sabor y aroma, dióxido de carbono, grado de fermentación, pH, acidez, azúcares fermentados (Mendoza et al., 2022).

Según las declaraciones de los autores citados, se afirma que la densidad de la cerveza alude a la cantidad de sustancia (principalmente azúcares y otros elementos fermentables) que hay en el líquido antes y después del proceso de fermentación. Durante la producción de la cerveza, se utilizan instrumentos como el hidrómetro o el refractómetro para medir la densidad, lo que permite evaluar la cantidad de azúcares y estimar el potencial de alcohol.

2.12.4 Grado alcohólico

El grado alcohólico, también referido como contenido de alcohol o graduación alcohólica, es una medida que indica la proporción de alcohol en una bebida con relación a su volumen total. Las cervezas no deben tener más del 6 % de alcohol en volumen; sin embargo, según la Norma Técnica de la Asociación Latinoamericana de Fabricantes de Cerveza, este debe estar en un rango de 2,5 a 9 % (Luján y Vásquez, 2010).

La cerveza generalmente se distingue por tener un grado alcohólico bajo, que suele oscilar entre el 3 % y el 6 % en las cervezas que se consumen regularmente. Esta medida, que se expresa normalmente en porcentaje, se utiliza para señalar la potencia o concentración de alcohol de una bebida alcohólica. Es más sencillo que el volumen total de la bebida (Díaz et al., 2022).

Se sostiene que el grado alcohólico es una medida que determina la cantidad de alcohol contenida en una bebida y se suele expresar como un porcentaje del volumen total de la misma. Este indicador es esencial en la industria, para los vinos, cervezas, licores y destilados, ya que influye tanto en el sabor como en la experiencia del consumidor.

2.12.5 Acidez

La acidez se define como la habilidad de un material para interactuar con otros elementos y mostrar propiedades específicas. En el caso de las cervezas, la acidez proviene de la elaboración de los mostos a partir de cebada y/o otros granos, así como del proceso de fermentación que es esencial en la producción de esta bebida (Bermeo y Vergara, 2024). La acidez en la cerveza, que afecta su sabor y textura, proviene de ácidos formados durante su elaboración. Aunque la acidez ideal para cervezas artesanales es del 0 al 0,3 %, la investigación encontró una acidez del 0,211 % al 0,439 % (Cruz et al., 2022).

2.13 Conductividad térmica de los alimentos

La conductividad térmica representada k ($W/m^{\circ}C$), describe la capacidad de un material para transmitir calor bajo condiciones específicas. La mayoría de los alimentos exhiben una baja conductividad térmica, lo que resulta en procesos de transferencia de calor predominante es lento. En consecuencia, los tiempos necesarios para calentar o enfriar los alimentos pueden producirse mediante la fragmentación del producto, la composición del alimento, especialmente el contenido de agua influye infinitamente en la conductividad térmica, al igual que la capacidad calorífica específica. La presión especialmente en la liofilización y la temperatura son uno de los factores que también coinciden en la conductividad térmica de los alimentos (Beltrán, J y Hoyos, B., 2005).

2.14 Calor específico de los alimentos

El calor específico de un alimento se determina mediante la temperatura. Este valor representa la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa del alimento en un grado Celsius ($^{\circ}C$). Dado que los alimentos son matrices complejas con diferentes composiciones, su calor específico puede alterar según sus componentes. Por lo tanto, la medición precisa del calor específico es particularmente importante para comprender y controlar los procesos de calentamiento y enfriamiento en la industria alimentaria (Orrego, 2003).

2.15 Análisis de varianza (ANOVA)

ANOVA, una técnica estadística muy reconocida y aplicada, posibilita la interpretación de los resultados experimentales al calcular la proporción de contribución de cada parámetro. Esta herramienta se emplea para evaluar la relevancia de cada parámetro en relación al problema analizado (Yuce et al., 2022).

2.16 Diseño completamente aleatorizado (DCA)

El diseño experimental completamente aleatorio destaca por su simplicidad entre todos los diseños empleados para comparar dos o más tratamientos, ya que solo contempla dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio (Moreno et al., 2018).

CAPÍTULO III 3 METODOLOGÍA

3.1 Localización

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala. Durante este proceso, se llevaron a cabo una serie de procedimientos en la materia prima, que incluyeron el remojo del pan, el malteado de la cebada, la molienda del grano, el macerado, el filtrado del mosto, el lavado, la cocción del mosto, el enfriado, el trasvasado, la fermentación, la maduración y el envasado. Además, se diseñaron mezclas para obtener formulaciones específicas y se realizaron análisis de propiedades físico-químicas, como el grado alcohólico, el pH, la densidad, la acidez y la viscosidad. Para complementar estos análisis, se llevaron a cabo pruebas en un laboratorio local para determinar el contenido proximal de nutrientes; los análisis realizados fueron los porcentajes de grasa, cenizas, humedad, proteína e hidratos de carbono. En cuanto a la evaluación de los parámetros relacionados con las propiedades termofísicas de las diferentes variedades de cerveza, se determinaron el calor específico, la densidad, viscosidad cinemática y conductividad térmica utilizando fórmulas empíricas.

3.2 Obtención de la materia prima

Principalmente, se empleó malta proporcionada por comerciantes, complementada con residuos de panadería adquiridos de panaderías locales seleccionadas en la ciudad Machala, provincia de El Oro, para la elaboración de ambas variedades de cerveza.

3.3 Diseño de mezclas

Se utilizó el programa estadístico *Design-Expert* para crear un diseño de mezclas con el fin de identificar las formulaciones óptimas de los componentes en la elaboración del producto. Como resultado, se generaron varios tratamientos, entre los cuales se seleccionaron dos debido, específicamente, a sus notables atributos sensoriales superiores «color», «sabor», «olor», «aceptabilidad» e «intensidad de alcohol» en comparación con los demás propuestos

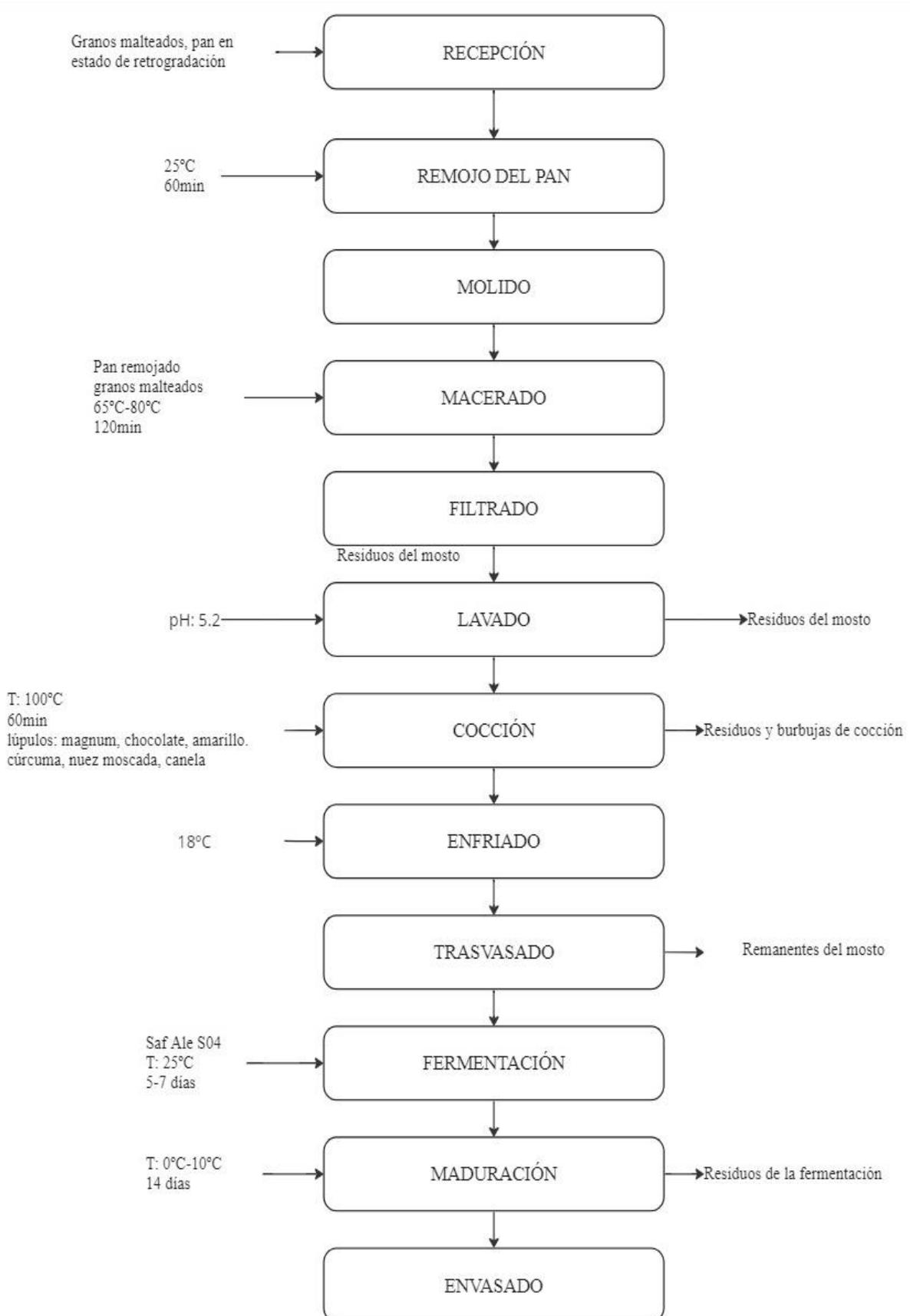
inicialmente. Estos fueron las cervezas elaboradas con 50 % de pan y 50 % de cebada malteada y 75 % de pan y 25 % de cebada malteada.

Tabla 2. Análisis de muestras

Orden	Experimentos	Bloque	Componente 1A:	Componente 2 B:
			Pan %	Cebada %
4	1	1	62,50%	37,50%
1	2	1	75,00%	25,00%
3	3	1	25,00%	75,00%
2	4	1	50,00%	50,00%
6	5	1	25,00%	75,00%
7	6	1	75,00%	25,00%
5	7	1	37,00%	62,50%
8	8	1	50,00%	50,00%

La Fig.2 detalla el diagrama de flujo con el cual se basó el proceso de elaboración de los dos tratamientos de la cerveza.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza



3.4 Descripción de las etapas del proceso de elaboración de cerveza

Preparación de la materia prima

Tanto los granos de cebada, previamente malteados en pro de la activación de sus enzimas, y el pan en estado de retrogradación fueron pesados para constituir los tratamientos por evaluarse. En el primer tratamiento de cerveza, se empleó una mezcla que consistía en un 50 % de malta (1,125 kg malta *Pale Ale*, 0,5625 kg malta *Biscuit* y 0,5625 kg de lúpulo chocolate) y 50 % de pan en estado de retrogradación; en el segundo tratamiento, se utilizó un 25 % de granos de malta (0,15 kg de *Pale Ale*, 0,45 kg *Biscuit* y 0,15 kg de lúpulo chocolate), completando el 75 % restante con pan en estado de retrogradación (2,25 kg). El lúpulo chocolate, para ambos tratamientos, se sometió a un proceso de macerado en frío durante doce horas antes de su utilización, mediante una relación de 1:3 con agua.

Remojo del pan

Para el remojo del pan, se empleó una proporción de 3 partes de agua por cada parte de pan. Esto implicó mezclar 6,75 litros de agua con el pan previamente triturado a temperatura ambiente y dejar reposar la mezcla durante una hora.

Molido

En cuanto a la molienda de las maltas en cada tratamiento, se empleó un molino manual con el objetivo de triturar el grano de malta previamente malteado. Este proceso se realizó para romper la cáscara interna y así aprovechar al máximo los almidones durante la maceración.

Macerado

Para la maceración en cada tratamiento, se utilizó una proporción de 2 partes de agua por cada parte de maltas. Se comenzó calentando el agua purificada a una temperatura de 80 °C, luego se incorporó el pan previamente triturado y remojado. Después de homogeneizar la mezcla, se mantuvo la temperatura controlada en 80 °C antes de agregar gradualmente las maltas molidas. Una vez añadidas, se tapó el recipiente y se vigiló la temperatura para asegurar que no descendiera por debajo de los 65 °C. Además, se realizaron mediciones de densidad con un refractómetro cada 15 minutos durante las dos horas de maceración.

Filtrado del mosto

Después de completar la maceración, se llevó a cabo un proceso de filtrado del mosto utilizando un cedazo para separar el residuo del líquido resultante.

Lavado

El pH del agua de lavado se ajustó utilizando ácido fosfórico hasta alcanzar un nivel de 5,2. Posteriormente, esta agua de lavado se combinó con el residuo del filtrado y se sometió a un segundo proceso de filtrado utilizando un cedazo.

Cocción del mosto

El mosto, previamente filtrado y lavado, se llevó a ebullición durante una hora. Veinte minutos después de iniciar la ebullición, se añadió el lúpulo magnum al mosto sin mezclarlo. Al mismo tiempo, se incorporó carragenina al lúpulo chocolate para actuar como clarificante, agregándolo al mosto junto con la cúrcuma y la nuez moscada durante los últimos quince minutos de la cocción. Durante los cinco minutos finales, se introdujeron el lúpulo amarillo y la canela.

Enfriado del mosto

Después de completar la cocción del mosto, se procedió de inmediato a enfriarlo mediante un choque térmico. Este proceso implicó sumergir el recipiente con el mosto en otro recipiente lleno de agua helada para lograr un enfriado más rápido.

Trasvasado

Se trasvasó utilizando como separador de material grosero un cedazo, el mosto previamente enfriado en bidones vacíos y previamente desinfectados.

Fermentación

Para la fermentación, se calculó la cantidad adecuada de levadura Saf Ale S-04 para cada tratamiento mediante una relación matemática. Antes de añadir la levadura al mosto en el fermentador, se permitió que este se aclimatara durante unos minutos a temperatura ambiente. Luego, la levadura se activó hirviendo una cantidad de agua diez veces mayor que la cantidad de levadura necesaria, enfriándola y luego agregándola al mosto, dejándola reposar durante diez minutos.

Maduración

El líquido resultante se mantuvo a bajas temperaturas durante varios días para permitir la clarificación y el desarrollo adecuado de las propiedades de la cerveza durante la maduración.

Envasado

El envasado de la cerveza se realizó en botellas de vidrio previamente esterilizadas y desinfectadas para garantizar la ausencia de contaminación.

3.5 Análisis químico proximal

El análisis químico proximal de las formulaciones obtenidas se realizó en un laboratorio externo, en el cual se contaban con los equipos requeridos para la obtención de los resultados de la composición de las muestras analizadas. Con base en los métodos SE.MI, se realizaron ensayos fisicoquímicos para determinar la cantidad de grasa total, ceniza, humedad y proteína; mientras que el porcentaje de hidratos de carbono presente en las muestras se obtuvieron por diferencia de 100 de la suma de los otros componentes.

3.6 Análisis de las propiedades fisicoquímicas

3.6.1 Grado alcohólico

El análisis del grado alcohólico se llevó a cabo por triplicado utilizando un refractómetro ATC. Se extrajeron 120 mL de cada muestra en un vaso de precipitación de 250 mL a una temperatura de 20 °C. Luego, se tomaron unas gotas de cada muestra y se insertaron en la placa de medición del refractómetro. La lectura del contenido alcohólico por volumen se observó a través del ocular.

3.6.2 pH

La medición del pH se realizó utilizando un pHmetro (Apera Instruments, Inc, California, Estados Unidos). El instrumento se calibró a 20°C y se sumergieron sus electrodos en vasos de precipitación de 150 mL con 50 mL de cada muestra de cerveza. Se esperó a que las lecturas se estabilizaran para validarlas, realizando estas mediciones por triplicado.

3.6.3 Densidad

La densidad de los cuatro tipos de cerveza se midió por triplicado utilizando un picnómetro Pyrex (Corning Inc., Estados Unidos). Se registró el peso de cada picnómetro y se llenó cada uno de estos hasta su capacidad máxima y se selló con su tapa correspondiente para eliminar el líquido sobrante y alcanzar los 10 mL necesarios. Luego, se pesaron los picnómetros llenos en una balanza analítica compacta HR-250AZ (A&D Company Limited, Japón). Los valores obtenidos se dividieron por los 10 mL de capacidad del picnómetro para obtener los resultados en g/mL.

3.6.4 Acidez titulable

Se preparó una solución de hidróxido de sodio, 0,1 N, antes de la medición. A todas las muestras se les realizó una disolución de 10 mL en 50 mL de agua destilada en vasos de precipitación de 500 mL para evitar dificultades en la lectura debido a la reacción del álcali con la fenolftaleína. Se agregaron 2 gotas de fenolftaleína en cada muestra y se tituló con hidróxido de sodio, 0,1 N, hasta que la solución adquirió un color ligeramente rosa durante la agitación. Se tomaron las lecturas por triplicado de cada muestra según la cantidad de hidróxido de sodio requerido para este cambio de color.

3.6.5 Viscosidad

Se obtuvieron resultados de viscosidad por triplicado en las cuatro muestras de cerveza analizadas utilizando un viscosímetro digital rotacional Viscolead ONE (Fungilab, España). Una vez calibrado el viscosímetro, se realizaron las lecturas sumergiendo el rotor del viscosímetro completamente en las muestras de cerveza. Las mediciones se mostraron en la pantalla del instrumento.

3.7 Determinación propiedades termo-físicas

Se llevó a cabo una caracterización de las propiedades físicas de las muestras, a decir, la conductividad térmica, la densidad, el calor específico y la viscosidad cinemática. La comprensión de estas propiedades es fundamental para diversos campos, como la ingeniería de materiales, la ciencia de los alimentos y la química. Para estimar la conductividad térmica (W/mK), la densidad (kg/m^3) y el calor específico ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$) de manera empírica, se utilizaron las ecuaciones (Choi y Okos, 1986). Estas ecuaciones se basan en la composición proximal de las muestras y la temperatura a la que se encontraban (20°C como referencia en el presente estudio). La viscosidad cinemática (m^2/s) se calculó utilizando la ecuación general de viscosidad cinemática, que relaciona la viscosidad dinámica (Pa/s) con la densidad (kg/m^3).

CAPÍTULO IV 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis proximal de las muestras de cerveza

En las tablas 4 y 5 se especifican las composiciones químico-proximales de los dos tratamientos de las cervezas.

Tabla 3. Composición químico proximal de la cerveza elaborada con 50 % de cebada y 50 % de pan

Ensayo	Método	Unidad	Resultado
Grasa total	SE.MI	%	0,1
Ceniza	SE.MI	%	0,34
Humedad	SE.MI	%	88,84
Proteína	SE.MI	%	0,49
Hidratos de carbono	Diferencia	%	10,23

En la composición proximal de la cerveza con 50 % de cebada y 50 % de pan, los ensayos fisicoquímicos representados en porcentaje (%), con base en el 100 % de sus componentes, se obtuvieron resultados de grasa total con 0,1 %, ceniza con 0,34 %, humedad con 88,84 %, proteína con 0,49 % e hidratos de carbono con 10,23 %.

Tabla 4. Composición químico proximal de la cerveza elaborada con 25 % de cebada y 75 % de pan

Ensayo	Método	Unidad	Resultado
Grasa total	SE.MI	%	0,09

Ceniza	SE.MI	%	0,3
Humedad	SE.MI	%	92,79
Proteína	SE.MI	%	0,28
Hidratos de carbono	Diferencia	%	6,54

En la composición proximal de la cerveza con una proporción del 25 % de cebada y el 75 % de pan, los ensayos fisicoquímicos, expresados en porcentajes con base en el total de sus componentes, arrojaron los siguientes resultados: grasa total, 0,09 %; ceniza, 0,3 %; humedad, 92,79 %; proteína, 0,28 %; e hidratos de carbono, 6,54 %. Por consiguiente, se observa que la cerveza elaborada con un 50 % de pan en su formulación presenta una ligera mayor cantidad de estos componentes, excepto en humedad, en comparación con la cerveza elaborada con un 75 % de pan.

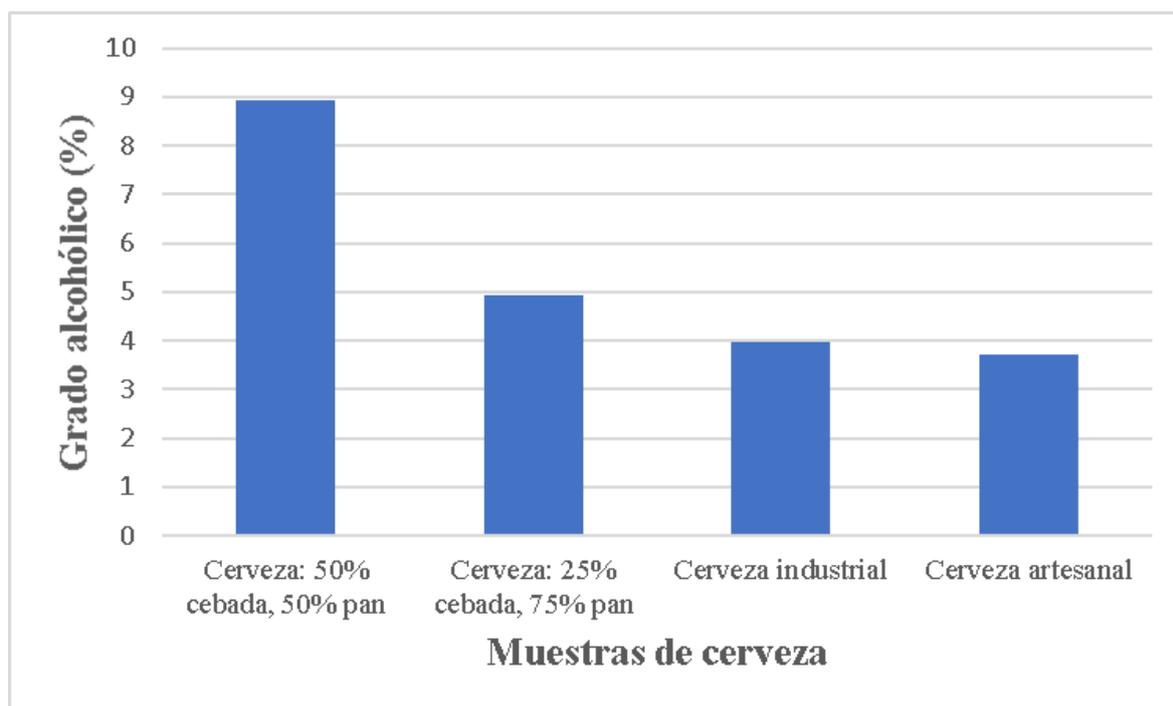
4.2. Resultados de análisis fisicoquímicos de las dos cervezas elaboradas, cerveza industrial y cerveza artesanal

4.2.1. Grado alcohólico

Tabla 5. Valores de grado alcohólico de cada muestra de cerveza

Cervezas	Cerveza: 50 % Cebada / 50 % Pan	Cerveza: 25 % Cebada / 75 % Pan	Cerveza industrial	Cerveza artesanal
Grado alcohólico	8,93	4,94	3,98	3,72

Figura 3. Grado alcohólico alcanzado en cada muestra



Los análisis comparativos del contenido de alcohol en cada muestra de cerveza revelaron importantes diferencias. La cerveza elaborada con un 50 % de pan retrogradado alcanzó un grado alcohólico del 8,84 %, en contraste con la variante compuesta por un 75 % de pan y un 25 % de cebada, que registró un 4,94 %. Esta última se acercó más a los niveles típicos de alcohol en cervezas industriales y artesanales, que son del 3,9 % y 3,6 % respectivamente. Estos resultados indican que los azúcares presentes en el pan son fermentables, aunque no con la misma eficacia que los de la malta, posiblemente debido a la proporción de sustitución en las muestras elaboradas. Se observó que el contenido de alcohol era mayor en la cerveza con mayor porcentaje de cebada en su formulación (ver Tabla 5).

En una investigación realizada por Rojo (2019) sobre el contenido alcohólico en cervezas elaboradas con pan, se encontró que la cerveza de control mostraba el mayor porcentaje (4,91 %), atribuido a los azúcares fermentables presentes en la malta pero no en el pan. Esto sugiere que, aunque existan azúcares en el pan, pueden no ser totalmente compatibles con la fermentación debido a la acción de la levadura. Rojo también elaboró una muestra exclusivamente con pan, que arrojó el porcentaje más bajo (3,15 %), reforzando la idea de la diferencia en la fermentabilidad de los azúcares entre el pan y la malta.

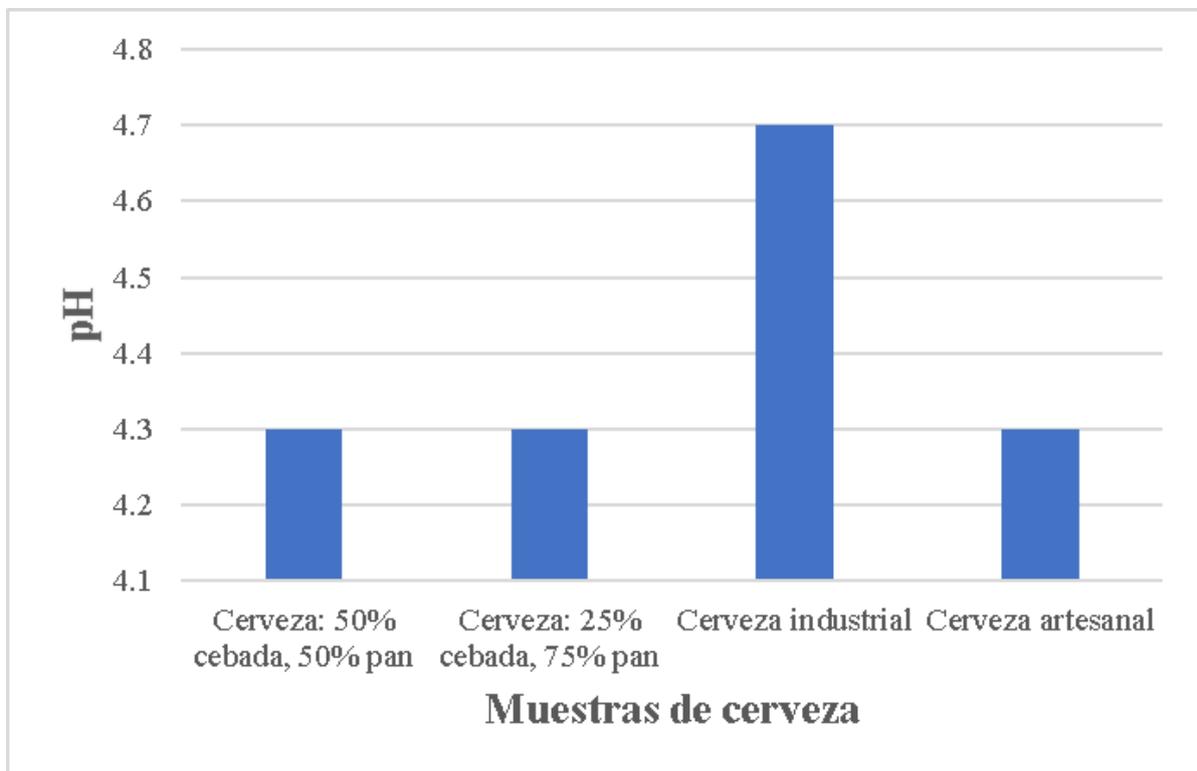
Respecto a los demás tratamientos, no se observaron grandes diferencias en los tipos de pan utilizados. Se plantea que esta variabilidad podría estar relacionada con la composición del pan, su contenido de grasa o la presencia de conservantes. Los tratamientos con pan de bregado, pan de molde, pan de pueblo y pan invertido obtuvieron niveles de alcohol de 4,65 %, 4,50 %, 4,10 % y 3,30 % respectivamente.

4.2.2. pH

Tabla 6. Valores de pH de cada muestra de cerveza

Cervezas	Cerveza: 50% Cebada / 50% Pan	Cerveza: 25% Cebada /75% Pan	Cerveza industrial	Cerveza artesanal
pH	4,3	4,3	4,7	4,3

Figura 4. Valor de pH alcanzado en cada muestra



El análisis del pH en cada muestra revela que tanto las cervezas elaboradas alcanzaron un valor de 4.3, como se muestra en la Tabla 6 y la Figura 4. Este pH las sitúa dentro de un rango considerado como bebida ácida para el consumo. En comparación, tanto las cervezas industriales como artesanales registraron un pH de 4.7, lo que significa que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de 3.5-4.8 establecido por la norma NTE INEN 2262.

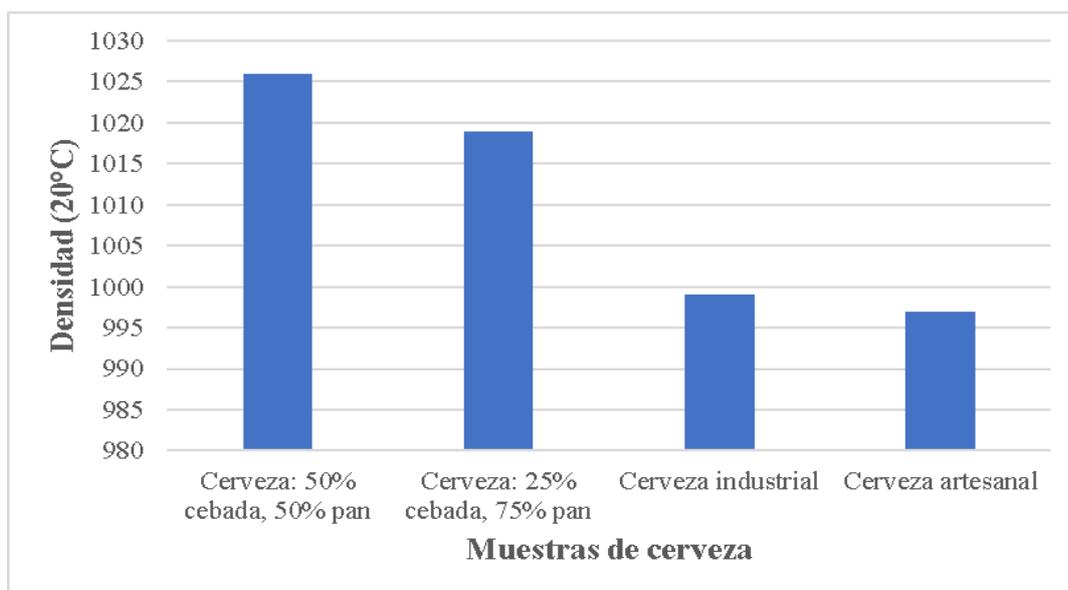
Según los hallazgos de Aranda (2021), las cervezas elaboradas a partir de pan son aptas para el consumo humano, dado que su pH se sitúa por debajo de 5.5, como establece el RD 678/2016. En este estudio, los valores oscilaron entre 3.75 y 3.91, siendo la cerveza con pan de centeno la que presentó el menor valor y la de pan blanco el mayor. Sin embargo, Aranda (2021) sugiere que estos valores podrían ubicarse por debajo del rango deseado de pH para una cerveza ideal debido a la inclusión de pan en la formulación.

4.2.3. Densidad

Tabla 7. Valores de densidad de cada muestra de cerveza (kg/m³)

Cervezas	Cerveza: 50% Cebada / 50% Pan	Cerveza: 25% Cebada /75% Pan	Cerveza industrial	Cerveza artesanal
Densidad	1026 kg/m ³	1019 kg/m ³	999 kg/m ³	997 kg/m ³

Figura 5. Densidad alcanzada en cada muestra



Como se puede observar en la Tabla 7, los resultados de densidad obtenidos en unidades de kg/m^3 a una temperatura de 20°C ; los cuales nos indican que las cervezas elaboradas con 50% de pan y 75% de pan obtuvieron 1026 kg/m^3 y 1019 kg/m^3 , respectivamente. En comparación con las cervezas industrial y artesanal, las cuales tienen 999 kg/m^3 y 997 kg/m^3 , respectivamente, lo cual nos da a entender que esta diferencia se puede tratar debido al tipo de cerveza, las maltas con la que se trabajó en la formulación o el tipo de proceso de elaboración de cada una.

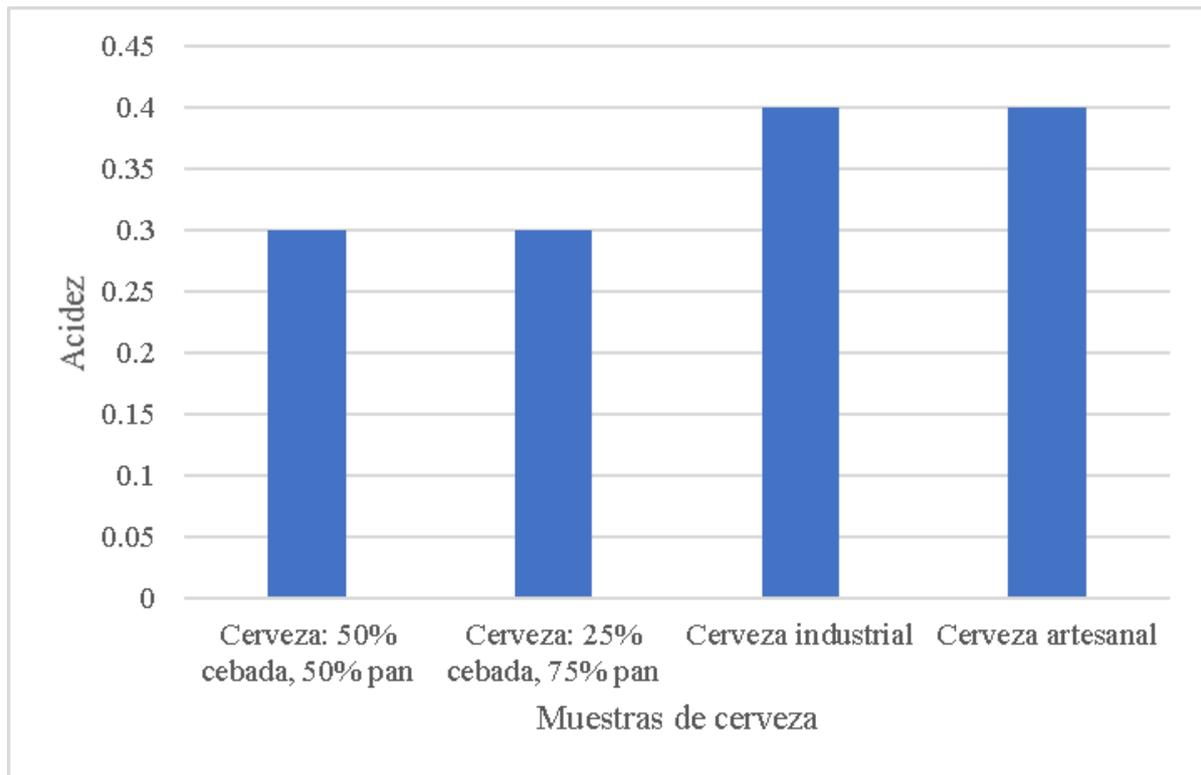
De manera similar, según Rojo, (2019) las cervezas analizadas obtuvieron diferencias en sus valores de densidad, las cuales expresadas en unidades de kg/m^3 obtuvo un rango de 1002 a 1014, siendo la cerveza de solo pan la más baja (1002) y la de pan de molde la más alta (1014), las demás estuvieron cercanas con valores de 1010 y 1012. Se podría decir que la adición de pan puede influir en densidad final de la cerveza debido a los almidones presentes en el pan.

4.2.4. Acidez

Tabla 8. Valores de acidez de cada muestra de cerveza

Cervezas	Cerveza: 50% Cebada / 50% Pan	Cerveza: 25% Cebada /75% Pan	Cerveza Industrial	Cerveza artesanal
Acidez	0,3	0,3	0,4	0,4

Figura 6. Gráfico de acidez resultante de cada muestra



Los resultados de la Tabla 8 revelan los niveles de acidez en cada muestra de cerveza. Las variantes elaboradas con pan registraron un valor de 0,3 mientras que tanto la cerveza industrial como la artesanal obtuvieron un valor ligeramente superior de 0,4. Esta pequeña disparidad sugiere que podría haber influencias relacionadas con el proceso de elaboración o los componentes utilizados en las cervezas artesanales e industriales, mientras que en las elaboradas con pan, este efecto podría atribuirse a la inclusión de este ingrediente en ambas formulaciones.

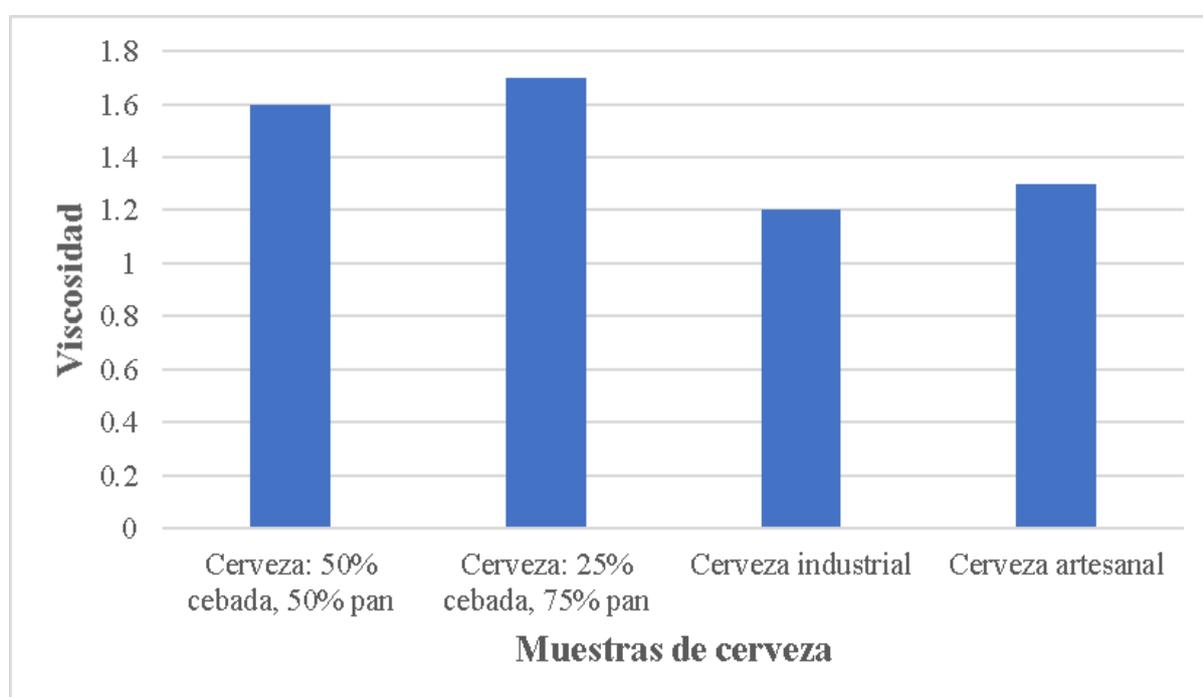
Además, en su estudio, Aranda (2021) analizó los niveles de acidez en las cervezas elaboradas y en la muestra de control, demostrando que aquellas preparadas con pan en su composición son ligeramente menos ácidas que las elaboradas únicamente con cebada. Este hallazgo refuerza la idea de que la adición de pan puede influir en los atributos finales de calidad de este tipo de bebidas alcohólicas.

4.2.5. Viscosidad

Tabla 9. Valores de viscosidad de cada muestra de cerveza (MPa/s)

Cervezas	Cerveza: 50% Cebada / 50% Pan	Cerveza: 25% Cebada /75% Pan	Cerveza industrial	Cerveza artesanal
Viscosidad	1,6 MPa/s	1,7 MPa/s	1,2 MPa/s	1,3 MPa/s

Figura 7. Gráfico de viscosidad de cada muestra



Los datos de viscosidad, expresados en MPa/s y detallados en la Tabla 9, muestran un rango de valores entre 1.2 y 1.7. Destaca que las cervezas con un 50% y un 75% de contenido de pan son las que presentan una mayor viscosidad, con 1,6 y 1,7 respectivamente. En contraste, la cerveza industrial registró un valor de 1,2 y la artesanal, de 1,3. Esta diferencia puede atribuirse al grado alcohólico de cada muestra, ya que las cervezas elaboradas con pan muestran una mayor intensidad en este parámetro. De acuerdo con el estudio de Camarena, R & García, F (2019), la viscosidad de la cerveza verde se determinó en tres tratamientos con valores de 0,00120, 0,00126 y 0,00121 expresados en Pa/s. En comparación con las cervezas con contenido de pan, estas muestran una tendencia a ser más viscosas, posiblemente debido a la mezcla de masas utilizadas en la formulación de este trabajo de investigación.

4.3. Propiedades termo-físicas

La Tabla 11 exhibe las propiedades termo-físicas de las cuatro muestras de cerveza analizadas.

Tabla 10. Propiedades termo-físicas de las muestras analizadas

<u>Cervezas</u>	Conductivida d térmica (k)	Densidad (ρ)	Calor específico (Cp)	Viscosidad cinemática
Cerveza: 50% pan / 50 %cebada	0,5981 W/mK	1056,92 kg/m ³	3880,40 J/kg°C	1513,83 m ² /s
Cerveza: 75% pan / 25% cebada	0,5972 W/mK	1034,42 kg/m ³	3983,80 J/kg°C	1643,43 m ² /s
Cerveza Industrial	0,7794 W/mK	1482,86 kg/m ³	4468,76 J/kg°C	809,24 m ² /s
Cerveza artesanal	0,8858 W/mK	1770,91 kg/m ³	4649, 26 J/kg°C	734,09 m ² /s

Los resultados de las propiedades termofísicas, que incluyen conductividad térmica, densidad, calor específico y viscosidad cinemática, se presentan en la Tabla 10. Se observa que ambos tratamientos de cerveza elaborada muestran valores más bajos en conductividad térmica, densidad y calor específico en comparación con las variantes industrial y artesanal. Sin embargo, en lo que respecta a la viscosidad cinemática, estos tratamientos exhiben valores más altos que las cervezas industrial y artesanal. Este hallazgo sugiere que los fluidos involucrados presentan una resistencia ligeramente mayor al flujo en comparación con las otras muestras.

4.4. Análisis estadístico de los resultados fisicoquímicos de las cervezas elaboradas, cerveza industrial y cerveza artesanal

Una vez obtenidos los resultados de los análisis fisicoquímicos, se procedió a ingresar los datos en el programa de hoja de cálculo Microsoft Excel, para luego transferirlos al programa estadístico Minitab. El objetivo fue comparar los resultados triplicados y determinar si existían diferencias significativas entre los diferentes tipos de cerveza analizados en cada parámetro.

Para ello, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA). Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

H0: No existen diferencia significativa ($p \geq 0,05$) entre los resultados obtenidos entre los parámetros de cada cerveza.

H1: Existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los resultados obtenidos entre los parámetros de cada cerveza.

Tabla 11. Media de los ensayos por triplicado del grado alcohólico

Tipos de cervezas	Media de los ensayos por triplicado
Pan/cebada (50/50)	8,93
Pan/cebada (25/75)	4,94
Comercial	3,98
Artesanal	3,72

Figura 8. Gráfica de intervalos de Grado alcohólica vs Tipos de cervezas

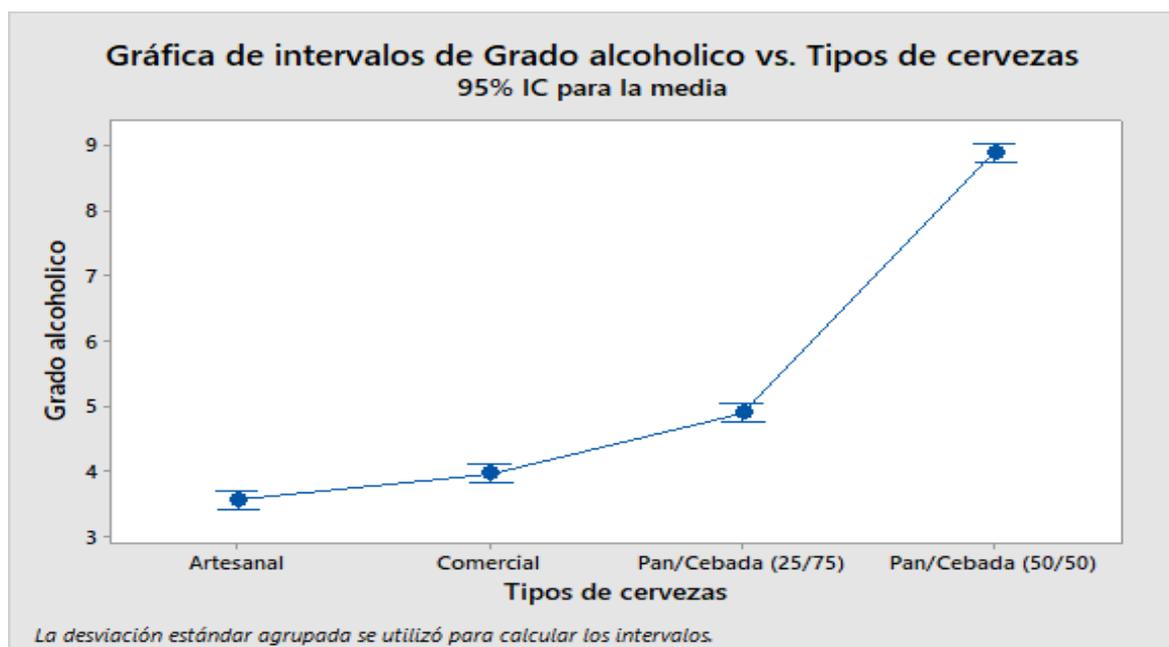


Tabla 12. Análisis de varianza del grado alcohólico de los tipos de cerveza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tipos de cervezas	3	53,6933	17,8978	1534,10	0,000
Error	8	0,0933	0,0117		
Total	11	53,7867			

Tabla 13. Prueba de Tukey del grado alcohólico en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%

Tipos de cervezas	N	Media	Agrupación
Pan/Cebada (50/50)	3	8,900	A
Pan/Cebada (25/75)	3	4,900	B
Comercial	3	3,9667	C
Artesanal	3	3,5667	D

Se puede evidenciar en la Tabla 12 y 13 que el resultado obtenido mediante un DCA de ANOVA en los valores de grado alcohólico no se encuentra dentro del intervalo de confianza del 5% planteado ($0,000 < 0,05$) en el análisis de varianza, por lo que se concluye que existen diferencia significativa entre muestras de cerveza analizadas.

Tabla 14. Media de los ensayos por triplicado del pH

Tipos de cervezas	Media de los ensayos por triplicado
Pan/cebada (50/50)	4,3

Pan/cebada (25/75)	4,3
Comercial	4,7
Artesanal	4,3

Figura 9. Gráfica de intervalos de pH vs. Tipos de cervezas

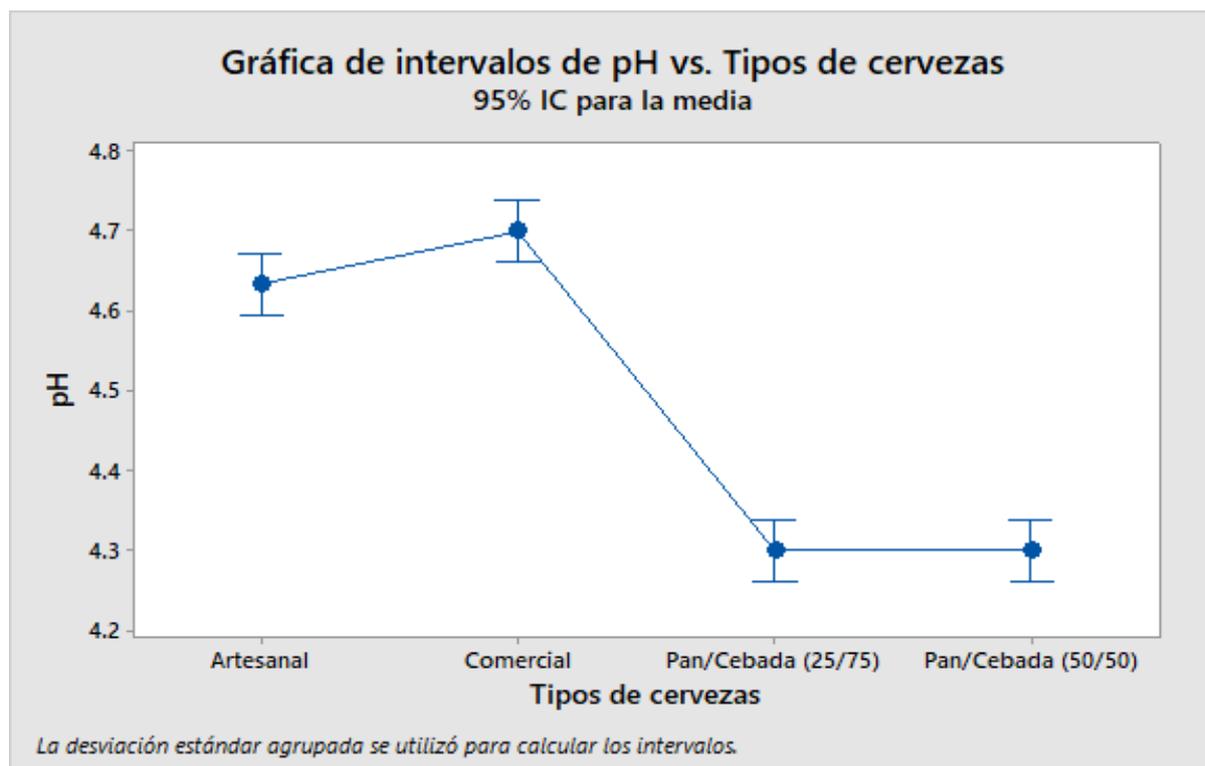


Tabla 15. Análisis de varianza del pH de los tipos de cerveza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tipos de cervezas	3	0,410000	0,136667	164,00	0,000
Error	8	0,006667	0,000833		
Total	11	0,416667			

Tabla 16. Prueba de Tukey del pH en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%

Tipos de cervezas	N	Media	Agrupación
Comercial	3	4,700	A
Artesanal	3	4,6333	A
Pan/Cebada (50/50)	3	4,300	B
Pan/Cebada (25/75)	3	4,300	B

Se puede observar en la Tabla 15 y 16 que el resultado obtenido mediante un DCA de ANOVA en los valores de pH no se encuentra dentro del intervalo de confianza del 5% planteado ($0,000 < 0,05$) en el análisis de varianza, por lo que se concluye que existen diferencias significativas entre las muestras de cerveza analizadas para este parámetro.

Tabla 17. Media de los ensayos por triplicado de acidez

Tipos de cervezas	Media de los ensayos por triplicado
Pan/cebada (50/50)	0,3
Pan/cebada (25/75)	0,3
Comercial	0,4
Artesanal	0,4

Figura 10. Gráfica de intervalos de ácidos vs. Tipos de cervezas

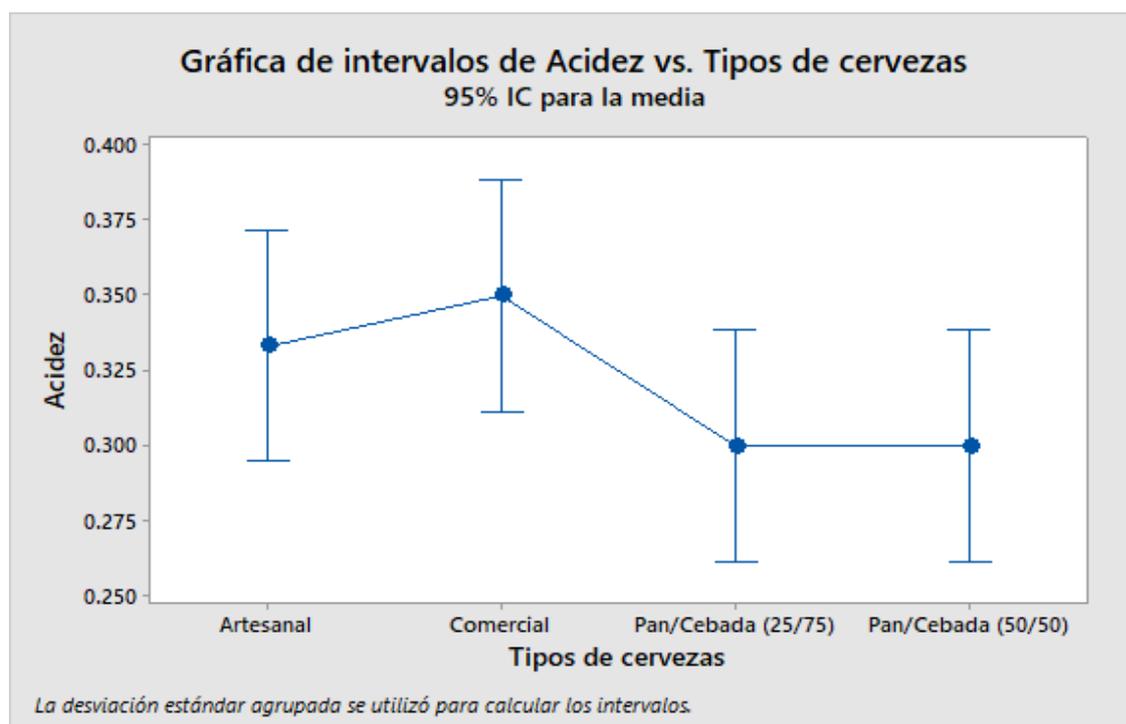


Tabla 18. Análisis de varianza de acidez de los tipos de cerveza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tipos de cervezas	3	0,005625	0,001875	2,25	0,160
Error	8	0,006667	0,000833		
Total	11	0,012292			

Tabla 19. Prueba de Tukey de la acidez en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%

Tipos de cervezas	N	Media	Agrupación
Comercial	3	0,3500	A
Artesanal	3	0,3333	A
Pan/Cebada (50/50)	3	0,3000	A

Pan/Cebada (25/75)	3	0,3000	A
--------------------	---	--------	---

Se puede evidenciar en la Tabla 18 y 19, que el resultado obtenido mediante un DCA de ANOVA en los valores de acidez se encuentra dentro del intervalo de confianza del 5% planteado ($0,160 > 0,05$) en el análisis de varianza, por lo que se concluye que no existen diferencias significativas entre las muestras de cerveza analizadas para esta variable.

Tabla 20. Media de los ensayos por triplicado del grado de densidad

Tipos de cervezas	Media de los ensayos por triplicado
Pan/cebada (50/50)	1,026
Pan/cebada (25/75)	1,019
Comercial	0,999
Artisanal	0,997

Figura 11. Gráfica de intervalos de densidad vs. Tipos de cervezas

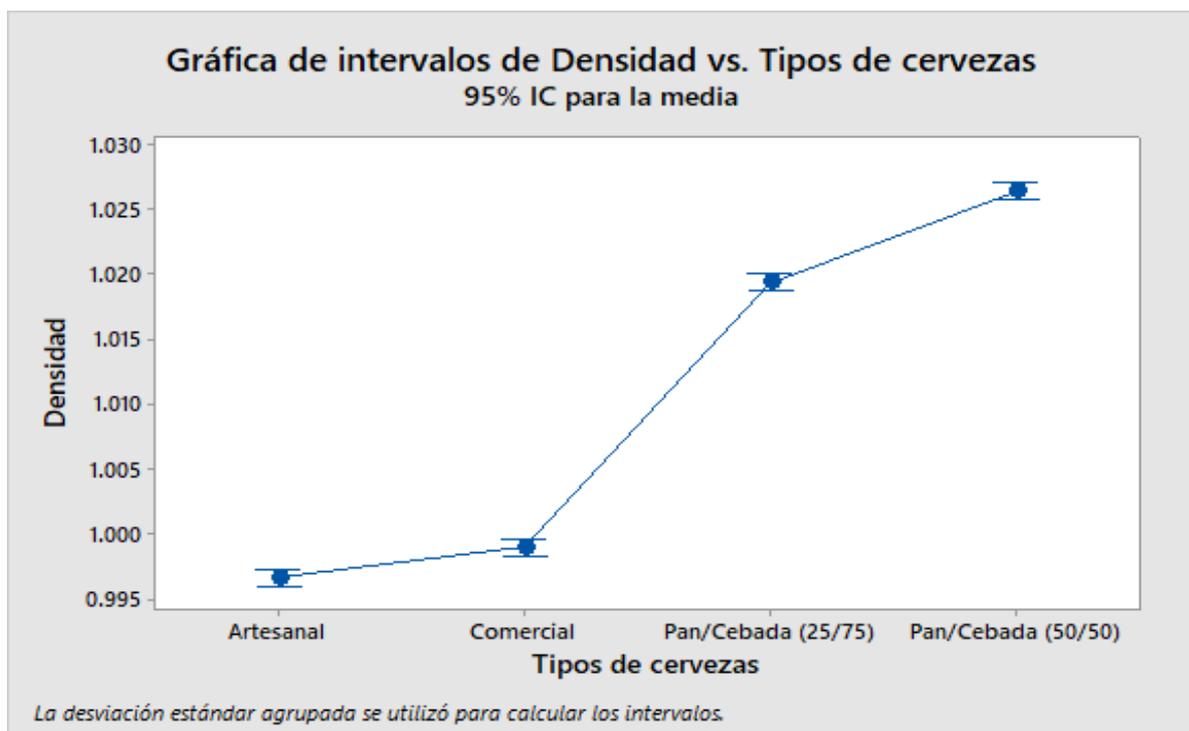


Tabla 21. Análisis de varianza de densidad de los tipos de cerveza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tipos de cervezas	3	0,001957	0,000652	2608,89	0,000
Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,001959			

Tabla 22. Prueba de Tukey de la densidad en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%

Tipos de cervezas	N	Media	Agrupación
Pan/Cebada (50/50)	3	1,02633	A
Pan/Cebada (25/75)	3	1,01933	B
Comercial	3	0,9990	C
Artesanal	3	0,996667	D

Se puede evidenciar en la Tabla 21 y 22 que el resultado obtenido mediante un DCA de ANOVA en los valores de densidad no se encuentra dentro del intervalo de confianza del 5% planteado ($0,000 < 0,05$) en el análisis de varianza por lo que se concluye que existen diferencias significativas entre las muestras de cerveza analizadas para este parámetro.

Tabla 23. Media de los ensayos por triplicado del grado de viscosidad

Tipos de cervezas	Media de los ensayos por triplicado
Pan/cebada (50/50)	1,6
Pan/cebada (25/75)	1,7

Comercial	1,2
Artesanal	1,3

Figura 12. Gráfica de intervalos de viscosidad vs. Tipos de cervezas

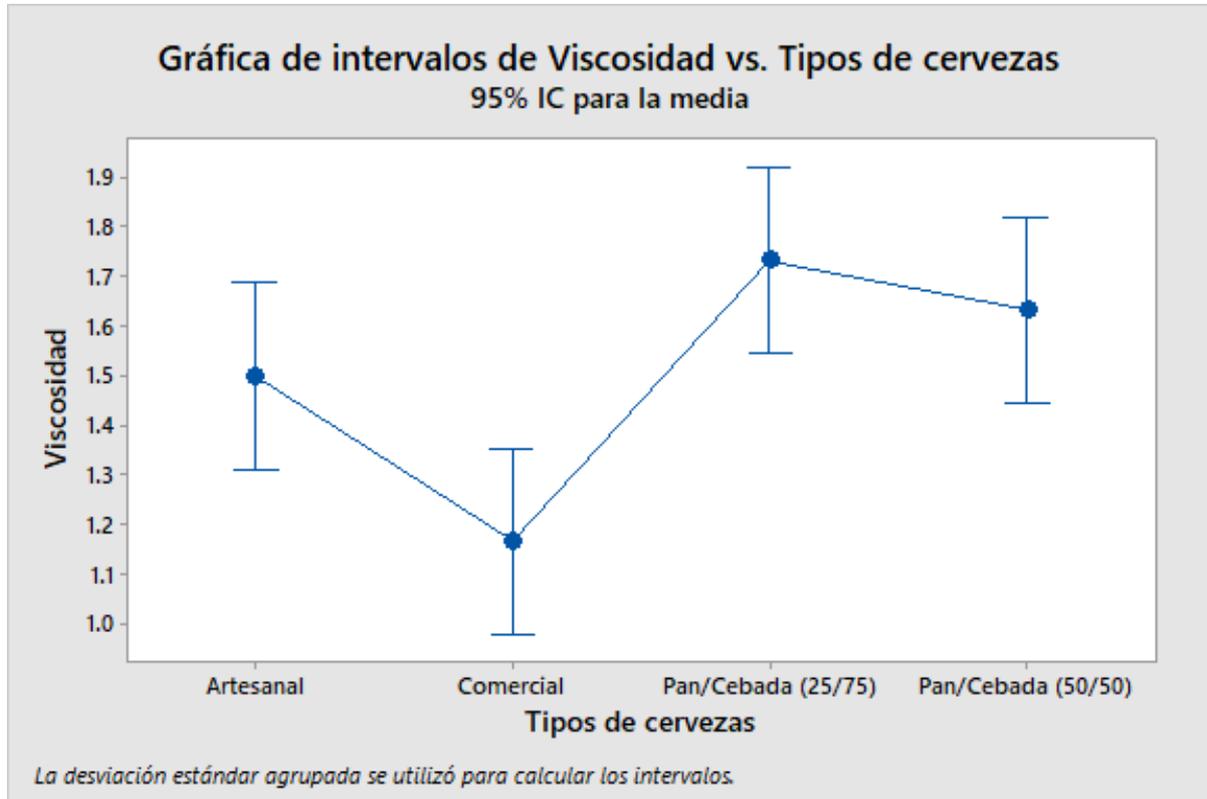


Tabla 24. Análisis de Varianza de viscosidad de los tipos de cerveza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tipos de cervezas	3	0,5492	0,18306	9,15	0,006
Error	8	0,1600	0,02000		
Total	11	0,7092			

Tabla 25. Prueba de Tukey de la viscosidad en las muestras evaluadas a un nivel de confianza del 95%

Tipos de cervezas	N	Media	Agrupación	
Pan/Cebada (25/75)	3	1,7333	A	
Pan/Cebada (50/50)	3	1,6333	A	
Artesanal	3	1,500	A	B
Comercial	3	1,1667	B	

Se puede observar en la Tabla 24 y 25 que el resultado obtenido mediante un DCA de ANOVA en los valores de viscosidad no se encuentra dentro del intervalo de confianza del 5% planteado ($0,006 < 0,05$) en el análisis de varianza, por lo que se concluye que existen diferencias significativas entre las muestras de cerveza analizadas para este parámetro.

4.4. Evaluación sensorial

Para evaluar la intensidad de percepción de los atributos de color, sabor, olor, aceptabilidad e intensidad de alcohol en las dos muestras elaboradas, se contó con la participación de 21 personas, estudiantes de la carrera de alimentos de la Universidad Técnica de Machala, con edades comprendidas entre los 18 y 22 años. La intensidad de los atributos se valoró utilizando una escala de Likert de tres puntos, que iba del 1 al 3, con las siguientes denominaciones: 1 para «me gusta mucho», 2 para «me es indiferente» y 3 para «no me gusta». Posteriormente, los resultados de la cata se registraron en una hoja de cálculo de Excel y se procesaron utilizando el software Minitab, con un diseño de bloques, donde la variable bloqueada son los catadores y se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre las medias de los grupos mediante el valor P.

Tabla 26. Resultados de evaluación sensorial de atributos en cerveza 50% de cebada y 50% de pan

Catadores	Color	Sabor	Olor	Aceptabilidad	Intensidad de alcohol
1	2	2	1	2	3
2	1	2	1	1	1
3	2	1	1	2	1
4	1	2	1	1	1
5	2	2	1	2	2
6	2	2	1	2	2
7	1	1	2	1	1
8	1	2	2	1	1
9	2	1	1	1	2
10	1	2	1	3	1
11	2	2	1	2	2
12	2	2	1	2	1
13	1	1	2	1	1
14	1	3	2	2	1
15	2	2	1	1	1
16	1	2	1	2	1
17	1	1	1	2	1
18	1	1	1	1	1

19	1	1	1	1	1
20	2	3	1	2	2
21	1	2	1	2	2

Tabla 27. Resultados de evaluación sensorial de atributos en cerveza 25% de cebada y 75% de pan

Catadores	Color	Sabor	Olor	Aceptabilidad	Intensidad de alcohol
1	3	3	3	3	3
2	2	3	2	2	3
3	2	3	1	2	2
4	3	3	2	2	2
5	2	3	1	3	2
6	2	3	1	2	3
7	2	3	2	2	2
8	2	1	2	1	1
9	3	3	2	1	2
10	2	2	2	1	2
11	1	2	1	2	1
12	3	2	1	2	2
13	3	3	1	3	3

14	2	2	1	1	1
15	1	3	1	3	2
16	2	3	1	3	2
17	3	3	2	3	2
18	2	2	1	2	3
19	1	2	2	1	1
20	3	3	2	3	2
21	2	2	1	2	3

4.5. Análisis estadístico de la evaluación sensorial

Para el análisis estadístico de las muestras y los catadores se realizó mediante un diseño de bloques de ambas muestras, con los cuales se plantearon los siguientes análisis para la interpretación:

H0: No existen diferencia significativa ($p \geq 0,05$) ni entre los atributos de las muestras, ni los catadores.

H1: Existe diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los atributos de las muestras y entre los catadores.

Tabla 28. ANOVA – Atributo color entre grupos de ambas muestras

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	1	7,0435	7,04348	25,12	0,000
CATADORES	20	9,9271	0,49635	1,77	0,085
Error	26	7,2899	0,28038		

Falta de ajuste	20	7,2899	0,36449	*	*
Error puro	6	0,0000	0,00000		
Total	47	23,9792			

En la Tabla 28 se puede evidenciar que los resultados propuestos para un nivel de confianza del 5 % para el atributo color, fueron obtenidos para la comparación de las medias mediante ANOVA. En cuanto al resultado de las muestras, se puede observar que este se encuentra fuera del rango del nivel de confianza ($0,000 < 0,05$) por lo que se determina que existen diferencias significativas entre estas muestras; en lo que respecta al resultado de los catadores, este valor se encuentra dentro del rango establecido ($0,085 > 0,05$), por lo que no existen diferencias significativas entre estos grupos.

Tabla 29. ANOVA – Atributo sabor entre grupos de ambas muestras

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	1	7,5749	7,57488	21,66	0,000
CATADORES	20	7,3844	0,36922	1,06	0,442
Error	26	9,0918	0,34968		
Falta de ajuste	20	9,0918	0,45459	*	*
Error puro	6	0,0000	0,00000		
Total	47	23,9167			

En la Tabla 29 se puede apreciar que los resultados propuestos para un nivel de confianza del 5 % para el atributo sabor, los datos adquiridos para la comparación de las medias mediante ANOVA; con respecto al resultado de las muestras se puede analizar que se sitúan fuera del

rango del nivel de confianza ($0,000 < 0,05$), debido a esto se concluye que existen diferencias significativas entre estos grupos. En cuanto al resultado de los catadores, el resultado se ubica dentro del rango establecido ($0,442 > 0,05$), por ende, no existen diferencias significativas entre estos grupos.

Tabla 30. ANOVA – Atributo olor entre grupos de ambas muestras

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	1	1,3913	1,39130	6,45	0,017
CATADORES	20	6,3701	0,31851	1,48	0,174
Error	26	5,6087	0,21572		
Falta de ajuste	20	5,6087	0,28043	*	*
Error puro	6	0,0000	0,00000		
Total	47	13,2500			

En la Tabla 30 se puede observar que los resultados propuestos para un nivel de confianza del 5 % para el atributo olor. Se obtuvieron para la comparación de las medias mediante ANOVA; con respecto al resultado obtenido de las muestras, se puede evidenciar que se encuentra fuera del rango del nivel de confianza ($0,017 < 0,05$), por lo que existen diferencias significativas entre estos grupos. Respecto al valor obtenido de los catadores, este resultado se encuentra dentro del rango establecido ($0,174 > 0,05$), por lo que no existen diferencias significativas entre estos grupos.

Tabla 31. ANOVA – Atributo aceptabilidad entre grupos de ambas muestras

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
---------------	-----------	------------------	------------------	----------------	----------------

Muestra	1	2,7923	2,79227	8,18	0,008
CATADORES	20	13,4854	0,67427	1,98	0,052
Error	26	8,8744	0,34132		
Falta de ajuste	20	8,8744	0,44372	*	*
Error puro	6	0,0000	0,00000		
Total	47	25,6667			

En la Tabla 31 se puede evidenciar que los resultados propuestos para un nivel de confianza del 5 % para el atributo aceptabilidad, fueron obtenidos para la comparación de las medias mediante ANOVA; en cuanto al resultado de las muestras se puede observar que se encuentra fuera del rango del nivel de confianza ($0,008 < 0,05$), debido a esto, existen diferencias significativas entre estos grupos y en lo que respecta al resultado de los catadores. Este valor se encuentra dentro del rango establecido ($0,052 > 0,05$), por lo que no existen diferencias significativas entre estos grupos.

Tabla 32. ANOVA – Atributo intensidad de alcohol entre grupos de ambas muestras

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	1	6,0386	6,03865	23,69	0,000
CATADORES	20	12,9910	0,64955	2,55	0,013
Error	26	6,6280	0,25492		

Falta de ajuste	20	6,6280	0,33140	*	*
Error puro	6	0,0000	0,00000		
Total	47	25,9167			

En la Tabla 32 se puede apreciar que los resultados propuestos para un nivel de confianza del 5 % para el atributo intensidad de alcohol, fueron obtenidos para la comparación de las medias mediante ANOVA; en ambos casos respecto a las muestras (0,000) y los catadores (0,013), los resultados son menores al nivel de significancia tratado (0,05), por lo que se concluye que existen diferencias significativas en las medias de los grupos de las muestras y la de los catadores.

5. CONCLUSIONES

Utilizando las formulaciones preestablecidas por el programa estadístico, se decidió trabajar con tratamientos que sustituyeran el 50% y el 75% del contenido de malta por pan en estado de retrogradación. Esto permitió alcanzar rangos estimados de los parámetros estudiados, tales como grado alcohólico, pH, densidad, acidez y viscosidad, asegurando así que las formulaciones fueran adecuadas en términos de elaboración y aceptación por parte del consumidor. Los resultados de la composición química proximal de ambas formulaciones fueron obtenidos mediante análisis en un laboratorio externo, siguiendo los métodos SE.MI. La cerveza con 75% de pan y 25% de malta mostró los siguientes valores porcentuales en relación al total de sus componentes: grasa total (0,09%), ceniza (0,3%), humedad (92,79%), proteína (0,28%) e hidratos de carbono (6,54%). Por otro lado, la cerveza con 50% de pan presentó valores ligeramente superiores en todos los aspectos, excepto en humedad, lo que sugiere que un menor porcentaje de sustitución de pan puede tener un impacto no significativo en su composición proximal. Se realizó una prueba sensorial del producto final con la participación de 21 catadores, evaluando parámetros generales como sabor, olor, color, aceptabilidad e intensidad de alcohol. La muestra con 50% de pan y 50% de cebada, representada como 342, fue la preferida en términos de aceptación de sus atributos en comparación con la muestra 895. En relación a las propiedades termofísicas, se determinó la conductividad térmica, densidad y calor específico utilizando las ecuaciones de Choi y Okos. Las cervezas elaboradas con 75% y 50% de pan mostraron resultados menores en comparación con otras muestras en estos parámetros. Sin embargo, en cuanto a la viscosidad cinemática, calculada mediante una ecuación general, los tratamientos con pan mostraron resultados más altos, indicando una mayor resistencia al flujo en comparación con la cerveza industrial y artesanal. Este atributo podría ser favorable, ya que se asocia comúnmente con una percepción más densa y espesa en las cervezas. En cuanto a las propiedades físico-químicas, se evaluaron el grado alcohólico, pH, densidad, acidez titulable y viscosidad. Los resultados del grado alcohólico fueron similares en todas las muestras, excepto para la muestra con 50% de pan, que mostró un valor más alto de 8.93. Los valores de pH se mantuvieron dentro del rango estimado según la norma NTE INEN 2262. En relación a la densidad, las cervezas elaboradas con pan mostraron valores ligeramente superiores. En cuanto a la acidez, todos los datos fueron similares y se encontraron dentro del rango para considerarse una bebida ácida. Los resultados de viscosidad, expresados en MPa/s, mostraron valores más altos para los tratamientos con pan en comparación con las cervezas industrial y artesanal. Los resultados obtenidos de este estudio indican que la sustitución parcial de la malta por pan en la elaboración de cerveza puede influir en diversas propiedades

fisicoquímicas y sensoriales del producto final. Se observó que las muestras con contenido de pan mostraron diferencias significativas en parámetros como composición química, propiedades termofísicas y características sensoriales en comparación con las cervezas industriales y artesanales tradicionales. Estos hallazgos sugieren que la inclusión de pan en la formulación puede ofrecer nuevas oportunidades para la innovación en la industria cervecera, proporcionando productos con perfiles sensoriales únicos y potencialmente atractivos para los consumidores. Sin embargo, se requiere de un análisis más detallado y estudios adicionales para comprender completamente el impacto de esta sustitución en la calidad y aceptabilidad de la cerveza.

6. RECOMENDACIONES

Es fundamental utilizar materias primas de calidad que se encuentren en estado de retrogradación, lo que implica que estas han pasado por un proceso de enfriamiento controlado y posterior reestructuración molecular. Esto no significa que las materias primas estén en mal estado, sino más bien resalta la importancia de aprovechar al máximo los recursos, incluso aquellos que otros productores podrían considerar como pérdidas. El proceso de elaboración de la cerveza debe seguir un diagrama de flujo meticuloso, desde la materia prima hasta el envasado final, con el objetivo de garantizar la seguridad y la calidad del producto para el consumidor. La prueba sensorial es una herramienta importante para definir las características de un producto, evaluando aspectos como el sabor, el color, la aceptabilidad y la intensidad del alcohol. Es esencial realizar un análisis completo de los parámetros termo-físicos en las cervezas, con el fin de obtener datos que respalden la calidad y el rendimiento del producto final.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Amalia Burini, J., Eizaguirre, J., & Libkind, D. (2021). Levaduras no convencionales como herramientas de innovación y diferenciación en la producción de cerveza. *Revista Argentina de Microbiología*, 53(4), 359-377. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.01.003>
2. Alvarenga, A. (2012). La Cerveza Congelada Ayuda a disminuir los niveles del colesterol malo, visítenos, Misiones. DW.
3. Aranda, F. (2021). Elaboración y estudio analítico de cerveza artesanal a partir de distintos tipos de pan.
4. Arias Ochoa, A., Barrios Rodríguez, A., Simonsen Cavanzo, E., & Tejeda Santamaría, S. (2019, 2 de diciembre). Identificación morfológica, fisiológica y molecular de levaduras del género *Saccharomyces* para la elaboración de cerveza. *Mente Joven*, 8.
5. Apriyanto A, Compart J, & Fettke, J. (2022). Almidón como recubrimiento para alargar la vida de alimentos origen vegetal: una revisión. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*. 10 (22): 27-31. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/view/11039>
6. Botero Quiceno, H. (2010). Una revisión del concepto de densidad: la implicación de los conceptos estructurantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista de Educación y pensamiento*, (17), 23-32.
7. Boulton, C. A. (2020). Chapter 4 - Fermentation. In C. Smart (Ed.), *The Craft Brewing Handbook* (pp. 111-152). Woodhead Publishing.
8. Burini, J. A., Eizaguirre, J. I., Loviso, C., & Libkind, D. (2021). Levaduras no convencionales como herramientas de innovación y diferenciación en la producción de cerveza. *Revista Argentina de Microbiología*, 53 (4), 359-377.
9. Camarena Camarena, R. N., & García Santana, F. (2019). Modelamiento de la operación de filtración para la dosificación del coadyuvante Kieselgur en el abrillantamiento de cerveza. (Tesis de Grado). Universidad Nacional del centro de Perú, Huancayo, Perú.
10. Chaparro Suarez, L. T. (2021). Elaboración de cerveza artesanal inspirada en el fruto carambola (averrhoa carambola l.). (Tesis de Grado) Universidad de Bogotá, Colombia.
11. Choi, U.S., Okos, M.R. (1986). *Thermal properties of foods*. Westport, CT: AVI Publishing Company.
12. Costa, R. T. D., Silva, S. C. D., Silva, L. S., Silva, W. A. D., Gonçalves, A. C. A., Pires, C. V., & Trombete, F. M. (2020). Whole chickpea flour as an ingredient for improving the nutritional quality of sandwich bread: effects on sensory acceptance, texture profile, and technological properties. *Rev. chil. Nutr.* 47(6), 933-940.

13. Corrales, S., & Vera López, J. I. (2022). Industrialización del agua y producción de cerveza en Monterrey. *Intersticios sociales*, (23), 317-347.
14. Díaz, L., Gómez-Martínez, S., Nova, E., & Marcos, A. (2022). ¿Sabemos lo que es un consumo moderado de alcohol? El caso particular de la cerveza. *Nutrición Hospitalaria*, 39(3), 12-16. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.20960/nh.04303>
15. Espinoza-Montero, P., López Balladares, O., Bonilla Valladares, P., & Montero Jimenez, M. (2021). Metales Pesados en Cerveza Artesanal: Una Revisión. *Química Central*, 7(1), 8-25.
16. Fierro Mosquera, D. G., & Herrera Jimenez, H. J. (2018). Análisis de la evolución de la panificación en la provincia del Carchi como patrimonio alimentario a través de la revalorización de sus técnicas y preparaciones tradicionales. *INNOVA Research Journal*, 3(8.1), 142–153.
17. Garduño-García, A., López-Cruz, I., Martínez-Romero, S., & Ruíz-García, A. (2014). Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(2), 221-232.
18. Hernández Cleves, L. M., & Muñoz Montaña, L. M. (2019). Evaluación de la incorporación de la fruta *Passiflora Edulis* (Maracuyá) en el proceso de producción de cerveza artesanal tipo pale Ale. (Tesis de Grado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia.
19. Kok, Y., Ye, L., Muller, J., & Bi, X. (2019). Brewing with malted barley or raw barley: what makes the difference in the processes? *Appl Microbiol Biotechnol*, 103, 1059–1067.
20. Lima, A., Santos, G., Araújo Lima, S., Marqués Florentino, B., Dantas, F., Santos Silva, A., & Lucena Neto, M. (2022). La química de los alimentos como tema generador para la enseñanza de ácidos y bases. *Investigación, Sociedad y Desarrollo*, 11(1), e2521118057.
21. Luján, M., & Vásquez, V. (2010). Control automático con lógica difusa de la producción de cerveza artesanal en las etapas de maceración y cocción. *Scientia Agropecuaria*, 1(2), 125-137.
22. Martínez Muñoz, A. (2015). Análisis comparativo de compuestos bioactivos en cerveza artesanal y cerveza industrial. (Tesis fin de Grado). Universidad de Lleida, España.
23. Sanabria, E. A. M., & Garay, F. R. G. El modelo químico de potencial de hidrógeno-ph-y sus implicaciones en la ciencia escolar. Un análisis desde la modelación científico-didáctica. *Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática*, 4(3), 364-379.
24. Mendoza Balcázar, J., Pihuave Calderón, L., & Velásquez Camposano, M. (2022). Análisis comparativo del valor nutricional de la cerveza artesanal y la cerveza industrial. *Revista Ciencia UNEMI*, 15(38), 61-72
25. Moreno, F. S. V., Hugo, R. M. O., Cabezas, J. R. C., Bastidas, V. N. Y., & Macas, S. E. G. (2018). Aplicación de un diseño experimental completamente al azar para determinar la

variabilidad de tamaños en la síntesis de nanopartículas magnéticas de hierro. *Ciencia Digital*, 2(4.1.), 140-153.

<https://www.cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/195>

26. Mohamed I., (2023). Cantidad, estabilidad y digestibilidad de hidratos de carbono tras el proceso de extrusión: Impacto sobre el índice glicémico de harinas de consumo habitual en Chile. *Revista chilena de nutrición*. 50(2): 233-241. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182023000200233&script=sci_arttext&tlng=en
27. Muñoz Lucas, S., Sánchez, R. (2018). El agua en la industria alimentaria. *Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica*, 33(2), 157-171.
28. Mulet, M., Sánchez, A., Remesal, Angel. (2018). Propuesta de automatización para el pasteurizador de la fábrica de cervezas Hatuey de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 38(3), 518-529.
29. Miranda Zamora, W., Espinoza Valdiviezo, D., Sánchez Chero, M., Sánchez Chero, M., Minchán Velayarce, H., Ticona Yujra, J., . . . Rodríguez Kong, J. (2021). Reología y Viscosidad de los Alimentos. *Savez Editorial, Reología y Viscosidad de los Alimentos*. <https://doi.org/https://doi.org/10.53887/se.vi.18>
30. Nie, M., Piao, C., Li, J., He, Y., Xi, H., & Chen, Z. (2022). Effects of Different Extraction Methods on the Gelatinization and Retrogradation Properties of Highland Barley Starch. *Molecules*, 27(19). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules27196524>
31. Ortiz, I., Torreiro, Y., Molina, G., Maroño, M., Sánchez, J. (2019). Sostenibilidad en la industria cervecera: una revisión crítica de los residuos generados y su gestión. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2), 178-194. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2167>
32. Pérez, M., Nápoles, M. & de la Cruz, M. (2021). Estimación de propiedades termofísicas de la cerveza embotellada, bajo condiciones de pasteurización. *Centro Azúcar*, 48(1), 105-116.
33. Rani, H., & Bhardwaj, R. D. (2021). Quality attributes for barley malt: “The backbone of beer”. *Journal of Food Science*, 86(8), 3322-3340.

34. Robayo Valderrama, L. P. (2022). Extracción de antioxidantes procedentes de la planta de Lúpulo amarillo por medio de CO₂ supercrítico. (Tesis de Grado). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia
35. Rodríguez-Sandoval, E., Sandoval-Aldana, A., & Fernández-Quintero, A. (2007). Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. *Revista Colombiana de Química*, 36(1), 13-30.
36. Rojo León, L. (2019). Elaboración de cerveza artesanal a partir de subproductos de cereal. (Tesis de Grado). Universidad de Valladolid, España.
37. Sánchez, C. L., Franco, L., Bravo, R., Rubio, C., Rodríguez, A. B., Barriga, C., & Cubero, J. (2010). Cerveza y salud, beneficios en el sueño. *Revista española de nutrición comunitaria*, 16(3), 160-163.
38. Shinwari & Rao. (2020). Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona. *Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research*. 24(4), 227-235. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v24n4/2313-2957-ria-24-04-227>
39. Severa, L., & Los, J. (2008). On the influence of temperature on dynamic viscosity of dark beer. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2, 303-307.
40. Serra-Majem, L., & Bautista-Castaño, I. (2015). Relationship between bread and obesity. *British Journal of Nutrition*, 113(S2), S29-S35.
41. Suárez Pilicita, D. E. (2024). *Efecto del tiempo de fermentación de la masa madre sobre las características organolépticas del pan tipo tapado* (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
42. Suárez Díaz, M. (2013). Cerveza, componentes y propiedades. (Tesis de Grado). Universidad de Oviedo, San Francisco, España.
43. Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, N., & Guevara-Rodríguez, C. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28. 4
44. Vargas-Zambrano, P., Arteaga-Solórzano, R., Riera-González, G., & Cruz-Viera, L. (2020). Estimación de propiedades termofísicas de un producto cárnico. *Tecnología Química*, 40(1), 134-149.
45. Yuce, B. E., Nielsen, P. V., & Wargocki, P. (2022). The use of Taguchi, ANOVA, and GRA methods to optimize CFD analyses of ventilation performance in buildings. *Building and*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132322008174>

46. Zamora, W. R. M., Valdiviezo, D. L. E., Chero, M. J. S., Velayarce, H. H. M., Yujra, J. A. T., Seclén, J. D. D. M., & Kong, J. A. R. (2021). Reología y Viscosidad de los Alimentos. Savez Editorial.
47. Zheng. (2019). Influencia de la temperatura y concentración de sólidos solubles en el comportamiento reológico de la pulpa de cocona. *Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research* 24(4), 227-235.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v24n4/2313-2957-ria-24-04-227>
48. Zentou, H., Zainal Abidin, Z., Yunus, R., Awang Biak, D., Abdullah Issa, M., & Yahaya Pudza, M. (2021). A New Model of Alcoholic Fermentation under a Byproduct Inhibitory Effect. *ACS Omega*, 4137–4146.

8. ANEXOS



Anexo #1: Materia prima



Anexo #2: Remojo del pan



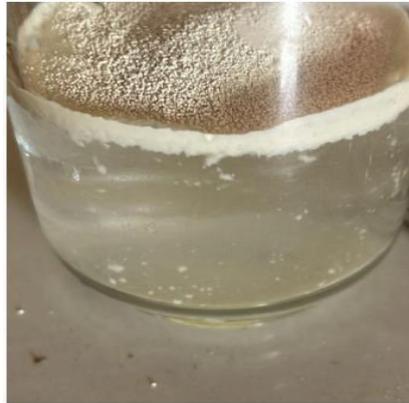
Anexo #3: Macerado de malta y pan



Anexo #4: Prueba de yodo



Anexo #5: Filtrado del mosto



Anexo #6: Activación de levadura



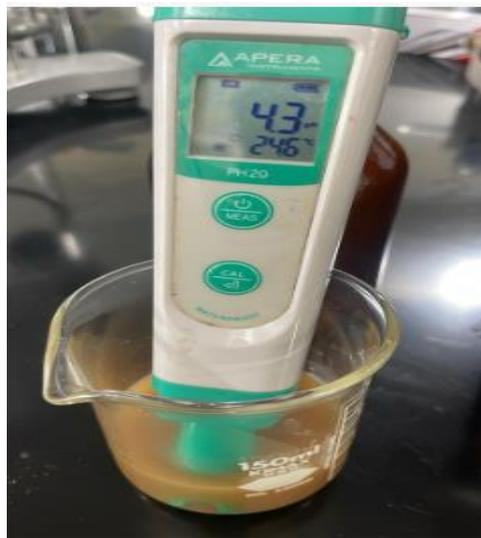
Anexo #7: Maduración



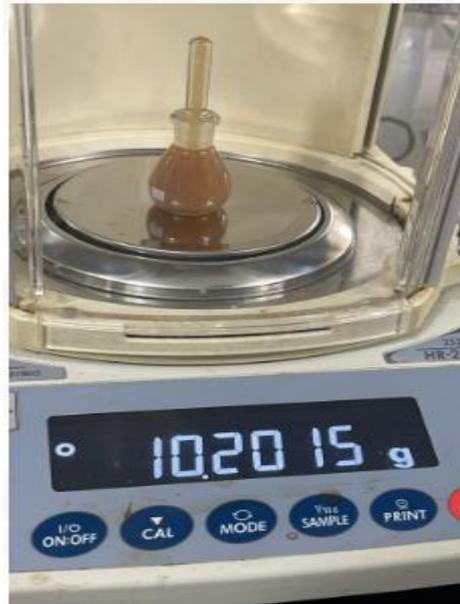
Anexo #8: Muestras analizadas



Anexo #9: Acidez Titulable



Anexo #10: Medición de pH



Anexo #11: Determinación de densidad