

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



## FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

### CARRERA DE ALIMENTOS

**Tema: “Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (Zea Mays) en las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale”**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del  
título de Ingenieras en Alimentos

AUTORAS: Chacón Guerra Carla Isabel  
Chingal Ortiz Camila Stefania  
TUTOR: MSc. Paredes Pita Carlos Arturo

Tulcán, 2023.

## CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que las estudiantes Chacón Guerra Carla Isabel y Chingal Ortiz Camila Stefania con el número de cédula 1004823314 y 0450487939 respectivamente han desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (Zea Mays) en las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva



---

**MSc. Paredes Pita Carlos Arturo**

**TUTOR**

Tulcán, julio de 2023

## AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingenieras en la Carrera de alimentos de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Nosotras, Chacón Guerra Carla Isabel y Chingal Ortiz Camila Stefania con cédula de identidad número 1004823314 y 0450487939 respectivamente declaramos que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que hemos llegado son de nuestra absoluta responsabilidad.



---

Chacón Guerra Carla Isabel

**AUTORA**



---

Chingal Ortiz Camila Stefania

**AUTORA**

Tulcán, julio de 2023

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Nosotras Chacón Guerra Carla Isabel y Chingal Ortiz Camila Stefania declaramos ser autoras de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (Zea mays L.) en las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale" y se exime expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



---

Chacón Guerra Carla Isabel  
**AUTORA**



---

Chingal Ortiz Camila Stefania  
**AUTORA**

Tulcán, julio de 2023

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios por la fuerza y sabiduría que han prevalecido conmigo a lo largo de mi vida académica.

Agradezco a mi madre por el apoyo económico y sus palabras de ánimo ya que, sin ella no habría logrado culminar esta etapa, este logro se lo dedico con mucho orgullo.

Agradezco al Ing. Carlos Paredes mi asesor de tesis por la paciencia y guía en todo el proceso hasta el final de este trabajo académico muchas gracias.

Agradezco a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y sus docentes por todo el conocimiento brindado a lo largo de estos 5 años de estudio, los cuales me permitieron culminar mi trabajo tesis.

Carla

## **AGRADECIMIENTO**

En la culminación de esta etapa agradezco a Dios por brindarme sabiduría, perseverancia e inteligencia, a mis padres, mi hermana por su apoyo incondicional; ya que este logro se lo debo a ustedes.

A mi Universidad Politécnica Estatal del Carchi como fuente primordial de mi aprendizaje.

A mí tutor de tesis MSc. Carlos Paredes por su colaboración y apoyo a lo largo del proceso de formación académica.

Al Msc. Miguel Anchundia por compartir su conocimiento para el crecimiento profesional.

A Santiago y Elizabeth por su compañía a lo largo de esta etapa profesional, quienes se han convertido en familia.

Camila

## DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios por la salud y fuerza para poder continuar en el desarrollo de mi tesis además de ser una guía en el camino, de manera principal a mi madre quien con su amor, apoyo y constancia formaron la persona que soy ahora, su compañía y aliento fueron un pilar fundamental en el transcurso de mi vida académica colmado de aciertos y errores que han contribuido a la formación de una profesional competente.

Carla

Esta meta cumplida para Dios, para mis padres Lucia y Pedro, mi hermana y mi familia. Por compartir el sentimiento del arduo trabajo para alcanzar un sueño.  
¡Lo logramos!

Camila

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>14</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>I. EL PROBLEMA</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>19</b>
1.4.1. Objetivo General .....	19
1.4.2. Objetivos Específicos .....	19
1.4.3. Preguntas de Investigación .....	19
<b>II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
2.2.1. Cerveza .....	21
2.2.2. Origen .....	22
2.2.3. Tipos de cerveza .....	22
2.2.4. Irish red Ale - Beer Judge Certification Program .....	24
2.2.5. Sabores y olores que determinan contaminación en la cerveza .....	25
2.2.6. Materias primas en la elaboración de cerveza .....	26
2.2.7. Maíz morado .....	34
2.2.8. Almidón .....	35
2.2.9. Enzimas .....	37
2.2.10. Azúcares reductores y no reductores .....	41
2.2.11. Proceso de malteado de maíz morado .....	44

2.2.12. Proceso de elaboración.....	48
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO .....</b>	<b>51</b>
3.1.1. Enfoque .....	51
3.1.2. Tipo de Investigación .....	51
<b>3.2. IDEA A DEFENDER .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....</b>	<b>51</b>
<b>3.4. MÉTODOS UTILIZADOS .....</b>	<b>56</b>
3.4.1. Proceso de elaboración de cerveza Irish Red Ale .....	56
3.4.2. Hidrólisis enzimática de maíz morado.....	57
3.4.2.1. Preparación de la suspensión del almidón (gelatinización). .....	57
3.4.2.2. Adición de alfa amilasa.....	57
3.4.2.3 Adición de glucoamilasa.....	58
3.4.3. Maíz morado malteado.....	58
3.4.3.1. Recepción.....	58
3.4.3.2. Limpieza y selección del grano.....	58
3.4.3.3. Remojo del grano .....	58
3.4.3.4. Germinación.....	59
3.4.3.5. Desbrotado .....	59
3.4.3.6. Molienda.....	59
3.4.3.7. Maceración .....	59
3.4.3.8. Recirculado .....	59
3.4.3.9. Cocción.....	59
3.4.3.10. Enfriamiento.....	59
3.4.3.11. Fermentación.....	60
3.4.3.12. Embarilado .....	60
3.4.3.13. Carbonatación.....	60
3.4.3.14. Embotellado.....	60

3.4.4. Caracterización fisicoquímica de la cerveza artesanal.....	64
3.4.4.1. Azúcares reductores.....	64
3.4.4.2. Densidad .....	65
3.4.5. Perfil sensorial.....	65
3.4.6. Evaluación sensorial.....	67
3.4.7. Características microbiológicas.....	68
<b>3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	<b>68</b>
3.5.1. Unidad experimental.....	70
3.5.2. Procesamiento y análisis de datos.....	70
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>72</b>
<b>4.1. RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
4.1.1 Curva de glucosa.....	72
4.1.2. Hidrólisis enzimática .....	73
4.1.2.1 Fécula de maíz morado .....	73
4.1.2.3. Parámetros en la etapa de sacarificación.....	74
4.1.3. Malteado de maíz morado .....	75
4.1.4 Efecto de la sustitución de malta en la calidad de la cerveza.....	76
4.1.5. Perfil sensorial.....	77
4.1.5.1 Evaluación sensorial .....	79
4.1.5. Características físicas, químicas y microbiológicas de la cerveza Irish Red Ale. ....	80
<b>4.2. DISCUSIÓN.....</b>	<b>82</b>
4.2.1 Parámetros de producción de fécula de maíz morado .....	82
4.2.2 Parámetros de hidrólisis enzimática.....	83
4.2.3 Parámetros de malteado de maíz morado .....	85
4.2.4 Cuantificación de azúcares reductores en la cerveza artesanal Irish Red Ale. ....	86
4.2.5 Perfil sensorial de la cerveza.....	88

4.2.6 Evaluación sensorial.....	89
4.2.7 Características físicas, químicas y microbiológicas de la cerveza Irish Red Ale.....	90
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>95</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>102</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cervezas de fermentación alta, Ale. ....	23
<b>Tabla 2.</b> Cervezas representativas de fermentación baja, Lager.....	23
<b>Tabla 3.</b> Características de una cerveza Irish Red Ale.....	25
<b>Tabla 4.</b> Componentes de cebada en 100 gramos. ....	27
<b>Tabla 5.</b> Composición nutricional de malta de cebada.....	27
<b>Tabla 6.</b> Maltas utilizadas en la industria cervecera.....	28
<b>Tabla 7.</b> Agua cervecera, componentes químicos. ....	29
<b>Tabla 8.</b> Composición química del lúpulo. ....	30
<b>Tabla 9.</b> Clasificación del maíz morado.....	34
<b>Tabla 10.</b> Composición proximal de la variedad INIAP-199"Racimo de uva". ....	35
<b>Tabla 11.</b> Propiedades fisicoquímicas del almidón. ....	35
<b>Tabla 12.</b> Ejemplo de disoluciones para la curva patrón de glucosa.....	43
<b>Tabla 13.</b> Operacionalización de variables primera fase, método de adición de malta de maíz morado.....	53
<b>Tabla 14.</b> Operacionalización de variables segunda fase, elaboración de cerveza artesanal.....	54
<b>Tabla 15.</b> Formulación de cerveza Irish red ale.....	56
<b>Tabla 16.</b> Formulación de la cerveza artesanal Irish red ale con malta de maíz morado (%)......	56
<b>Tabla 17.</b> Formulación de la cerveza artesanal Irish red Ale con malta de maíz morado. ....	57

<b>Tabla 18.</b> Valoración de cada parámetro en una evaluación de perfil sensorial.....	67
<b>Tabla 19.</b> Ponderación para la evaluación sensorial.....	67
<b>Tabla 20.</b> Requisitos microbiológicos para una cerveza. ....	68
<b>Tabla 21.</b> Factores y niveles para la adición de malta de maíz morado en la cerveza artesanal.....	69
<b>Tabla 22.</b> Formulación de los tratamientos con arreglo factorial A x B.....	70
<b>Tabla 23</b> Características fisicoquímicas del almidón de maíz morado.....	73
<b>Tabla 24.</b> Hidrólisis enzimática en la etapa de licuefacción.....	74
<b>Tabla 25.</b> Hidrólisis enzimática en la etapa de sacarificación.....	74
<b>Tabla 26.</b> Resultado de la concentración de azúcares reductores para la enzima alfa-amilasa.....	75
<b>Tabla 27</b> Resultados de la concentración de azúcares reductores para la enzima gluco-amilasa. ....	75
<b>Tabla 28.</b> Características fisicoquímicas de la malta de maíz morado. ....	75
<b>Tabla 29.</b> Cuantificación de azúcares reductores en la etapa inicial de la fermentación de la cerveza Irish Red Ale.....	76
<b>Tabla 30.</b> Cuantificación de azúcares reductores en la etapa final de fermentación de cerveza Irish Red Ale. ....	77
<b>Tabla 31.</b> Perfil sensorial de cerveza en los 6 tratamientos.....	77
<b>Tabla 32.</b> Promedio de los atributos de análisis sensorial.....	79
<b>Tabla 33.</b> Resultados de análisis físicos, químicos y microbiológicos del tratamiento 6 con 30% de maíz morado malteado. ....	81
<b>Tabla 34.</b> Densidad inicial de la cerveza. ....	82
<b>Tabla 35.</b> Densidad final de la cerveza.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de lúpulo. ....	31
<b>Figura 2.</b> Efecto de la alternancia de periodos de remojo / aireación .....	45
<b>Figura 3.</b> Proceso de producción de fécula de maíz morado.....	61
<b>Figura 4.</b> Proceso de elaboración de la cerveza Irish Red Ale con adición de maíz morado hidrolizado.....	62
<b>Figura 5.</b> Proceso de elaboración de la cerveza Irish Red Ale con adición de maíz morado malteado.....	63
<b>Figura 6.</b> Curva patrón de glucosa.....	73
<b>Figura 7</b> Actividad enzimática de la alfa-amilasa. ....	84
<b>Figura 8</b> Actividad enzimática de la gluco-amilasa. ....	85

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Acta de la sustentación de Predefensa del TIC .....	102
<b>Anexo 2.</b> Certificado del abstract por parte de idiomas.....	102
<b>Anexo 3.</b> Ficha de evaluación sensorial .....	105
<b>Anexo 4.</b> Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza .....	106
<b>Anexo 5.</b> Etapa de licuefacción de jarabe de maíz morado.....	107
<b>Anexo 6.</b> Etapa de sacarificación de jarabe de maíz morado.....	107
<b>Anexo 7.</b> Limpieza del maíz.....	108
<b>Anexo 8.</b> Remojo del maíz .....	107
<b>Anexo 9.</b> Germinación del maíz.....	109
<b>Anexo 10.</b> Selección de maíz germinado .....	108
<b>Anexo 11.</b> Secado del maíz.....	109
<b>Anexo 12.</b> Molienda de malta y maíz .....	108
<b>Anexo 13.</b> Maceración y cocción.....	108
<b>Anexo 14.</b> Fermentación.....	109
<b>Anexo 15.</b> Embarillado y carbonatación .....	109
<b>Anexo 16.</b> Desinfección de botellas y envasado.....	109

## RESUMEN

La cerveza es una bebida que con el pasar de los años ha evolucionado debido al empleo de diferentes técnicas o adjuntos que se le han añadido con el fin de mejorar su aroma, sabor, color, etc. El maíz morado posee entre un 60-80% de almidón. El almidón es esencial en la producción de cerveza ya que, mediante una serie de reacciones enzimáticas este se hidroliza con el fin de producir azúcares fermentables las cuales con ayuda de la levadura se transforman en etanol. El objetivo de la investigación fue el evaluar la influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (*Zea mays L.*) en una cerveza artesanal tipo Irish red ale. Para este estudio se elaboró el jarabe de maíz morado (*Zea mays L.*) mediante hidrólisis enzimática y una malta base del grano. Las variables se analizaron mediante un diseño completamente al azar con un arreglo factorial AxB, donde A representa el método de adición del maíz morado (maíz hidrolizado y maíz malteado) y B porcentaje de malta de maíz (10%+90%malta base, 20%+80%malta base y 30%+70%malta base), se llevó a cabo análisis de azúcares reductores, densidad y almidón en el jarabe y malta, además de análisis sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos en la cerveza. En cuanto a azúcares reductores se tuvo 1333 g/L el mayor resultado presente en el tratamiento 6, con una densidad de 1018 g/cm<sup>3</sup> validando que el mejor proceso de hidrólisis es un germinado natural del grano. En el perfil sensorial se evaluó con un juez experto, mientras que para la evaluación sensorial se usó una escala hedónica de cinco puntos, los resultados se analizaron con una comparación de medias mediante prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05 donde se determinó el mejor tratamiento. En los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados al tratamiento 6 en su mayoría se cumplió con los requisitos establecidos en la normativa legal vigente NTE INEN 2262 a excepción del contenido de arsénico el cual excedió el rango máximo 0.1. Se concluyó que la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado influye en las características fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza artesanal Irish red ale.

Palabras Claves: Cerveza, malta, jarabe, Irish red ale.

## ABSTRACT

Over time, beer has experienced a remarkable evolution, thanks to the implementation of various techniques and the incorporation of different additions, with the aim of improving aspects such as aroma, flavor, color, among others. In this context, purple corn acquires relevance due to its starch content, which ranges from 60% to 80%. Starch plays a fundamental role in the beer production process, since, through a series of enzymatic reactions, it is hydrolyzed to generate fermentable sugars. These sugars, with the help of yeast, are transformed into ethanol. The objective of the research was to evaluate the influence of the partial substitution of barley malt by purple corn malt (*Zea mays* L.) in a craft beer type Irish red ale. To carry out this study, purple corn syrup (*Zea mays* L.) was made by enzymatic hydrolysis, using a grain-based malt as part of the process. Subsequently, we proceeded to analyze the variables using a completely randomized design with a factorial arrangement AxB. In this arrangement, A represents the method of adding purple corn, which can be hydrolyzed corn or malted corn, while B represents the percentage of corn malt in various proportions, such as 10% corn malt and 90% base malt, 20% corn malt and 80% base malt, and 30% corn malt and 70% base malt. During the study, analyses of reducing sugars, density and starch in the syrup and malt were carried out. In addition, sensory, physicochemical, and microbiological analyses were performed on the beer. With regard to reducing sugars, a total of 1333 g / L was obtained, with the highest result recorded in treatment 6. In addition, a density of 1018 g/cm<sup>3</sup> was observed, which validates the effectiveness of the hydrolysis process, especially when using the natural sprouts of the grain. In the sensory profile, an evaluation was carried out by an expert judge. For sensory assessment, a five-point hedonic scale was used. The results obtained were analysed by means of a comparison of means through the Tukey test, with a significance level of 0.05, which allowed us to determine which treatment was the most effective. In the physical, chemical, and microbiological analyses carried out on treatment 6, most of them complied with the requirements established in the current legal regulations NTE INEN 2262. However, there was one exception related to arsenic content, which exceeded the maximum allowable range of 0.1. Consequently, it was concluded that the partial substitution of barley malt by purple corn malt has a significant impact on the physicochemical and sensory characteristics of Irish red ale craft beer. Keywords: Beer, malt, syrup, Irish red ale.

Keywords: Beer, malt, syrup, Irish red ale.

## INTRODUCCIÓN

La cerveza es una bebida alcohólica, dada por la presencia de levaduras específicas que permiten el proceso de fermentación, dando origen a una masa conocida como mosto obtenido de cebada malteada. Actualmente, la cervecería industrial se encuentra en una problemática por el surgimiento de la cervecería artesanal (Donadini & Porretta, 2017). La cerveza artesanal se involucra con la biotecnología para generar productos más innovadores que consigue sabores modificados, grados de alcohol variados y mejor cuerpo (Leonardo, 2013). Hoy en día se busca realizar mezclas con productos ricos en azúcar que permitan obtener la misma capacidad hidrolítica antes del proceso de germinación; para mejorar ciertas características organolépticas en olor, sabor y color. Es por ello por lo que la comercialización artesanal ha incursionado en la búsqueda de múltiples sabores con el fin de llegar a ofrecer productos únicos y de buena calidad que contrasten con el sabor del lúpulo y así generar compuestos aromáticos diferentes (Kalil Filho et al., 2021).

Los estilos de cerveza se determinan a partir de alta y baja fermentación. según la BJCP el estilo Red Ale de fermentación alta, la cerveza puede ser una irlandesa, norteamericana o con aspecto ámbar hasta rojizo oscuro, y las particularidades de la malta deben cumplir con las especificaciones dadas (Donadini et al., 2014, Strong and England, 2015).

Por otro lado, el malteado de los cereales corresponde a una etapa importante ya que de ellos depende el contenido de azúcares y compuestos aromáticos; cuanto más fuerte sea el tostado, más oscura será la cerveza y cuanto más lento sea mayor será la formación de aromas, debido a las transformaciones de azúcares (Yubero, 2015).

Hay que señalar que el malteado se realiza para extraer los azúcares mediante procesos enzimático.

## I. EL PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas, representa un 55% de consumo a nivel mundial, seguido del whisky o vodka con más de 30% y el vino un 12% (Moreno, 2015). Según Coba (2021) alrededor de 75% de materia prima para elaboración de cerveza en Ecuador es importada de países como Chile y México. La cerveza artesanal presenta un elevado costo de producción, lo que genera que un productor independiente no cuente con beneficios en la compra de insumos, por lo que se cobra los mismos impuestos que a las grandes cervecerías (Fuentes, 2021). En Ecuador la producción de cebada malteada es un proyecto aún en vías de desarrollo, por lo que existen aranceles altos de importación de esta materia prima, otro costo que preocupa a los cerveceros es el ICE (impuesto a los consumos especiales) tarifa específica por litro de bebida (Jaramillo, 2016).

Si se sabe que un cereal como la cebada es el componente principal en la elaboración de cerveza por la presencia de azúcares que determinan el proceso, pero según la norma INEN 2262 (2013), se pueden usar adjuntos cerveceros con diferentes objetivos (Lucero Calvache & Gordon Luna, 2019).

De acuerdo con el INIAP (2019) tanto consumo como siembra de maíz morado en Ecuador es baja, cerca de 4.43 kg/año, el cual se emplea en alimentación de aves y la realización de la tradicional colada morada. La producción de maíz morado se ve incrementada solo en el mes de noviembre, debido a que agricultores y consumidores no lo usan en otro tipo de preparaciones, lo que desvaloriza la producción, demanda y consumo de este cereal a gran escala (Aguirre, 2019). La mayoría de maíz pigmentado se emplea como ornamento o alimento ancestral en bebidas fermentadas. Maíces blancos y amarillos se ocupan como materia prima en elaboración de snacks, pan, morocho, etc., sin embargo, maíces de colores (negro, rojo, morado, azul) presentan un uso agroindustrial bajo (De la Portilla, 2018).

La malta se deriva de la cebada, trigo y otros cereales; se caracteriza principalmente por su alto contenido de proteínas, vitaminas y carbohidratos, pero, se tiene un escaso conocimiento sobre el proceso fermentativo para la producción

de malta de maíz morado; esto no ha permitido conseguir una máxima eficiencia en el proceso de malteado de este cereal (Paredes, Barrigas, Muñoz, Pineda y Soto, 2022).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se podrá sustituir de manera parcial la malta de cebada por maíz morado (*Zea mays* L.) hidrolizado o malteado en la elaboración de una cerveza artesanal Irish red ale que cumpla con los parámetros impuestos en la normativa legal vigente?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Teniendo en cuenta que la cerveza tiene una gran popularidad a nivel mundial, no siendo Ecuador la excepción, ya que posee industrias cerveceras reconocidas a nivel nacional, hoy en día el mercado ecuatoriano abarca una cantidad importante de cervezas artesanales que supone una creciente moda de emprendimiento (Andrade et al. 2020). La cerveza es una bebida milenaria, puesto que su origen va desde la prehistoria, con el pasar el paso del tiempo ha ido evolucionando con el empleo de diferentes técnicas y adjuntos que se le han añadido con el fin de mejorar su aroma, sabor, color, etc., características organolépticas representativas de esta bebida fermentada que la convierten en la más conocida y consumida a nivel mundial (Aguirre, 2019).

Si bien la cebada es el cereal base de la cerveza acorde a la INEN 2262 (2013), la cual se maltea con el fin de ayudar en la extracción de azúcares durante la etapa de maceración, se puede hacer uso de adjuntos contemplándose el maíz, con el fin objetivo de acrecentar contenido de azúcares en el mosto que posterior se convierte en cerveza (Arévalo y Domínguez, 2020). El beneficio de usar otros cereales en la industria cervecera supone la oferta de un producto con precio competitivo, mayor accesibilidad de materia prima y el aporte de nuevas características organolépticas al producto (Espinoza, 2016, como se cita en Lucero y Gordon, 2019, p. 10).

El maíz morado posee entre un 60-80% de almidón, acorde con Toledo y López (2020) entre los que destacan valores promedio de amilosa del 27% y amilopeptina del 73% (Apaza y Atencio, 2017). El almidón es esencial en la producción de cerveza, ya que mediante una serie de reacciones enzimáticas este se hidroliza con

el fin de producir azúcares fermentables con la ayuda de la levadura (Aguilera, 2011, como se cita en Lucero y Gordon, 2019, p. 10). El objetivo de este trabajo es estudiar dos diferentes maneras de maltear el maíz morado para su uso como adjunto en el proceso de maceración en la elaboración de cerveza.

#### **1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

##### 1.4.1. Objetivo General

Evaluar la influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por maíz morado (*Zea mays* L.) hidrolizado o malteado sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale.

##### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros del proceso de hidrólisis enzimática y malteado de maíz morado.
- Evaluar el efecto de la sustitución de malta de maíz morado en la calidad de la cerveza.
- Determinar las características sensoriales de la cerveza.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos del mejor tratamiento.

##### 1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cuál es el proceso de hidrólisis enzimática en el maíz?
- ¿Cuáles son los parámetros para el proceso de malteado del maíz?
- ¿Cuáles son las condiciones adecuadas de tiempo y temperatura para la transformación de almidón en azúcares fermentables?
- ¿Cuáles son los atributos específicos que debe identificar un panel de jueces durante la caracterización de una cerveza tipo Irish red Ale?
- ¿Qué normativas vigentes debe cumplir una cerveza para que sea apta para consumo humano?

## **II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el artículo de revisión por Paredes et al. (2022), con el tema “Desarrollo de un bioproceso para la producción de malta a partir de maíz morado (*Zea mays*)” se menciona que la malta es un derivado de la cebada, caracterizado por un alto contenido en vitaminas, carbohidratos y proteínas, fuente de energía para el organismo, hay que tener en cuenta también que se tiene un conocimiento limitado de la etapa de fermentación para la producción de malta de este grano; esto no ha permitido lograr una máxima eficiencia en malteado. En este artículo, se compila información de los factores clave involucrados en el bioproceso para la producción de malta y se busca formas de brindar soluciones basadas en la literatura científica.

La investigación realizada Arévalo y Domínguez (2020), realizaron el tema de investigación “Reemplazo parcial de malta de cebada (*Hordeum vulgare*) por malta de maíz morado (*Zea Mays* L.) en el desarrollo de cervezas estilo cream ale: evaluación de parámetros fisicoquímicos y evaluación sensorial”, con el propósito de producir una cerveza estilo cream ale, se reemplazó de manera parcial de malta de cebada por malta de maíz morado. Las cervezas fueron elaboradas rigiéndose en los estándares descritos en el Programa de Certificación de Cerveceros (BJCP), midiendo parámetros fisicoquímicos: sólidos solubles, pH, gravedad específica, grado alcohólico y temperatura, en un plazo de 14 días.

El trabajo realizado por Lazo (2022), con el tema “ Obtención de etanol a partir de almidón de maíz (*Zea Mays*) variedad zhima empleando malta diastásica” cuyo objetivo fue producir etanol por medio de almidón de maíz (*Zea Mays*) variedad zhima con el empleo de una malta diastásica. Esto permite brindar un uso alternativo al maíz generándose un valor agregado. El tipo de investigación empleado fue experimental, documental y cuantitativa, con un diseño experimental 2k (glucosa- etanol) que cumpla con la INEN 375. La fase experimental llevada a cabo en una planta piloto de San Andrés de Checa. Se contó con 8 experimentos, en los cuales se modificó las condiciones de la malta,

determinándose el mejor experimento, el ocho cuyas condiciones de malta fueron idóneas con 70 °C, 60 minutos y 30% p/p (temperatura, tiempo y concentración), el mosto hidrolizado se fermentó con ayuda de levadura seca, el ácido cítrico ayudo a regular el pH y los nutrientes (ácido fosfórico y sulfato de amonio).

En una investigación enfocada en el desarrollo de un bioproceso para la elaboración de malta a partir de maíz morado (*Zea mays*) con el fin de facilitar metodologías más específicas en cuanto a la humidificación, germinado y secado del mismo. Se menciona que la humedad está dentro de un rango del 45% a 50%, y la temperatura óptima del proceso entre 14 °C a 16 °C, para tener el mejor rendimiento y calidad de la malta generada. De esta forma, se produzca un grano malteado que brinde una cantidad alta de antioxidantes y tenga una excelente calidad. El secado es un parámetro importante que permite alrededor del 4% de humedad en un tiempo estimado de 24 y 36 horas, con una temperatura comprendida entre los 50 y 70 °C (Betsabe et al., 2022).

En la facultad de agroindustrias se realizó "Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), carbonatada con azúcar y miel de abeja" con el fin de determinar las características fisicoquímicas y sensoriales de dos tipos de cerveza y de esta manera cuantificar si el producto puede ser comercializado y competir en el mercado con la sustitución parcial del maíz al cual se le realiza las pruebas fisicoquímicas tanto para el contenido de alcohol, color, azúcares. Por último, se determina que la adición de este cereal reduce costos y genera atributos de color sin la necesidad de utilizar maltas especiales que tiene un costo mayor (Mencia & Pérez, 2018).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Cerveza**

Termino celta, en latín *cervesia*, en nuestro dialecto cerveza. Bebida con grados alcohólicos obtenida de la fermentación de cereales germinados, generalmente de cebada, en donde el almidón se hidroliza y saboriza con lúpulo por medio de infusión (INEN 2262, 2013).

Esta bebida alcohólica se elabora de manera principal con cebada, lúpulo, levadura y agua. Químicamente, considerada una solución agua-etanol, con pH de 4,2; en termodinámica es un sistema cerrado que trata de alcanzar el estado de energía mínima y entropía máxima, por ello las moléculas reaccionan y cambian su

composición en el almacenado (Morales-Toyo, 2018). Fermentada la malta se saboriza con lúpulo, siendo el agua empleada estéril, potable y pura. La cebada es tostada y seca, el lúpulo brinda el aroma y sabor, y la levadura ayuda en la fermentación. Es un acompañante ideal en las comidas por su sabor amargo y propiedades medicinales como el proteger de la degradación celular (Anón, 2019).

### 2.2.2. Origen

La cerveza es una bebida muy antigua, según se presenta en escrituras cuneiformes los primeros en fabricar la fueron los sumerios, hace unos 9000 años. El intercambio comercial y cultural permitió que variara la elaboración de la cerveza implementándose cebada en vez de trigo. Tan grande fue la aceptación de esta bebida que incluso se decía que Osiris había ayudado al hombre a crear esta bebida. Años después Hipócrates le otorgó a la bebida propiedades terapéuticas para mitigar la sed o como calmante. En los siglos XI y XIII en Europa existían pequeñas fábricas cerveceras cuyos encargados eran expertos en elaboración cerveza; la edad media se convirtió fue punto crucial debido a que se incorpora la malta, este ingrediente permitió la elaboración de distintos tipos de cerveza. Otro avance se da al incorporar lúpulo en los ingredientes de la bebida, esta planta no solo le otorgaría su sabor amargo y olor característico.

Pero la época más destacada de la cerveza es en el siglo XVIII al incorporarse la máquina de vapor en el proceso productivo de la bebida, además del descubrimiento de la producción en frío, y a finales del siglo aparecen los hallazgos de Pasteur acerca de la fermentación; este último se basa en someter la bebida a temperaturas altas por determinado periodo de tiempo, eliminando levaduras y bacterias que perjudiquen el producto (Anón, 2019).

### 2.2.3. Tipos de cerveza

#### 2.2.3.1. Cerveza Ale

Se originaron en Bélgica y Gran Bretaña. Las levaduras empleadas ascienden hasta la superficie del mosto cuando el proceso fermentativo está por culminar, de allí que este tipo de cerveza se denomina de "fermentación alta". El tipo de levadura que se utiliza es *S. cerevisiae*, su temperatura ideal de desarrollo es entre 15 y 25 °C, haciendo del tiempo de fermentación corto (1-2 semanas), ya que su producción puede realizarse a temperatura ambiente porque no requieren de un ambiente frío (González, 2017).

**Tabla 1.** Cervezas de fermentación alta, Ale.

Tipo de cerveza	Características generales
Belgian Red Ale	Generadas con malta vienesa presentan color ámbar y un sabor agridulce, tienen una fermentación doble ya que su sabor se da por la presencia de cervezas recién elaboradas.
Belgian Strong Ale	Tiene sabor dulce con sabores a frutas. Contiene entre grado 8 a 12% de alcohol. Presenta baja presencia de espuma y son de tonalidad café.
Irish Red Ale	Presenta entre un color rojo a castaño.
Scotch Ale	Son cervezas oscuras con sabores extremadamente dulces.
Mild Ale	Tienen un cuerpo firme y su presencia de alcohol es casi nula.
Old Ale	Poseen sabor a caramelo, se conocen por su coloración oscura
Pale Ale	Posee el 5% de grados alcohólicos. Presentan un equilibrio en los sabores del lúpulo y la malta. Presentan gamas doradas.

**Fuente:** Aguirre (2018, p.10).

### 2.2.3.2. Cerveza Lager

Esta cerveza se empieza a elaborar a partir del siglo XIX, debido al desarrollo de la refrigeración, esto gracias a Pasteur y su investigación en el aislamiento de cultivo de levaduras los que se fermentaban en la parte baja del tanque. Siglos antes productores de Baviera y Bohemia aplicaban este tipo de conservación en cuevas frías o heladas lo cual les permitía conservar las características organolépticas del producto durante las épocas de verano. Lager que cuenta con un significado alemán de almacenar, en cuanto a las levaduras implicadas en este proceso son *S. carlsbergensis* o *S. uvarum*, al decir que son de fermentación baja hace referencia a que las levaduras son depositadas en el fondo del tanque, casi finalizándose la fermentación. La temperatura ideal para su desarrollo se sitúa entre los 4 y 12 °C (Martínez, 2015).

**Tabla 2.** Cervezas representativas de fermentación baja, Lager.

Tipo de cerveza	Características generales
American Lager	Junto con la malta de cebada se aumenta arroz y trigo. Es ligera y fácil de beber.
Dark Lager	Es obtenida a base de malta oscura. Posee un sabor fuerte.
Golden Lager	Originaria de Múnich, conocida por el nombre de Hells lager y es rubia. Volumen de alcohol medio y equilibrado.
Strong Lager	Con grado alcohólico alto entre 7-8%. Coloración oscura

**Fuente:** Aguirre (2018, p.10).

## 2.2.4. Irish red Ale - Beer Judge Certification Program

### 2.2.4.1. Ingredientes característicos

Por lo general tiene cebada tostada o malta negra en cantidades pequeñas con el fin de proporcionarle un color rojizo y final tostado seco. La típica malta base y malta caramelo las cuales se importaban y eran las más caras en su época (BJCP, 2021).

### 2.2.4.2. Características

#### **Impresión general**

Sabores sutiles, ligeramente maltosa con una pizca de dulzura al inicio toffee o caramelo, granulado a galleta, tostado seco al final. Algunas versiones enfatizan en el caramelo y dulzura, otras favorecen la sequedad tostada y el granulado (BJCP, 2021).

#### **Apariencia**

Color ámbar medio a cobre rojizo medio. Claro, con espuma baja color blanquecino a tostado de persistencia media (BJCP, 2021).

#### **Aroma**

De bajo a moderado aroma a malta, neutro a granulado con ligeros toques acaramelados toffee o tostado. Carácter mantecoso sutil opcional. Baja presencia de aroma a lúpulo floral o terroso opcional. Muy limpio (BJCP, 2021).

#### **Sabor**

De bajo a moderado sabor y dulzor a malta caramelo, con ligero tostado, mantequilla o cualidad similar al toffee. Paladar neutro y granulado, tomando a veces notas tostada o de galleta, termina con ligero sabor a grano tostado, lo que le brinda su sequedad final. Ligero sabor a lúpulo floral o terroso opcional. Amargor entre medio a medio bajo. Final seco a semiseco. El equilibrio tiende hacia la malta, aunque el uso de granos tostados aumenta de manera sutil la percepción de amargor. Limpio y suave, con ésteres bajos opcionales (BJCP, 2021).

#### **Sensación en boca**

Cuerpo de medio a medio suave, aunque cervezas con niveles bajos de diacetilo tienden a tener una sensación en la boca resbaladiza. Carbonatación moderada, liso (BJCP, 2021).

**Tabla 3.** Características de una cerveza Irish Red Ale.

Características	% Porcentajes
Unidad internacional de amargor (IBU)	18-28
Standard reference method SRM	9-14
Gravedad original OG	1.036-1.046
Gravedad final FG	1.010- 1.014
Volumen de alcohol ABV	3.8% -5%

**Fuente:** BJCP (2021).

#### 2.2.5. Sabores y olores que determinan contaminación en la cerveza

A veces, por errores de elaboración o imprevistos la cerveza puede presentar sabores u olores extraños los cuales afectan su calidad de manera significativa. Pocos se presentan como sabores básicos conocidos, pero en su mayoría son sensaciones mixtas sabor-olor (González, 2017, como se citó en Aldaz, 2018). Algunos de estos sabores y olores propios de una cerveza con defectos se describen a continuación:

- Sabor ácido, el cual es poco deseable en la mayoría estos estilos de cerveza porque indican contaminación.
- Sabor amargo, por lo general es básico, pero en exceso resulta perjudicial. Si la intensidad no va acorde con el estilo, la sensación que genera es desagradable frente a los otros sabores.
- Sabor dulce y salado, no tienen un estilo predilecto siendo su presencia desagradable.

Demás defectos encontrados en cerveza provienen de elementos volátiles generados durante la manufactura o de manera común en el almacenamiento. Sensaciones mixtas conocidos como off-flavor, son de muchos tipos, siendo unos más frecuentes que otros (González, 2017, como se citó en Aldaz, 2018). Por ejemplo, son comunes:

- Diacetilo/ácido butírico, aroma y sabor a mantequilla o caramelo. Determina el cuerpo y dulzor de la cerveza como la Porter o Stout. Se produce de forma natural en la fermentación y es consumido por la levadura al final de esta etapa. En muchas ocasiones se considera una contaminación. Puede evitarse con un rápido enfriamiento del mosto o aumento de temperatura en la última fase de la fermentación "descanso de diacetilo" (Guerberoff, Marchesino, López y Olmedo, 2020).

- Ésteres crean sabor y aroma afrutado (plátano, manzana o fresa) encontrados en cervezas Ale, Portes, belgas, inglesas o IPA, pero en ningún estilo el frutado debe estar muy acentuado. Se producen durante la fermentación y la cantidad depende mucho de la cepa y temperatura de esta fase. Dependiendo del estilo se pueden considerar intencionales o defectos de elaboración (Guerberoff et al., 2020).
- Fenoles, aroma y sabor a clavo de olor o medicina, se acepta en estilos belgas, de trigo o ahumadas. Causados por la levadura utilizada, malta de trigo o sorgo, contaminación por levaduras salvajes y limpiadores a base de iodo, cloro o clorofenoles (Guerberoff et al., 2020).
- Dimetilsulfuro (verduras cocidas).

Otros compuestos que generan anomalías son:

- Acetaldehído, aroma y sabor a manzana verdeo sidra. En cantidad excesiva el sabor se asemeja al vinagre. Compuesto intermedio en la formación de alcohol (fermentación). Se produce por exposición del alcohol al aire, interrupción temprana de la fermentación o maduración insuficiente, también por cambios de temperatura, falta de oxígeno, entre otras (Guerberoff et al., 2020).
- Clorofenoles (olor a medicamentos).
- Azufre, puede ocasionar un olor a huevos podridos.
- Ácido acético (vinagre), producido por acción microbiana en el etanol.

## 2.2.6. Materias primas en la elaboración de cerveza

### 2.2.6.1. Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Se la considera una planta anual de la familia de las gramíneas, parecida al trigo formada de espiguillas y grano aguzado en sus extremos, originario de Etiopía y Asia siendo una de las plantas más antiguas (Castillo, 2002, como se citó en Aldaz, 2018).

#### 2.2.6.1.1. Descripción del grano

Al ser una planta monocotiledónea su tallo embrionario se dirige hacia afuera lo que separa al endospermo del embrión. El endospermo se forma de células grandes, provistas de granos almidón las cuales forman un escudo (escutelo) siendo una zona embrionaria. Los granos de almidón se rodean por proteínas y una capa fina de grasa, las paredes con glucanos y hemicelulosa, la zona periférica (endospermo) se recubre de proteína, esta capa se denomina aleurona (Carvajal & Insuasti, 2010, como se citó en Aguirre, 2019).

### 2.2.6.1.2. Composición nutricional

Al contener gluten se la aprovecha mucho en la elaboración de pan y otros productos, en la actualidad se la encuentra mucho como grano entero, siendo esta la que mayor contenido nutricional posee.

**Tabla 4.** Componentes de cebada en 100 gramos.

Nutrientes	Cantidad
Energía	289
Proteína	8.40
Grasa total (g)	2
Colesterol (mg)	-
Glúcidos	77.50
Fibra (g)	7.30
Calcio (mg)	61
Hierro (mg)	4.58
Yodo (µg)	-
Vitamina A (mg)	1

**Fuente:** Aguirre (2019).

### 2.2.6.1.3. Cebada malteada

Su proceso de germinación y secado permite la activación de enzimas las cuales intervienen en el desdoblamiento de almidón a azúcares solubles. El malteo de este es el que menor problema genera, pero no es el único que puede ser malteado, ejemplo de ello el maíz que rara vez se maltea, ya que su grasa genera rancidez, en el caso del trigo su malta a nivel comercial se emplea en la elaboración de panes (Aguirre, 2019).

La malta posee un alto porcentaje de almidón lo que genera el extracto de fermentación, similar su alto contenido de proteínas proporciona aminoácidos permitiendo el desarrollo de levaduras y sustancias nitrogenadas, esto siendo de importancia en la formación de espuma (Aguirre, 2019).

**Tabla 5.** Composición nutricional de malta de cebada.

Composición	Cantidad (g)	CDR (%)
Calorías	361	18.9
Carbohidratos	78.3	25.2
Proteína	10.3	21.5
Fibra	7.1	23.7
Grasa	1.8	3.4

**Fuente:** Aguirre (2019).

### 2.2.6.2. Malta

El malteado es el punto de partida en la elaboración de cerveza, inicia por el germinado del cereal (materia prima). El proceso se interrumpe con el secado del grano, dando como resultado la malta, la cual se tuesta con el fin de elaborar varios estilos entre ales y lagers. El proceso es importante en la producción de cerveza, ya que transforma el almidón del cereal en azúcares y por medio de acción de las levaduras se fermentan transformándose en CO<sub>2</sub> y alcohol. Además, la malta es la encargada de otorgar el cuerpo, aroma, color y estabilidad de espuma en la cerveza, dicho de otra manera, sin malta no existe la cerveza (Echeverría y Gutiérrez, 2010, como se citó en Narváez, 2021).

#### 2.2.6.2.1. Maltas básicas

El tipo de malta depende de las condiciones de tiempo y temperatura a las que se someta el cereal en la etapa de malteado, en el que se desarrolla el sabor y color dependiendo del tipo de cerveza a elaborar.

**Tabla 6.** Maltas utilizadas en la industria cervecera.

Tipo de grano	Tipo de secado	Malta resultante	Características
Grano Germinado	Baja Temperatura	Malta Pilsen	Son de color claro, su astringencia es suave, su apariencia va desde rubias o doradas.
Grano Germinado	Mediana Temperatura	Malta Munich	Cervezas oscuras. Coloración roja a marrón.
Grano Germinado	Alta Temperatura	Malta Vienna	Tienen mayor concentración a la percepción de las características sensoriales, posee colores rojizos o más oscuros.

**Fuente:** Aguirre (2019).

#### 2.2.6.2.2. Maltas especiales

La malta acorde al proceso de secado aporta sabor, olor y color característico a cada cerveza, ejemplo de ello al tener la malta de cebada si se la expone al calor del horno por un tiempo determinado estas tienden a tostarse (malta caramelo) y se usan como colorante, para brindar color rubio a la bebida e incrementar su sabor (Aguirre, 2019).

#### 2.2.6.3. Agua

Varía entre los diversos tipos de cerveza, siendo el 90% de su composición agua. La calidad final de la cerveza depende mucho del tipo de agua empleada en su

elaboración. Las características que debe poseer es ser pura, libre de olor o sabor, potable y sin exceso de sales.

**Tabla 7.** Agua cervecera, componentes químicos.

Componentes cerveza	Fuerte (g/hl) cerveza	Ligera (g/hl)
Dureza total	14.8	1.57
Dureza no carbonatada	0.6	0.3
Dureza de carbonatada	14.2	1.27
CaO	10.6	0.98
MgO	3	0.12
Sulfatos	0.75	0.43
CO <sub>2</sub>	11.15	1
Nitratos	Trazas	Trazas
Cloruros	0.16	0.5

**Fuente:** Aguirre (2019).

Por lo general se tiende al uso de aguas blandas en la producción de cervezas claras y aguas duras para elaborar cervezas oscuras.

#### 2.2.6.3.1. Agua blanda

Agua baja en minerales (calcio), pero con mayor contenido en sodio. De origen natural o por tratamiento de agua. El agua natural no es potable ya que debido a la contaminación o polución debe ser purificada.

#### 2.2.6.3.2. Agua dura

Agua dulce compuesta de concentraciones de sales de magnesio, calcio, etc. Se divide en dos tipos:

- Dureza temporal (iones de magnesio y calcio) ejemplo carbonatos, los cuales se eliminan al ser sometidos a calentamiento.
- Dureza permanente (iones de magnesio y calcio) ejemplo sulfatos, que no pueden ser destruidos al someterse a calentamiento.

#### 2.2.6.4. Lúpulo

Planta trepadora dioica y diploide pertenece a la familia *Cannabaceae*. Produce flores de ambos géneros (femenino y masculino). Las inflorescencias (lúpulo) presentes en la planta hembra se utilizan principalmente en la elaboración de cerveza (Guimarães et al., 2021). El principio activo de la flor (lupulina) es el de aportar amargor y aroma característico en la cerveza, el cual contrarresta el dulzor obtenido en el desdoblamiento de almidón, dicho componente se presenta como resina, formado por ácidos y aceites (Castro et al., 2021). Se divide en tres grupos; lúpulos amargos, de aroma y de doble propósito. Los componentes importantes en

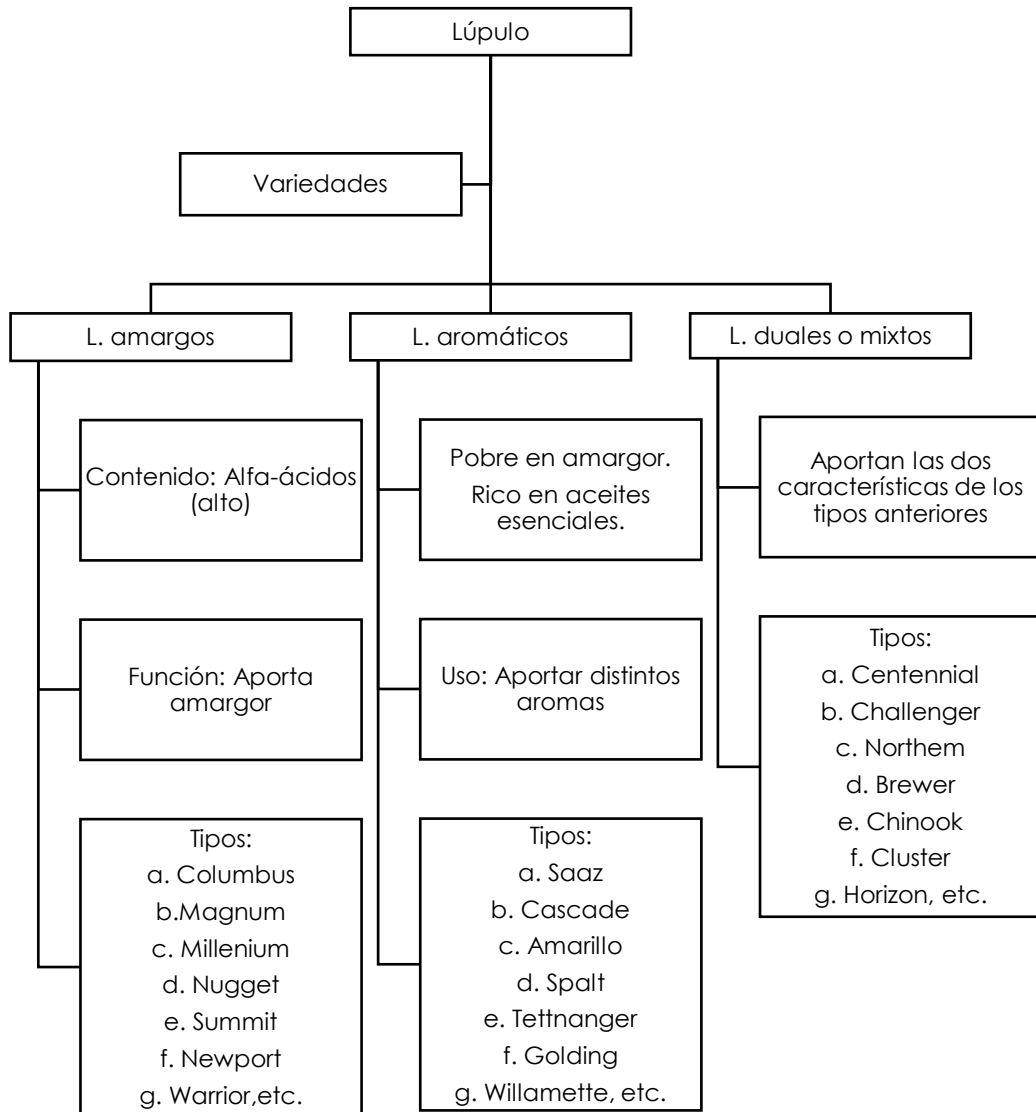
el lúpulo para elaborar cerveza son: alfa ácidos (amargor) y aceites esenciales (aroma), también polifenoles (estabilidad de cerveza) y ácidos beta con un papel menor en el proceso (Guimarães et al., 2021).

**Tabla 8.** Composición química del lúpulo.

<b>Componentes químicos</b>	<b>Porcentaje</b>
Materias nitrogenadas	17.5
Materias no nitrogenadas	27.5
Celulosa bruta	13.3
Aceites esenciales	0.4
Taninos	3
Extracto al éter (resinas)	18.3
Agua	10.5
Cenizas	7.5

**Fuente:** Aguirre (2019, p.17).

**Figura 1.** Tipos de lúpulo.



**Fuente:** Aldaz (2018).

#### 2.2.6.4.1. Resinas

Se constituyen de alfa y beta ácidos, humulonas y lupulonas respectivamente.

- Alfa ácidos: componentes indispensables del lúpulo. Al someterles a ebullición se transforman en Iso-humulonas responsables del amargor y acción antimicrobiana en la cerveza (Gonzáles, 2017, como se citó en Aldaz, 2018).
- Beta ácidos: imparten cierto amargor, susceptibles a oxidación por lo que merma esta capacidad, razón por la cual los cerveceros optan por lúpulos baja cantidad de beta ácidos (Gonzáles, 2017, como se citó en Aldaz, 2018).

#### 2.2.6.4.2. Aceites esenciales

Se constituye de una mezcla aproximada de 300 compuestos volátiles, los cuales brindan el carácter aromático a la cerveza. Los más relevantes para la cerveza son: humuleno, mirceno y cariofileno, pertenecientes a los terpenos. Tanto resinas como aceites esenciales conforman la lupulina (González, 2017, como se citó en Aldaz, 2018).

#### 2.2.6.4.3. Polifenoles

Localizados en el raquis (zona del pedúnculo). El principal es el tanino el cual brinda astringencia, además de ejercer una fuerte acción antimicrobiana y actúa como coadyuvante en la precipitación de proteínas al someterse el mosto a cocción, de esta manera facilita la clarificación (González, 2017, como se citó en Aldaz, 2018).

#### 2.2.6.5. Levadura

Pertenecientes al reino Fungi, por lo general se encuentran en alimentos azucarados como frutas y granos, su núcleo definido por la alimentación heterótrofa en la que transforma sustancias de los alimentos por medio de la fermentación consideradas saprofitas; por ello se las usa en la fabricación de pan, vino, cerveza, etc. (Aguirre, 2019).

##### 2.2.6.5.1. Clasificación

**Naturales o salvajes:** se encuentran en fruta como la uva la cual se emplea en la elaboración de vino.

**Falsas:** provocan reacciones fermentativas perjudiciales, pero algunas son de importancia en medicina, entre las que se tiene las del género *Torulopsis*, *Brettanomyces*, *Trichosporon* y *Rhodotorula*.

##### 2.2.7.6.2. Levaduras en cervecería

Es el ingrediente activo en términos general por su influencia en el flavor, puede producir numerosos compuestos los cuales inciden de manera positiva o negativa. Entre estos compuestos se tiene: ésteres, alcoholes superiores, sulfurados, fenoles, aldehídos, ácidos orgánicos, cetonas, entre otros (Loviso & Libkind, 2019).

La cerveza se origina por fermentación alcohólica mediante hidratos de carbono presentes en los cereales, pero estos se encuentran como polisacáridos estando disponibles para glucólisis por células de la levadura, siendo degradados a mono y di sacáridos por las amilasas (Renneberg, 2019).

En la industria se emplean 3 tipos de levadura:

- *S. cerevisiae*: de alta fermentación, se encuentra en el tallo de los cereales y cavidad bucal de mamíferos, actúa en temperaturas 12-24°C, se sitúa en la superficie del mosto para cerveza del tipo Ale.
- *S. uvarum*: de fermentación baja, actúa a temperaturas de 7-13°C, se sitúa al fondo del fermentador obteniéndose cervezas del tipo Lager.
- *Lactobacillus* y *Brettanomyces*: fermentaciones espontáneas, solo las levaduras suspendidas en el aire se introducen al mosto, como resultado se tiene una cerveza ácida a la cual se le aplica un proceso que baje su acidez.

#### 2.2.6.6. Adjuntos cerveceros

De acuerdo con la INEN 2262 (2013) "los adjuntos cerveceros pueden ser malteados o no, aportan extracto a la elaboración en la sustitución parcial de la malta sin que se vea afectada la calidad de la cerveza; se tiene 7 adjuntos entre modificados y crudos, tales como jarabes o azúcares industriales obtenidos por procesos enzimáticos a partir de almidón."

##### 2.2.6.6.1. Amiláceos

Presentan una gran cantidad de almidón, estos ingresan a la etapa de maceración para ser transformados en azúcares que facilitan la etapa de fermentación, los más comúnmente utilizados son:

- Maíz
- Arroz
- Trigo
- Avena
- Cebada
- Quinua

##### 2.2.6.6.2. Sacarinos

Se refiere a siropes o azúcares los cuales no pueden exceder el 10% del total de ingredientes a fermentarse debido a que se alterarían funciones y actividad de la levadura lo cual produciría una fermentación incompleta. La finalidad de agregar estos adjuntos es el de proporcionar un aumento en el contenido de alcohol, aporte de sabor y color dependiendo del ingrediente que se añada (Aldaz, 2018).

La diferencia entre sacarinos y amiláceos radica en que no requieren maceración por lo que se agregan directo al mosto cuando se encuentra en ebullición. Los más empleados son:

- Panela
- Miel
- Melaza
- Jarabe de azúcar de caña
- Azúcar candi
- Jarabe de almidón
- Glucosa
- Jarabe de remolacha

### 2.2.7. Maíz morado

Nombre científico *Zea mays* L. planta andina cultivada en zonas maiceras de la región sierra. Se distingue por su mazorca y granos de coloración morada, compuesta de 85% grano y 15% tusa. El grano se compone de pigmentos denominados antocianinas. Suele emplearse para preparar bebidas como chicha y colada morada (Casafranca, 2023).

#### 2.2.7.1. Taxonomía

Se originó en América, pertenece a la familia de Poáceas, siendo la única especie de alta importancia económica. En la siguiente tabla se presenta su taxonomía.

**Tabla 9.** Clasificación del maíz morado.

Característica	Detalle
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Viridiplantae</i>
Infrareino	<i>Streptophyta</i>
Superdivisión	<i>Embryophyta</i>
División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Spermatophytina</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Superorden	<i>Liliana</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Género	<i>Zea</i> L.
Especie	<i>Zea mays</i>

**Fuente:** Sáyago y Álvarez (2018).

### 2.2.7.2. Propiedades del maíz morado

La estructura química del cereal se compone de principalmente de hidratos de carbono y proteínas. Los minerales del grano se destacan por su contenido alto de Calcio y fósforo. El grano se compone de 80% almidón, 11% proteínas, complejo B y minerales un 2%. Se considera un antioxidante natural porque dilata el declive celular. El contenido de antocianinas es los que concede un color característico a bebidas y harinas (Risco, 2007, como se citó en Casafranca, 2023).

**Tabla 10.** Composición proximal de la variedad INIAP-199"Racimo de uva".

Variable	INIAP-199 "Racimo de Uva"(g/100g de muestra seca)
Humedad	9.58
Materia seca	90.42
Ceniza	1.44
Grasa	5.59
Proteína	8.0
Fibra	3.68
Carbohidratos	81.69
Sólidos solubles (°Brix) tallo	15
Sólidos solubles (°Brix) grano	13

**Fuente:** Yáñez et al. (2016, p.14).

### 2.2.8. Almidón

Macromolécula presente en cereales, considerado un carbohidrato cuya función es de reserva de energía, conocido también como fécula, harina o maicena.

**Tabla 11.** Propiedades fisicoquímicas del almidón.

Propiedades	Amilosa	Amilopectina
Estructura molecular	Lineal	Ramificada
Promedio de cadena	10 <sup>3</sup> Da	20-25 Da
Grado de polimerización	10 <sup>3</sup> Da	10 <sup>4</sup> – 10 <sup>5</sup> Da
Complejo con yodo	Azul (650nm)	Púrpura (550nm)
Afinidad de yodo	19-20%	1%
Valor azul	1.4	0.05
Estabilidad en solución acuosa	Poco estable	Estable
Hidrólisis con β-amilasa	70%	55-60%
Hidrólisis con β-amilasa y dextrinaza	100%	100%
Propiedades de película	Fuerte	Quebradiza

**Fuente:** Tovar (2008)

#### 2.2.8.1. Composición química del almidón

El almidón está compuesto por polisacáridos (amilosa y amilopectina) cuyo porcentaje cambia de acuerdo con la naturaleza que lo contiene. La amilosa considerada como polímero por sus moléculas de anhidro-glucosas que están unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4) y un porcentaje bajo de ramificación en enlaces  $\alpha$  (1-6). La amilosa presenta un peso molecular promedio de 105 a 106 g/mol; en la parte interna de su hélice. Además, este se conforma de átomos de hidrógeno que le ayudan a formar complejos con ácidos grasos libres los cuales se consideran como una característica hidrófoba (León Méndez et al., 2020).

Por otro lado, la amilopectina corresponde a una partícula de gran tamaño con ramificaciones en las cadenas lineales cortas que se juntan a través de enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-6). Dentro de las características específicas contienen de 10 a 60 unidades de glucosa. Por otro lado, la amilosa es inferior a 1000 veces en peso molecular con respecto a la amilopectina. Estas moléculas ayudan al carácter flexible y resistente del almidón (León Méndez et al., 2020).

#### 2.2.8.2. Almidón de maíz

Parte principal del grano que ocupa un 85% de su peso, su función es de reserva de energía que va aumentando acorde al crecimiento del grano. Este presenta moléculas complejas que al mezclarse con agua forman una suspensión de baja viscosidad (García, 2015, como se cita en Lazo, 2022, p. 22). Se forma de amilosa (25%) y amilopectina (75%) (Barrera, 2016, como se cita en Lazo, 2022, p. 23). El almidón también puede ser cambiado a otros compuestos, principalmente azúcares.

#### 2.2.8.3. Degradación del almidón

Los oligosacáridos son degradados al unirse a los residuos ya que permiten el rompimiento de los enlaces glucosídicos, formándose así partículas más pequeñas (disacáridos o monosacáridos). La absorción de los agregados tanto fuera como en la parte interna de la célula involucran una degradación por medio de glucosidasas conocidas como enzimas digestivas, estas actúan en algunos polisacáridos y tipos específicos de enlaces glucosídicos. Tal es el caso, de las enzimas que alteran el almidón, con enlaces  $\alpha$ -(14) y  $\beta$ -(14). Donde la reacción química permite que las cadenas de polisacáridos se separen mediante la actividad del agua, formando cadenas pequeñas "carbohidratos simples" (Estrada, 2017).

### 2.2.9. Enzimas

Estos catalizadores conocidos como biomoléculas equilibran los sistemas al acelerar la velocidad de reacción, intervienen como aceleradores de reacciones químicas específicas en los seres vivos o sistemas biológicos. Dichas enzimas requieren de rutas metabólicas o actividades enzimáticas previas para seguir un proceso secuencial (Manrique Hernández, 2017).

Un catalizador disminuye la energía de activación de la reacción química, lo que genera el incremento de velocidad de reacción. Las enzimas actúan sobre los sustratos, convirtiéndose en moléculas diferentes (producto). Casi todos los procesos requieren enzimas para que resulten tasas significativas (Anrango, 2013).

El uso de este tipo de enzimas reduce reacciones secundarias indeseables por tener alta particularidad al sustrato, actividad catalítica y por realizar respuestas regio selectivas y estereo selectivas. Además, tienden a reaccionar en condiciones moderadas. Las enzimas lignocelulolíticas provienen de microorganismos específicos, a partir de sustratos comerciales. Existen diversos complejos enzimáticos lignocelulolíticos, tales como: celulasas (glucanasas,  $\beta$ -glucosidasas), hemicelulasas (xilanasas, acetil-esterasas, etc.) y ligninasas (lacasas, lignina peroxidasas, manganeso peroxidasas) (Sánchez-Ramírez et al., 2014).

#### 2.2.9.2. Sitio activo

La actividad de las enzimas depende de su acción de desplegarse; donde se forman sitios activos que corresponden a su estructura tridimensional, dichos sitios activos tienen relación con los sustratos de los cuáles se obtienen otros subproductos. También, se generan reacciones covalentes y no covalentes entre la proteína y el sustrato por la interacción de acciones químicas en la estructura de la enzima. Esta catálisis modifica el sustrato y libera del sitio activo el resultado final. Por otro lado, la enzima es capaz de regresar a su estado inicial y realizar otro proceso de acción enzimática (Ramírez & Ayala, 2014).

#### 2.2.9.3. Amilasas

Las  $\alpha$ -amilasas hidrolizan los enlaces  $\alpha$ -1,4 del interior del almidón (tanto en amilosa como en amilopectina), del glucógeno y de las ciclodextrinas, manteniendo la configuración a del carbono anomérico. Dado que es una enzima "endo", su acción afecta en gran medida la viscosidad de alimentos que se componen de almidón en su mayoría. Algunas  $\alpha$ -amilasas microbianas se inactivan a

temperaturas altas, sino producen efectos indeseables sobre la estabilidad de alimentos a base de almidón (Estrada, 2017).

#### 2.2.9.3.1. Amilasas durante el malteo

El malteado corresponde a una etapa de germinado del cereal utilizado que se somete a remojo en agua causando el desarrollo de fitohormonas; como el ácido giberélico que pasa por el escutelo hasta llegar a la aleurona. Posteriormente, dichas moléculas son capaces de producir la amilasa  $\alpha$  y  $\beta$  las que permanecen en el endospermo donde se encuentra el almidón del cereal y que se liberan en el malteado (Kalita et al., 2017).

Generalmente, la alfa-amilasa produce una disminución de partículas modificando la viscosidad del gel de almidón haciéndolo más fluido. De esta acción enzimática no se produce maltosa. Por otro lado, existe la beta-amilasa es privativa del reino vegetal, que ayudan en el proceso de transformación de azúcares complejos a menos simples (Panizza & Medina, 2023).

#### 2.2.9.4. Glucoamilasa

La Amiloglucosidasa o conocida como ( $\alpha$  – 1,4 glucan – glucanohidrolasas) cortan unidades de glucosa de la parte reductora. Los azúcares tienen una degradación baja tal es el caso de la maltosa y otros polisacáridos ramificados. Posteriormente, de la acción enzimática de la gluco-amilasa se obtiene glucosa, maltosa y dextrinas; esta enzima posee la función de romper enlaces  $\alpha$  (1,4) y  $\alpha$  (1,6) de los glucanos; produciendo fragmentación del almidón. Son utilizadas en la industria para obtener jarabes de glucosa (Estrada, 2017).

#### 2.2.9.5. Hidrólisis enzimática del almidón

La actividad enzimática del almidón se conoce como un procedimiento para reducir moléculas de almidón de gran tamaño a otras más simples. De este proceso se obtienen glucosa hasta dextrinas de alto peso molecular.

Las enzimas principalmente implicadas en este proceso se denominan amilasas “ $\alpha$ - $\beta$  amilasa” (Barrero y Quiroga, 2016, como se cita en Lazo, 2022, p. 24). La  $\alpha$ -amilasa fragmenta el almidón en dextrinas reductoras. La  $\beta$ -amilasa convierte el almidón en glucosa.

Las  $\alpha$ -amilasas son utilizadas en la fragmentación de enlaces que conforman el almidón hasta su conversión en maltodextrinas. La fragilidad de los gránulos de

almidón depende de la estructura del cereal, puesto que el almidón se encuentra parte gelatinizado o suspendido como gránulos intactos (Tabares, 2013).

#### 2.2.9.5.1. Gelatinización

El almidón es insoluble en agua fría, pero suele hincharse al calentarse en un medio acuoso, destruyendo la estructura cristalina, aumentando el tamaño de gránulo y solubilidad; el proceso depende de la estructura de los gránulos, el tamaño, el tipo de cristal, la proporción de amilosa - amilopectina y la proporción de peso promedio. El resultado es una solución viscosa dependiendo de la cantidad de agua añadida. (Drapala & Hernández, 2018).

Al llegar a ciertas temperaturas por lo general cercanas a 65°C, dependiendo del tipo de almidón, el gránulo llega alcanzar su volumen máximo perdiendo su patrón de difracción de rayos X y la propiedad de birrefringencia; al administrar más calor el grano incapacitado de retener líquido se rompe parcialmente y amilopectina y amilosa, muy hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución. Es en este punto que se pierde estructura y birrefringencia del gránulo, aunado a ello un aumento de viscosidad. Un 30% de amilosa se encuentra en solución. La gelatinización es una transición de un estado ordenado a otro desordenado en el cual se absorbe calor, es decir el gránulo se hincha reteniendo un máximo de agua hasta que finalmente se rompe y produce dispersión de amilosa y amilopectina (Centeno, 2016).

#### 2.2.9.5.2. Licuefacción

Posterior a la gelatinización el almidón se hidroliza parcialmente dando origen a dextrinas por acción de  $\alpha$ -amilasa, en la hidrólisis se tiene el objetivo de reducir la polimerización obteniendo dextrosa (Nieblas-Morfa et al., 2017, como se cita en Lazo, 2022, p. 27).

La alfa amilasa cataliza la hidrólisis de cadenas lineales de amilosa y ramificadas de amilopectina presentes en el almidón creando una ruptura en los enlaces  $\alpha$ -1,4 formándose dextrinas, de allí que se la conoce como enzima dextrinogénica con baja producción de maltosa; la enzima comercial es sensible a una acidez elevada volviéndose inactiva a un pH de 3.3 o menor, su rango de acción óptimo esta entre 5-7, además es resistente al calor ya que a 70°C prevalece con un 70% de actividad (Barrero & Quiroga, 2016).

#### 2.2.9.5.3. Sacarificación

A partir de aquí intervienen exo-amilasas rompiendo enlaces  $\alpha$ -1,4 glucosídicos o  $\alpha$ -1,6; lo que se busca es convertir la D-glucosa de la etapa anterior en rendimientos

más altos, por ello la glucoamilasa rompe enlaces 1,4- $\alpha$ -D-glucosa siendo residuos de cadenas después de su digestión por alfa y beta amilasas. Al final, se obtiene glucosa cuya cantidad aumenta después de esta etapa. El pH indicado de acción enzimática es de 4-4.5 a temperaturas de 60-70 °C (Rega López, 2016, como se cita en Lazo, 2022, p. 27).

La glucoamilasa ataca cadenas de polisacáridos rompiendo enlaces 1,4- $\alpha$ -D-glucosa los cuales se encuentran como residuos en las cadenas después de ser digeridas por alfa y beta amilasas, al final se obtiene glucosa; la mayor actividad de la enzima se obtiene con un pH de 4-5.5 y temperaturas de 55-65°C (Barrero & Quiroga, 2016).

#### 2.2.9.6. Factores que afectan la velocidad de reacción enzimática

La velocidad de reacción depende de algunos factores, dentro de los que están, temperatura, concentración de sustrato, enzima, agua disponible, entre otras.

##### **Influencia de la temperatura**

Al proveer calor en una catálisis se genera energía cinética en las moléculas del sistema. La incidencia de la temperatura aumenta la colisión de partículas y con ello se acelera la transformación de las reacciones químicas. Sin embargo, este factor ocasiona cambios de la estructura enzimática cuando sobre pasa el límite de condiciones óptimas para la enzima, puesto que se desnaturaliza e inhibe su acción.

Por otro lado, la acción de la enzima es baja cuando la temperatura actúa de manera proporcional haciendo del proceso reversible (Paz, 2018).

##### **Influencia del pH**

Las enzimas cumplen con ciertas condiciones para poder desarrollarse adecuadamente como es el caso del pH donde actúan con mayor eficacia si se encuentra dentro de los rangos dados. Por el contrario, si no cuentan con el pH óptimo mueren (Paz, 2018).

##### **Influencia de la concentración de sustrato**

Al aumentar la concentración del sustrato y la proporción de enzima no es variable; la reacción se acelera. Por otro lado, al existir más átomos en el sustrato se genera más rápido el choque entre enzima y sustrato. Sin embargo, si la cantidad de sustrato no es proporcional, la reacción se satura y no existe el choque del complejo enzima - sustrato y la velocidad disminuirá (Paz, 2018).

### **Efecto de los activadores**

Existen iones que ayudan a la coalición entre la enzima y el sustrato. Como es el caso de la enzima fosforilasa que se da por la interacción de iones magnesio  $Mg^{2+}$  (Paz, 2018).

### **Efecto de los inhibidores**

Son compuestos que determinan la operación de la enzima o bien la inhiben o aumentan la acción de esta. La inhibición puede ser irreversible y reversible (Luis, 2018). La inhibición irreversible cuando el inhibidor se ajusta en el centro activo de la enzima e impide su actividad.

Por otro lado, la inhibición reversible se fundamenta cuando se inactiva la enzima por un tiempo, esto sin dañar la estructura. Además, es competitiva cuando el inhibidor es similar al sustrato y se superponen en el centro activo.

También, es no competitiva cuando el inhibidor se junta por otro medio que no es el sustrato, modificando su estructura (Paz, 2018).

#### 2.2.10. Azúcares reductores y no reductores

Existen azúcares que poseen grupos cetona y aldehídos de manera libre en su estructura, estos tienen la capacidad de oxidarse al estar en presencia de agentes oxidantes; dicha característica hace que se los denomine azúcares reductores, que son monosacáridos y disacáridos. Por otro lado, se tiene azúcares que carecen de esta característica sin haber una previa hidrólisis, a estos se los denomina azúcares no reductores; al someterse a hidrólisis ácida o por la ayuda de la enzima invertasa liberan fructosa y glucosa (azúcares invertidos) con un mayor poder edulcorante sin la capacidad de formar cristales. Ejemplo de azúcar no reductor es la sacarosa que se forma por un grupo aldehído de molécula de glucosa y una cetona de molécula de fructosa (Silva, Silva, Ramos, Melo y Oliveira, 2008).

##### 2.2.10.1. Técnica del ácido 3,5-dinitrosalicílico

Los azúcares reductores se someten a ácido 3,5-dinitrosalicílico bajo determinados ambientes donde se reducen en presencia de calor con un cambio de color parecido al café. El cambio de coloración puede leerse por espectrofotometría a una determinada longitud de onda.

Para realizar la preparación del reactivo se debe pesar 0,8 gramos de NaOH y mezclar en agua destilada, inmediatamente se procede a agregar y homogenizar 15 g de tartrato de sodio y potasio tetra hidratado y 0,5 g de DNS. Dicha

composición se afora a 50 mL con agua destilada y se almacena en un frasco ámbar por su efecto en presencia de luz a una temperatura de refrigeración 4°C. La cantidad de azúcares reductores se establece mediante los diferentes números de absorbancia en función de la concentración para la construcción de una curva patrón de glucosa. Previo al procedimiento se realizan soluciones de 200-1000 mg/L, a partir de glucosa.

La preparación de la glucosa se realiza a peso constante con concentraciones de 5, 10 ,15, 20 y 25 ml aforadas a 25 ml. Luego, se toma 0,5 ml de cada solución con 0,5 ml de DNS y se lleva a ebullición por cinco minutos transcurrido el tiempo se detiene el proceso con agua fría por 15 minutos inmediatamente se enriquece con 5 ml de agua destilada, se homogeniza y se realiza la lectura en un espectrofotómetro a 540 nm de longitud de onda (Ávila Núñez et al., 2012).

Mediante el uso de esta técnica, se determinan concentraciones de azúcares como glucosa, resultado de la hidrólisis catalizada después del pretratamiento con cloruro de 1-h-butil-3-metilimidazol. (Negrulescu et al., 2012).

#### 2.2.10.2. Curva de glucosa

Para obtener la curva de calibración en la determinación de azúcares reductores se utiliza el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) de la siguiente manera:

- Para la curva teniendo un rango de concentración 0 – 2.0 g/L.
- Todas las disoluciones por duplicado acorde a la tabla 12 o a su vez se puede se utiliza un azúcar reductor como estándar (glucosa) y se realiza disoluciones.
- Al tener la curva con las disoluciones finales se establece el procedimiento de cuantificación de azúcares reductores (AR).

Además, se debe tener un blanco para obtener una mejor absorbancia.

**Tabla 12.** Ejemplo de disoluciones para la curva patrón de glucosa.

Tubo	Volumen de solución de glucosa de 1 g/L (mL)	Volumen de agua destilada (mL)	Concentración de glucosa de la muestra (g/L)
1 (Blanco)	0.0	1.0	0.0
2	0.1	0.9	0.2
3	0.2	0.8	0.4
4	0.3	0.7	0.6
5	0.4	0.6	0.8
6	0.5	0.5	1.0
7	0.6	0.4	1.2
8	0.7	0.3	1.4
9	0.8	0.2	1.6
10	0.9	0.1	1.8
11	1.0	0.0	2.0

**Fuente:** Miller (2019)

#### 2.2.10.3. Soluciones de glucosa para curva patrón

Las soluciones se preparan acorde a lo expuesto en la tabla 12. Se añade 0.25 mL de solución y 0.25 mL de reactivo (DNS) en tubos con tapa cubiertos de aluminio, esto protege la reacción de la luz. Los tubos son llevados a baño maría 92°C por 5 minutos. La reacción se detiene por enfriamiento (hielo) por 5 minutos, después se agrega 2.5 mL de agua destilada en cada tubo, agitamos y se da lectura de la absorbancia a 540nm con la ayuda del espectrofotómetro (Ávila Núñez et al., 2012).

#### 2.2.10.4. Cuantificación de azúcares reductores

Una vez construida la curva patrón se emplea el reactivo DNS en cada una de las muestras, para lo cual se mezcla 0,5 ml de las soluciones (5,10,15,20,25 ml) respectivamente con 0,5 mL del reactivo DNS. Posteriormente, se coloca a ebullición por 5 min en baño de maría; transcurrido el tiempo se detiene la reacción con agua a 4°C. Posteriormente, se reconstruyen las muestras con 5 ml de agua destilada, se homogenizan y se dejan en reposo por 15 min pasara obtener la lectura a una absorbancia de 540 nm.

Para el cálculo de la concentración de azúcares se establece mediante una interpolación en la curva patrón de glucosa, a partir de la absorbancia en relación de la concentración. El método se realiza con un análisis por triplicado y el resultado obtenido se reemplaza en la curva patrón para obtener la concentración de

azúcares reductores en gramos/ litro. De los tres valores se realiza el promedio y se obtiene la concentración final (Ávila Núñez et al., 2012).

## 2.2.11. Proceso de malteado de maíz morado

### 2.2.11.1. Recepción

El cereal es importante para comenzar el proceso de malteado, debe estar sin contaminación física, ni biológica. Cuando la materia prima ingresa, debe realizarse un control de calidad, comprobándose tamaño, olor y color del grano. La humedad debe estar en el rango de 11% a 13%; de no coincidir el cereal debe ser secado antes de almacenar. Posterior, se ingresa los granos en un lugar adecuado que cuente con condiciones de temperatura de 35-38°C (Aguirre, 2019).

### 2.2.11.2. Limpieza y selección del grano

Se inicia colocando el grano en depósitos para seleccionar semillas malas y buenas, y así retirar los residuos; acabada la selección se procede a lavar al menos por 3 veces el maíz con el objetivo de retirar impurezas.

### 2.2.11.3. Remojo del grano

#### **Objetivos del remojo**

- Lavar el cereal y eliminar el agua sucia
- Remover impurezas
- Incrementar la humedad desde 12% hasta un 42-44%
- Suministrar el suficiente oxígeno al embrión
- Remover supresores de crecimiento

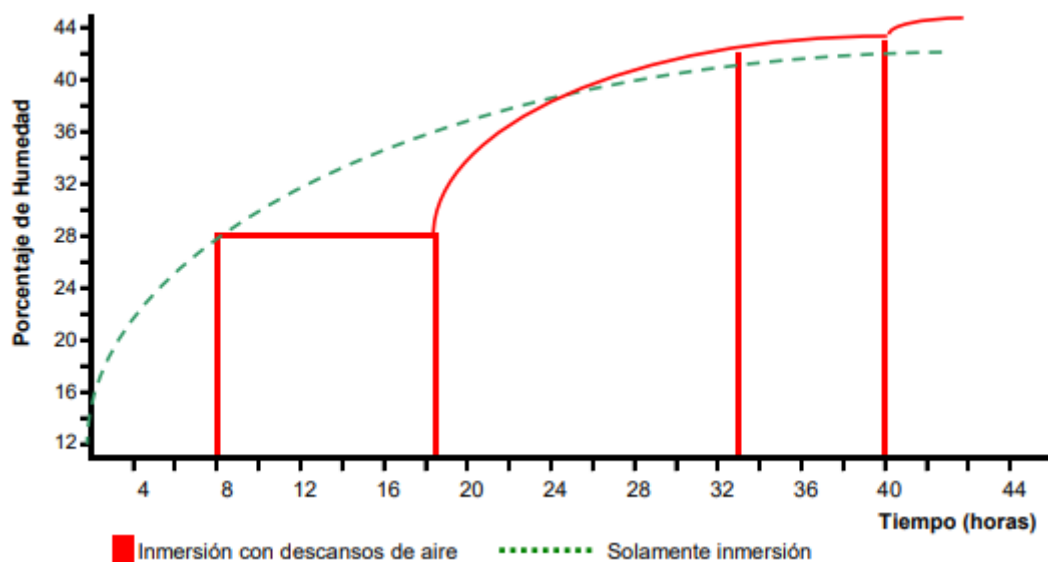
El proceso es corto, dura de 18 a 36 horas dependiendo de las condiciones de malteo. La temperatura del agua se encuentra de 15 a 18°C; la primera inmersión tiene como fin iniciar la absorción y lavar el grano de polvo e impurezas no extraídas en la previa etapa al remojo. El proceso que se desea disparar con esta etapa es la germinación por lo que debe existir condiciones aeróbicas (Tortola, 2021).

La etapa consta de dos fases: periodos de inmersión (suministro de agua) y periodos de oxigenación (suministro de oxígeno). El oxígeno es esencial debido a que la respiración del embrión incrementa significativamente lo que genera una demanda importante del gas en el agua de remojo, además de ser el promotor de formación de  $\alpha$ -amilasa; contrario en ausencia de oxígeno el embrión metaboliza anaeróticamente reservas de manera energéticamente poco eficaz, transformando en alcohol y CO<sub>2</sub>, y a medida que el alcohol aumenta se vuelve

tóxico para el grano, mientras que el exceso de CO<sub>2</sub> inhibe la formación de enzimas (Gallardo Aguilar et al., 2018).

Al intercalar descansos de aire se aumenta la velocidad para llegar a la humedad deseada comparado con un proceso de inmersión continua, esto se puede visualizar en la figura 2; durante los descansos se elimina el agua y extrae el CO<sub>2</sub> originado por la respiración del grano, este permanece mojado teniendo una película de agua exterior lo que ayuda en el intercambio gaseoso, indispensable para la etapa de germinado. Conforme avanza el tiempo en la etapa la semilla tiende a incrementar su tamaño hasta en un 25%, ocurriendo un ablandamiento de células, activación de enzimas del grano para dar inicio a la etapa de geminado (Tortola, 2021).

**Figura 2.** Efecto de la alternancia de periodos de remojo / aireación



**Fuente:** Curso de fabricación de cerveza (2011)

De acuerdo con Aguirre (2019) el grano se somete a un ciclo de remojo alternado y aireado. Primero un remojo por 8 hora a 25°C. Posteriormente un aireado por 4 horas a 20°C y nuevamente un remojo por 10 horas a 25°C. En el primer remojo hay presencia de granos que suben a la superficie un 3 a 4%, los cuales son eliminados por la ausencia de endospermo. Luego, se cambia el agua hasta que esta se encuentre limpia. La temperatura de remojo del cereal debe ser constante a 25°C.

#### 2.2.11.4. Germinación

##### **Objetivos de la germinación**

- Proseguir con el proceso de germinado iniciada en el remojo (separación de paredes y matriz proteica)
- Exponer el almidón del endospermo a la acción de enzimas de la maceración.
- Reducir la pérdida de extracto por crecimiento y respiración del cereal.
- Producir un nivel adecuado de enzimas hidrolíticas.
- Hidrolizar proteínas de reserva para conseguir nitrógeno, indispensable para las levaduras (fermentación)

Ingresados los granos a las bandejas se remueven con el fin de eliminar CO<sub>2</sub> producido por la respiración, para proporcionar oxígeno, regular la temperatura y homogenizar la humedad de los granos. Además de que estos movimientos periódicos evitan que las raicillas se entrelacen formando redes difíciles de separar.

El ingreso de agua al grano permite el transporte de hormonas vegetales (giberelinas) lo que desencadena la movilización y síntesis de enzimas de la aleurona. El endospermo se forma de paredes celulares las cuales se componen de 75% betaglucanos y 20% arabinoxilanos, y dentro de ellos una matriz proteica (reserva) lo que rodea al gránulo de almidón.

La degradación enzimática inicia desde el extremo embrionario del grano hacia su extremo distal, esto implica un debilitamiento físico en la estructura del endosperma, ya que ataca en un principio paredes celulares y matriz proteica que rodea al almidón, ha esto se lo denomina "modificación de endosperma o desagregación".

La estructura proteica que envuelven los gránulos de almidón desaparece un día después de iniciada la germinación, revelándose los gránulos y paredes celulares. Las células presentes en la capa de aleurona liberan al endosperma tres grupos enzimáticos: glucanasas, amilasas y proteasas. Estas aportan una gran cantidad de enzimas encargadas de diluir paredes celulares y transformar de manera parcial el almidón hasta azúcares simples. La proporción de estos azúcares durante el malteo es baja, lo necesario para mantener el metabolismo del embrión; esto debido a que la degradación de almidón hasta dextrinas y azúcares fermentables se llevará a cabo en la etapa de maceración. Si la degradación de almidón excede a la necesaria para la alimentación del embrión es factible que los azúcares se pierdan y no sean aprovechados en la elaboración de cerveza.

Durante esta etapa se consume hidratos de carbono por lo que se genera un aumento de proteínas, pero parte de estos compuestos nitrogenados simples migran a las raicillas; al eliminar las raicillas se genera un descenso en el porcentaje de proteínas.

Para la germinación de los granos se llevan a bandejas que constan de dos telas de algodón blanco grueso sobre una tela mosquitera. Se humedece y se riega el grano a una altura de 3 o 4 granos de maíz. Este procedimiento dura aproximadamente de 3 a 5 días y se mantiene un 60% de humedad. Cada día se observa si existe descomposición en algún grano y se retira, para ello debe asegurarse una correcta aireación y remojo. Se generan raicillas entre los 31-37°C (Aguirre, 2019).

### **Germinación tradicional**

Consiste en extender el grano remojado en una superficie plana formando una capa uniforme, el material de recubrimiento debe ser impermeable y las pérdidas de humedad se compensan con duchas de agua hacia el grano. Se requiere un volteo del grano con palas eliminando CO<sub>2</sub> y entrecruzamiento de raicillas, esta etapa requiere un tiempo de 8 a 10 días (Gallardo Aguilar et al., 2018).

### **Sistemas neumáticos**

Tanto contenido de agua, humedad y temperatura se controla por inyección de aire húmedo templado al lecho del grano por lo que se requiere de una caja de germinación con acondicionamientos que mantengan las condiciones de humedad y temperatura constantes (Gallardo Aguilar et al., 2018).

#### 2.2.11.5. Secado

### **Objetivos del secado**

- Frenar la etapa de germinado
- Mantener las enzimas vivas para el posterior proceso de maceración.
- Bajar la humedad para su almacenamiento
- Obtener una malta que satisfaga la demanda de color, aroma y gusto de la industria cervecera.

En este punto el proceso de germinación se ve interrumpido con la reducción de humedad de 45-46% hasta 4-4-5% mediante el uso de un caudal forzado de aire, con un tiempo y temperatura controlado. El objetivo es la extracción de agua del grano hasta obtener la humedad deseada manteniendo la capacidad metabólica de las enzimas previamente sintetizadas (Tortola, 2021).

El siguiente paso es el secado para detener el proceso de germinación se da de manera natural con exposición al sol por un tiempo aproximado de 3 días debe llegar a una humedad del 3-5%. pero también existe otro método mediante la implementación de un deshidratador a 40° C por un día (Aguirre, 2019).

En este procedimiento se aumentan las características sensoriales con el aumento del sabor y color. La temperatura idónea del secado se lleva a cabo hasta los 50°C. Sin embargo, las altas temperaturas pueden ocasionar daños en los compuestos aromáticos (Lanchimba Ruíz & Narváez Hernández, 2021).

## 2.2.12. Proceso de elaboración

### 2.2.12.1. Malteado

En esta etapa las condiciones de remojo a temperaturas entre 18 a 25°C permiten el aumento de humedad, esto para generar el desarrollo de las raicillas aproximadamente de 1.5 a 3.5 cm (Espitia, 2020).

Para el malteado se necesita generar las enzimas las que son capaces de transformar los almidones en azúcares que son fuente de crecimiento para la nueva planta. Es por eso que se interrumpe el proceso para que los azúcares no sean consumidos totalmente por la nueva planta y afectar la fermentación (Rivera y Naula, 2019).

Durante esta etapa el almidón es degradado en una mezcla de moléculas de poliglucosa menos complejas que las originales por acción de diversas enzimas (glucosidasa, alfa amilasa, fosforilasa, beta amilasa y enzimas desramificadoras). Las más importantes en esta etapa son las alfa y beta amilasas endoenzima y exoenzima respectivamente. La beta amilasa se encuentra presente en el grano antes de la germinación, mientras q la alfa amilasa comienza su síntesis por las giberelinas durante el germinado, por ello durante esta etapa va en aumento la relación de alfa y beta amilasa. Durante el secado la alfa amilasa se muestra termoestable por lo que las maltas tostadas presentan una reducción de beta amilasa (Tortola, 2021).

### 2.2.12.2. Maceración

Después de la molienda de la malta se tritura el grano para tener un contacto directo con el agua y obtener un jugo dulce. Durante el aumento de temperatura, ocurren múltiples reacciones que permiten el desdoblamiento de enzimas alfa y beta-amilasa, cuya función es fragmentar cadenas de aminoácidos, cadenas de

glucosa y otros, para obtener cadenas menos complejas. Esto con la finalidad de que las levaduras puedan transformar totalmente los compuestos en alcohol.

Las enzimas tienen rangos óptimos de temperatura dentro de este proceso existen enzimas como las peptidasas o proteasas que actúan a temperaturas de 45°C a 55°C que separan las cadenas de proteínas; la maltasa que generalmente inicia su actividad a temperaturas de 30°C y 40°C de las cuales se obtiene una unidad de glucosa. Sin embargo, este proceso es más productivo a temperaturas de 62°C a 75°C donde la alfa y beta-amilasa separan las cadenas de almidón en azúcares simples.

Además, los gránulos de almidón que se encuentran presentes en el cereal malteado suelen componerse de amilopectina y amilasa. Por otro lado, la presencia de la beta-amilasa favorece la formación de azúcar en forma de maltosa para la levadura y la alfa-amilasa con la presencia de azúcares estructurales llamados "dextrina" contribuyen en suavidad y retención de espuma en la cerveza (Perfectdraft, 2019).

Por último, el activar enzimas las  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas permite la transformación del almidón hasta azúcares fermentables. El tiempo total de la maceración es de 120 min (Espitia, 2020).

#### 2.2.12.3. Cocción

Una vez obtenido el jugo dulce se procede a la corrección, donde la mezcla ebulle por 90 minutos, durante este período se añade el lúpulo. En esta etapa se puede adicionar de manera directa el lúpulo sobre el mosto (Verdú, 2016).

#### 2.2.12.4. Enfriamiento

El mosto es enfriado mediante un intercambiador que consta de una salida de flujo a 20°C en el caso de la cerveza tipo Ale y en la Lager a 8°C. Una vez equilibrada la temperatura se inocula la levadura, puesto que si no alcanza la temperatura ideal se puede inactivar la cepa, y a su vez no se produciría la fermentación alcohólica (Verdú, 2016).

#### 2.2.12.5. Fermentación

El proceso de fermentación varía dependiendo del tipo de cerveza que se desea elaborar. En el caso de las cervezas tipo Ale, se lleva a cabo una fermentación alta, que ocurre a temperatura ambiente en la parte superior del mosto. Por otro lado, para obtener cerveza tipo Lager, se realiza una fermentación baja en la parte

inferior del recipiente, a temperaturas más bajas. En la fermentación alta se utilizan microorganismos que ayudan a obtener una clarificación natural (Rivera y Naula, 2019).

Cuando se fermenta la capa superior, la temperatura de inoculación inicial es de aproximadamente 15-16°C, y luego la temperatura se eleva a 20-25°C durante 36 horas. La mayor parte del proceso tiene lugar a temperaturas entre 18 y 24 °C durante tres o cuatro días. El aumento de la temperatura favorece la formación de ésteres y alcoholes, y los ésteres aportan aromas afrutados. Al tercer día, la temperatura desciende y la levadura sube a la superficie. Este tipo de fermentación se utiliza en la producción de cerveza ale (Rivera y Naula, 2019).

#### 2.2.12.6. Embotellado y maduración

Para el embotellado se requiere de un proceso llamado priming, en el cual se agrega la levadura contenida en el jugo dulce, creando dióxido de carbono. A nivel artesanal, utilizan azúcar refinada o morena. Se agrega azúcar a la cerveza y se deja reposar antes de embotellarla. Dependiendo del tipo de cerveza a elaborar, este añejamiento toma de 8 días a un mes a 15 a 18°C, y de 5 a 8 días para la cerveza Ale (Rivera y Naula, 2019).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

##### 3.1.1. Enfoque

El trabajo de investigación adopta un enfoque cuali-cuantitativo, ya que se realizó una investigación experimental donde se manipuló variables en un laboratorio realizándose diferentes análisis fisicoquímicos, sensoriales y microbiológicos que permitieron encontrar diferencias entre tratamiento mediante el uso de un paquete estadístico.

##### 3.1.2. Tipo de Investigación

En este estudio se empleó una investigación experimental, mediante pruebas de laboratorio se observó y determinó cuales son los cambios que sufren las variables dependientes (características fisicoquímicas y sensoriales) al hacer cambios en la variable independiente en cuanto a la sustitución parcial de malta de maíz morado, los datos que se obtuvieron en el experimento son cuali-cuantitativos los cuales son analizados estadísticamente y permiten aceptar o rechazar la hipótesis de investigación.

#### 3.2. IDEA A DEFENDER

##### **Hipótesis alternativa (Hi)**

La sustitución parcial de malta de cebada por maíz morado (*Zea mays L.*) influye sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale.

##### **Hipótesis nula (Ho)**

La sustitución parcial de malta de cebada por maíz morado (*Zea mays L.*) no influye sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale.

#### 3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

**Primera fase:** Proceso de malteado

##### **Variables independientes:**

Malteado

- A1: Hidrólisis enzimática
- B1: Malteado

**Variables dependientes**

Calidad de malta: densidad, almidón y azúcares reductores

**Segunda fase:** Elaboración de la cerveza

**Variable independiente**

Porcentaje de malta de maíz hidrolizado

- 10% maltas maíz hidrolizado+90%malta base
- 20% maltas maíz hidrolizado+80%malta base
- 30% maltas maíz hidrolizado+70%malta base

Porcentaje de malta de maíz malteado

- 10% malta maíz malteado+90%malta base
- 20% malta maíz malteado +80%malta base
- 30% malta maíz malteado +70%malta base

**Variable dependiente**

Calidad de la cerveza

Calidad sensorial (aroma, apariencia, sabor, sensación en la boca e impresión general)

Calidad fisicoquímica (contenido de alcohol, acidez total, pH, carbonatación)

Calidad microbiológica (anaerobios, mohos y levaduras)

**Tabla 13.** Operacionalización de variables primera fase, método de adición de malta de maíz morado.

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Independientes: Malteado	Maíz hidrolizado	Hidrólisis enzimática	Ensayo de laboratorio	(Estrada, 2017)
	Maíz malteado	Hidrólisis mediante malteado	Ensayo de laboratorio	(Paredes et al. 2022)
Dependientes: Calidad de malta	Porcentaje de hidrólisis	Densidad	Densímetro	Método volumétrico
		Almidón	Prueba iodo	INEN 1 236
	Porcentaje de malteado	Azúcares reductores	Espectrofotómetro	(Pino, Gallardo y Pérez, 2018)

**Tabla 14.** Operacionalización de variables segunda fase, elaboración de cerveza artesanal.

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Independientes:				
Sustitución parcial de malta base	Porcentaje de malta de maíz hidrolizado	10% malta maíz malteado + 90%malta base	Gravimetría Ensayo de laboratorio	Código Alimentario Argentino. Art. 1080
		20% malta maíz malteado + 80%malta base		
		30% malta maíz malteado + 70%malta base		
	Porcentaje de malta de maíz malteado	10% malta maíz hidrolizado + 90%malta base	Gravimetría Ensayo de laboratorio	Código Alimentario Argentino. Art. 1080
		20% malta maíz hidrolizado + 80%malta base		
		30% malta maíz hidrolizado + 70%malta base		
Dependientes:				
Calidad de la cerveza	Calidad sensorial	Aroma Apariencia Sabor Sensación en la boca Impresión general	Prueba descriptiva convencional	Beer Judge Certification Program
		Calidad Físicoquímica		
		Acidez total %(m/m)	Titulación potenciométrica	NTE INEN 2323

---

	pH	Potenciómetro	NTE INEN 2325
	Carbonatación	Gravimetría	NTE INEN 2324
Calidad microbiológica	Anaerobios ufc/cm <sup>3</sup>	Técnica de recuento en tubos, por siembra en masa	NTE INEN 1529-17
	Mohos y levaduras up/cm <sup>3</sup>	Recuentos en placa por siembra a profundidad.	NTE INEN 1529-10

---

### 3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.4.1. Proceso de elaboración de cerveza Irish Red Ale

##### Formulación

Para la formulación de la cerveza artesanal se tomó como referencia una de las recetas de la cervecería Centinela Norteña, esta se presenta a continuación:

**Tabla 15.** Formulación de cerveza Irish red ale.

Ingredientes	Cantidad (kg)	Cantidad (%)
Malta pale	2 kg	10,77
Malta cara aroma	0,50 kg	2,69
Malta Red x	0,50 kg	2,69
Levadura M42 (Mangrove jacks)	10 gr	0,05
Lupulo Fuggle	25 gr	0,13
Lupulo challenger	10 gr	0,05
Clarificante biofine	30 ml	0,16
Nutriente de levadura Servomyces	0,25 gr	0,001
Agua	15,5 litros	83,44
Total	18,58 kg	100

En este estudio se va a realizar 6 tratamientos donde se sustituirá la malta pale por 10%, 20% y 30% de malta hidrolizada y maíz malteado. En la siguiente tabla se indica las formulaciones en porcentaje de los diferentes tratamientos que se va a realizar:

**Tabla 16.** Formulación de la cerveza artesanal Irish red ale con malta de maíz morado (%).

Formulación (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Malta pale	9,693	8,613	7,266	9,693	8,613	7,539
Malta hidrolizada	1,077	2,154	3,231	0	0	0
Maíz malteado	0	0	0	1,077	2,154	3,231
Malta cara aroma	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69
Malta Red x	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69
Levadura M42 (Mangrove jacks)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Lupulo Fuggle	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Lupulo challenger	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Clarificante biofine	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Nutriente de levadura Servomyces	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Agua	83,44	83,44	83,44	83,44	83,44	83,44
Total	100	100	100	100	100	100

Es importante mencionar que la formulación está basada en 10 litros de cerveza, donde se colocarán 20 L de agua ya que existirá pérdida de agua en el proceso

debido a la absorción del agua por el maíz. En la siguiente tabla se indica las formulaciones en peso:

**Tabla 17.** Formulación de la cerveza artesanal Irish red Ale con malta de maíz morado.

Formulación	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Total
Malta pale (kg)	1,80	1,60	1,40	1,80	1,60	1,40	9,6
Malta hidrolizada (kg)	0,20	0,40	0,60	0	0	0	1,2
Maíz malteado (kg)	0	0	0	0,20	0,40	0,60	1,2
Malta cara aroma (kg)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	3
Malta Red x (kg)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	3
Levadura M42 (Mangrove jacks) (g)	10	10	10	10	10	10	60
Lupulo Fuggle (g)	25	25	25	25	25	25	150
Clarificante biofine (mL)	30	30	30	30	30	30	180
Lupulo challenger (g)	10	10	10	10	10	10	60
Nutriente de levadura (g)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,5
Servomyces							
Agua (L)	20	20	20	20	20	20	120

### Primera fase:

#### 3.4.2. Hidrólisis enzimática de maíz morado.

##### 3.4.2.1. Preparación de la suspensión del almidón (gelatinización).

La fase de gelatinización requiere una temperatura de 80°C es requerida para poder aumentar el acceso al sustrato (Morales & Molina, 2015).

Llevar a ebullición la mezcla, con el fin de gelatinizar los gránulos de almidón para facilitar su hidrólisis, también para que los azúcares y proteínas se solubilizan, este proceso de cocción durara 90 minutos. En este proceso se destruye gérmenes patógenos o agentes tóxicos (Estrada, 2017).

##### 3.4.2.2. Adición de alfa amilasa.

Luego de la previa gelificación del almidón se agrega la enzima alfa-amilasa en relación a 0,01%, teniendo en cuenta el peso del almidón y se aumenta rápidamente la temperatura a 60°C para su acción en la suspensión (Estrada, 2017).

- Licuefacción

Este procedimiento continúa al implementar la enzima en suspensión y llegar a la temperatura de la reacción (60°C). Se toma 3 mL de muestra al tiempo: 0, 15, 30, 45, 60 min, las muestras se analizan y se determina azúcares reductores por el método de ácido 3,5-dinitrofenilsalicílico (DNS) para luego hallar el valor de dextrosa

equivalente (g azúcares reductores/g de maltosa x 100) en función del tiempo. Esta prueba concluyó al obtener un DE cercano a 20 o mayor (Estrada,2017).

#### 3.4.2.3 Adición de glucoamilasa.

Al iniciar la disolución de la enzima, se ajusta el pH 6,2 y 7 de las suspensiones obtenidas del proceso de licuefacción teniendo en cuenta la temperatura de reacción para evitar el desequilibrio y la inactivación de la gluco-amilasa, bajo estas condiciones se adicionó la enzima de sacarificación se adiciona en un porcentaje del 0,01% respecto al volumen de la suspensión conseguida en el anterior proceso (Estrada, 2017).

Agregar la enzima a los granos malteados por debajo de 65 ° C Mezclar bien, cubra (o mantenga a 50-60 ° C) y deje reposar durante 1 hora antes de enfriar para la fermentación.

#### 3.4.3. Maíz morado malteado

##### 3.4.3.1. Recepción

El maíz morado es la base para la elaboración de nuestra cerveza por lo que es necesario emplear uno que cumpla con características de color, estado (sin polillas) y que se pueda germinar. Seguido se procede a comprar las maltas que complementan el proceso de elaboración de cerveza y los demás insumos (lúpulos y levadura), el agua empleada debe ser envasada presentando condiciones óptimas al momento de emplearla en el procesamiento (Aguirre, 2019).

##### 3.4.3.2. Limpieza y selección del grano

Se coloca el grano en recipientes para seleccionar semillas malas y buenas, y así retirar los residuos (piedras, cascaras, otros granos, etc.) concluido esto se procede a lavar al menos por 3 veces el maíz con el objetivo de retirar impurezas.

##### 3.4.3.3. Remojo del grano

Una vez el maíz ha sido seleccionado, limpiado y lavado, se lleva a un recipiente y añade agua 75% más respecto al peso del maíz a temperatura de 15 °C por 38 horas. Esto hasta que se haya retenido al menos un 50% del peso inicial de agua. Posterior a ello se escurre y traslada a un cuarto para su germinación, allí reside alrededor de 4 a 5 días a humedad y temperatura constante. El grano se remueve de manera periódica para mantener la temperatura de 19 °C, lo que favorece la germinación (Paredes et al. 2022).

#### 3.4.3.4. Germinación

En este punto el grano desarrolla las enzimas necesarias para la etapa de maceración. Para lo cual debe poseer una humedad próxima al 45%. En una bandeja se esparce el grano y encima se coloca tela absorbente la cual se humedece de 3 a 4 veces al día, el objetivo de ello es evitar infección y mantener la temperatura por lo que se coloca telas gruesas. Esta fase dura alrededor de 5 días.

#### 3.4.3.5. Desbrotado

Esta etapa es manual, ya que se retira raíces y brotes, posterior se pasa el grano aun tamiz de malla grande que permita la separación de impurezas del grano limpio.

#### 3.4.3.5 Secado y tostado.

El maíz limpio es llevado al horno y secado hasta conseguir un 4% de humedad. Este proceso se lleva a cabo en un horno de bandejas que permita el fácil paso del aire caliente a través de los granos con una temperatura de 50 °C-24 horas.

Culminada la etapa se procede a enfriar el grano a temperatura ambiente y son colocados en bolsas de plástico para conservar su potencial aromático y evitar contaminaciones.

#### 3.4.3.6. Molienda

Para la molienda se hace uso de un molino de acero inoxidable. De este paso se obtiene la harina de malta, ingrediente principal en elaboración de cerveza.

### **Segunda fase:**

#### 3.4.3.7. Maceración

En una olla se procede a calentar el agua hasta los 70 °C, llegado a este punto se añade las maltas. En total el tiempo de cocción es de 1 hora. Al final obteniéndose un líquido marrón, dulce y poco espeso, el cual se denomina mosto (Aguirre, 2019).

#### 3.4.3.8. Recirculado

Obtenido el mosto se recircula por 30 minutos en el macerador con el objetivo de formar una cama de grano la cual actúa como filtro natural del mosto.

#### 3.4.3.9. Cocción

El mosto que proviene de la maceración se somete a ebullición por una hora, en este punto se añade el lúpulo el cual aporta aroma y amargor.

#### 3.4.3.10. Enfriamiento

El mosto se enfría mediante hielo bajando desde los 96 hasta los 38-39 °C por un tiempo estimado de una hora.

#### 3.4.3.11. Fermentación

En esta etapa se hace uso de un fermentador cervecero que se coloca en un lugar oscuro a temperatura constante, esto durante 4 días con una temperatura de 22 °C, este proceso permite transformar azúcares en alcohol.

#### 3.4.3.12. Embarilado

Trasvase de cerveza al barril, se presuriza con CO<sub>2</sub> para evitar la oxidación de la cerveza.

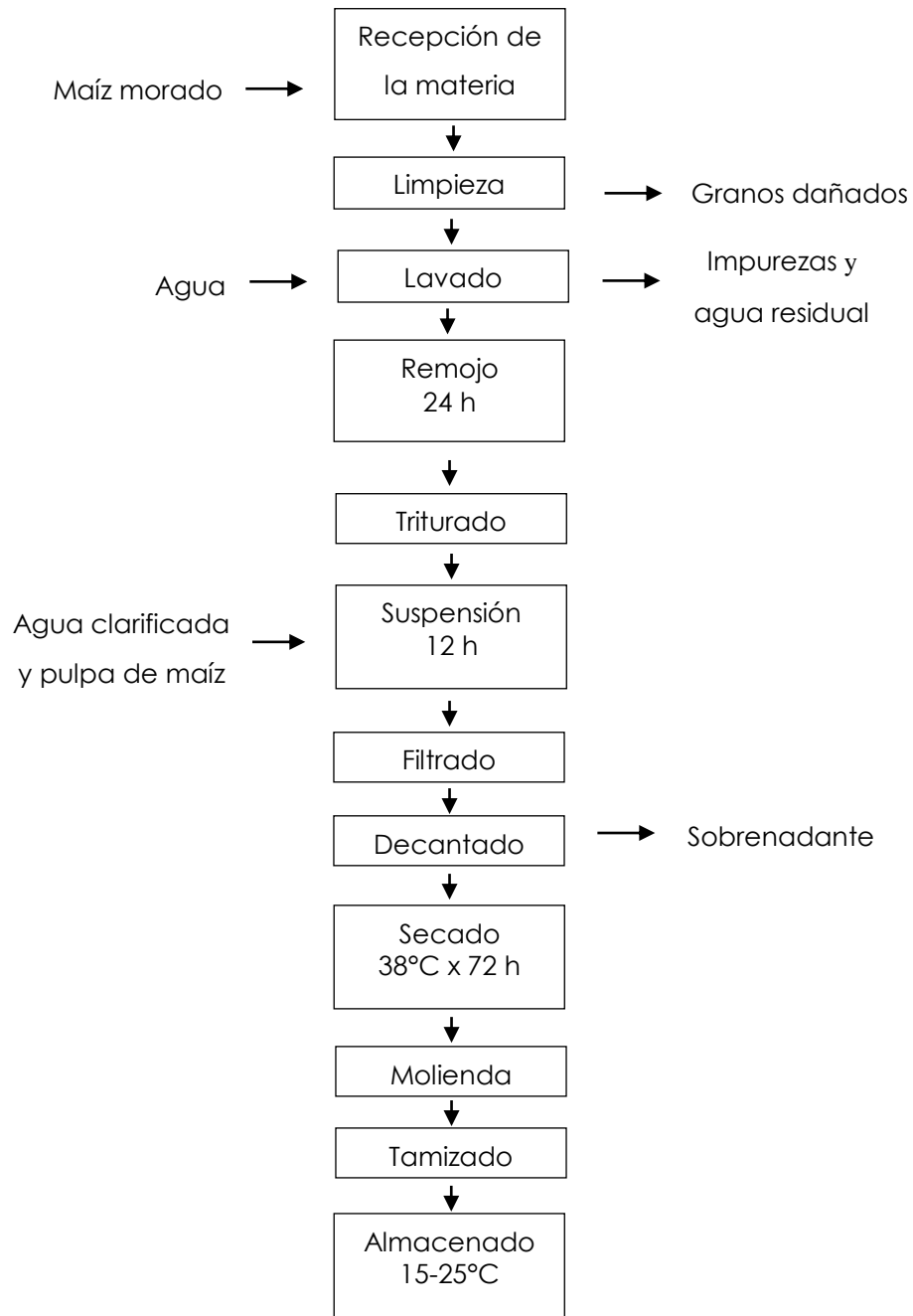
#### 3.4.3.13. Carbonatación

Ya embarilada y fría a 2 °C, se carbonata inyectando CO<sub>2</sub> por 3 minutos a 2 bares de presión, sin dejar de agitar para disolver el gas.

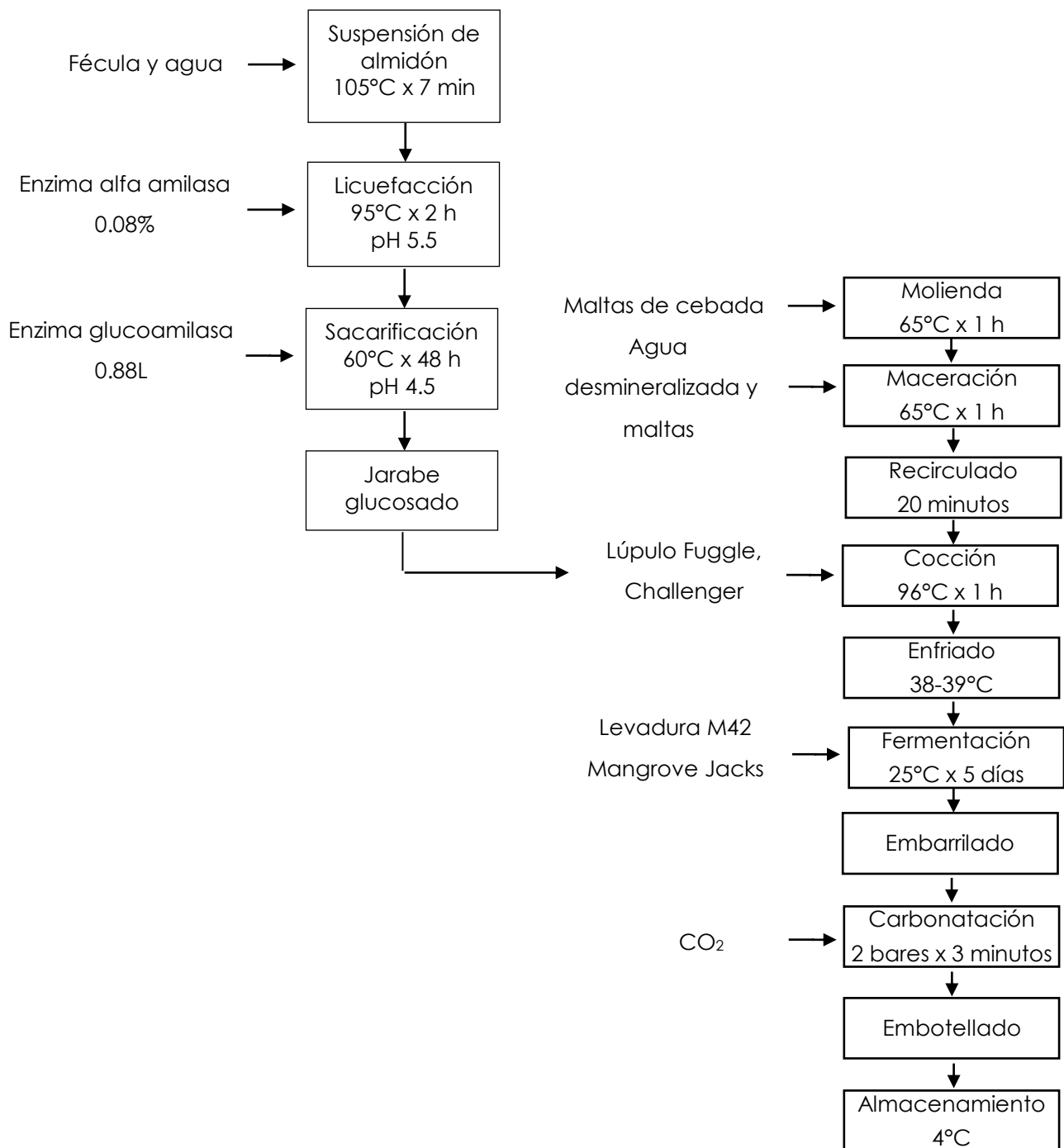
#### 3.4.3.14. Embotellado

Se usa una pistola de llenado con barrido de CO<sub>2</sub> lo que evita oxidación en la botella, la temperatura de 2 °C para que no se produzca una des carbonatación.

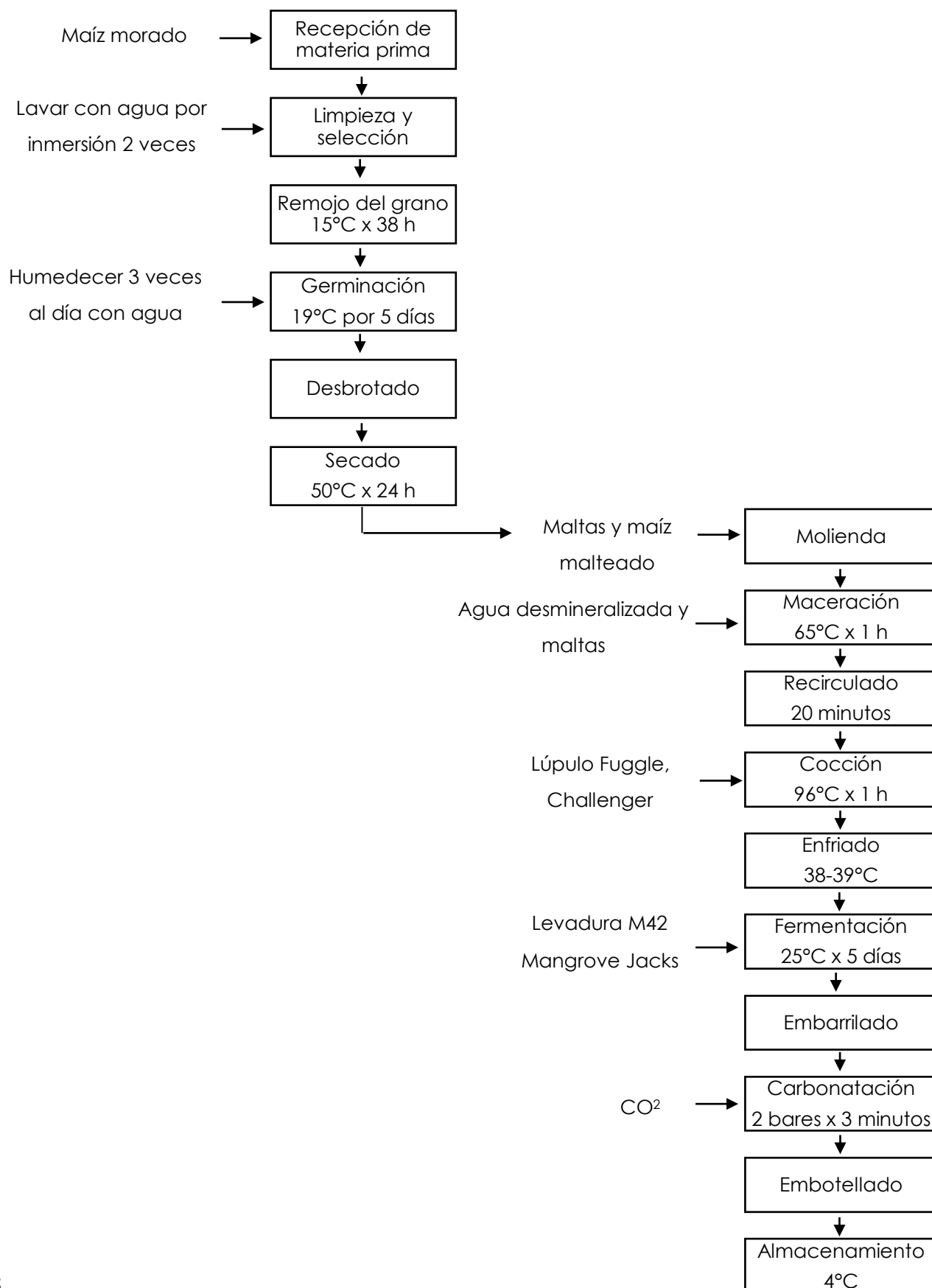
**Figura 3.** Proceso de producción de fécula de maíz morado.



**Figura 4.** Proceso de elaboración de la cerveza Irish Red Ale con adición de maíz morado hidrolizado.



**Figura 5.** Proceso de elaboración de la cerveza Irish Red Ale con adición de maíz morado malteado.



### 3.4.4. Caracterización fisicoquímica de la cerveza artesanal

#### 3.4.4.1. Azúcares reductores

##### **Procedimiento**

##### **1. Preparación del reactivo DNS**

Preparar el reactivo DNS, disolviendo 0,8 g de NaOH en agua destilada, luego se adicionan 15 g de tartrato de sodio y potasio tetra hidratado y 0,5 g de DNS (ácido 3,5-dinitrosalisílico). Esta mezcla se afora a 50mL con agua destilada y se almacena en un frasco ámbar a 4°C. Se lee mediante un espectrofotómetro a una longitud de onda 540 nm.

##### **2. Curva de calibración**

La concentración de azúcares reductores se determina utilizando una curva de calibración absorbancia en función de concentración. Para obtener esta curva se prepararon soluciones de 200-1000 mg/L, utilizando glucosa como estándar. A estas soluciones se les aplica el método DNS y se lee la absorbancia de cada una de ellas en un espectrofotómetro.

Según Alcocer Villacís (2018), menciona que la gráfica de la curva estándar de glucosa muestra la correlación de las concentraciones de glucosa y la respuesta por medio del espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm como se observa en la siguiente ecuación:

$$y = mx + b$$

Dónde:

**y:** Absorbancia de la muestra (540nm).

**m:** Pendiente de la ecuación de la curva.

**x:** Concentración (mg/mL o g/L)

**b:** Intercepto de la curva de calibración

##### **3. Análisis de la muestra por el método DNS**

Una vez construida la curva patrón se aplica el método DNS a cada una de las muestras, para lo cual se mezclan con 0,5 mL de cada una con 0,5 mL del reactivo DNS, se colocan a ebullición por 5 min en baño de maría e inmediatamente se detiene la reacción con baño de agua y hielo. Se reconstruyen las muestras con 5 mL de agua destilada, se agitan, se dejan en reposo por 15 min, y se determina su absorbancia a 540 nm. Se reemplaza en la ecuación despejando la variable x para obtener la concentración final (Pino, Gallardo y Pérez, 2018).

#### 3.4.4.2. Densidad

Para la medición de este parámetro se utiliza un densímetro específico para cerveza, se inicia con la toma de una muestra representativa del mosto alrededor de 250mL, estos son vertidos en una probeta y se espera hasta alcanzar los 20°C posterior a ello se introduce el densímetro dejándolo flotar en la muestra para medir su densidad.

#### 3.4.4.3. Contenido de alcohol

Se lleva a cabo de acuerdo con lo establecido en la norma INEN 340, se utiliza una muestra representativa a una temperatura de 15°C, que permite la medición mediante el alcoholímetro de Gay Lussac.

Además, la cerveza es vertida en una probeta ancha para evitar la formación de espuma, posterior el alcoholímetro se introduce dentro de la cerveza hasta llegar al centro del líquido, se debe mover en círculos el instrumento sin tocar las paredes de la probeta. El resultado expresa el alcohol en volumen (INEN, 2016).

#### 3.4.4.4. Acidez total

Se efectúa en base a lo establecido en la norma INEN 2323, por el método de titulación con fenolftaleína, el gasto de ácido láctico determinara una tonalidad hasta rosa tenue, el resultado se compara con datos de la normativa para verificar si cumple con los requisitos establecidos en la misma (INEN, 2002).

#### 3.4.4.5. pH

Para determinar el pH se determina la concentración de iones de hidrógeno con la ayuda de un potenciómetro digital ajustado a 4,0-7,0 para cerveza, según lo establecido en la norma INEN 2325. Los resultados se comparan con la normativa para evidenciar si están dentro del rango establecido después de introducir los electrodos que han sido previamente enjuagados, y así finalmente leer el pH (INEN, 2002).

#### 3.4.4.6. Carbonatación

Se basa en el establecimiento de un equilibrio entre gases disueltos y de espacio libre a una temperatura dada. Esto se logra con agitación de la cerveza antes de la lectura de presión, dicho valor se corrige con por la presión parcial de los gases en la botella a una temperatura dada (Ley de Henry y Dalton) (INEN, 2002).

#### 3.4.5. Perfil sensorial

La evaluación de perfil sensorial mediante el uso de pruebas descriptivas convencionales de Beer Judge Certification Program. El grupo de catadores se

integra de 7 jueces expertos con su respectivo título BJCP. Los parámetros evaluados son: aroma, apariencia, flavor, sensación en la boca e impresión general. Según (Manosalva, 2018) Para la evaluación de del perfil sensorial se debe evaluar lo siguiente:

**Aroma:** hace referencia al aroma el cual es percibido por el sentido del olfato, se puede apreciar el aroma a malta, lúpulo y otros compuestos aromáticos. Los aromas pueden ser:

- Aroma a malta: bajo, medio, alto y puede ser dulce, tostado, ahumado, caramelo.
- Aroma a lúpulo: bajo, medio, alto y puede ser herbal, floral, frutal, cítrico.
- Aroma a ésteres: bajo, medio, alto y puede ser frutal, flora.
- Aroma a alcohol: no percibido, ligero, intenso.
- Otros aromas: a fermentación, contaminación.

**Apariencia:** está relacionada con el aspecto exterior de la cerveza, su claridad, vivacidad, consistencia, textura y color de la espuma.

- Claridad: Está relacionada con el sentido de transparencia, la valoración puede ser, filtrada, clara, opaca, turbia, translúcida.
- Vivacidad: Directamente relacionada con la presencia de CO<sub>2</sub>, proteína y resinas de lúpulo de la cerveza. La valoración puede ser: baja, media, alta y enorme, también se puede valorar la textura y consistencia de la espuma que puede ser ligera, densa, espesa, compacta, cremosa y rocosa.
- Color de la espuma: Se relaciona con los ingredientes que se ha utilizado en la elaboración, por ello el color puede ser valorado como: blanca, blanquecina, marfil, canela, marrón. También se puede valor como translúcida, brillante y opaca.

**Flavor:** referido a la combinación de todas las sensaciones percibidas por la nariz y boca; entre estos podemos encontrar el sabor amargo siendo el principal, ésteres de plátano, manzana, alcoholes superiores y diacetilo, también podemos encontrar sabores menos intensos como aromas florales.

**Sensación en la boca:** hace relación a la sensación física al contacto del paladar donde se puede percibir el cuerpo (sensación de plenitud por las dextrinas y proteínas de la malta) que le proporciona peso, puede medirse como aguado, ligero, medio, pleno, así como su textura que puede ser sedosa, cremosa, masticable, untuosa.

También se puede percibir la carbonatación valorado como bajo, medio, alto. La astringencia es la sensación de contracción áspera en la lengua y el paladar debido a la cebada tostada y lúpulos, puede valorarse como ausente, baja, media y alta.

**Impresión general:** es una valoración general que se le da a la cerveza después de valorar los anteriores parámetros.

**Tabla 18.** Valoración de cada parámetro en una evaluación de perfil sensorial.

Evaluación	Valoración
Aroma	24%
Apariencia	6%
Sabor	40%
Sensación en la boca	10%
Impresión general	20%

**Fuente:** Manosalva (2018)

#### 3.4.6. Evaluación sensorial

Para la evaluación del producto se usará una prueba hedónica de 5 puntos para 70 catadores seleccionados que cumplen con el siguiente perfil:

- Edad: 18-45
- Consumo de cerveza: media y alta
- Preferencia: cerveza semiamarga
- No fumador

En la tabla 19 se indica los grados de satisfacción que se evaluarán en una escala hedónica de 5 puntos.

**Tabla 19.** Ponderación para la evaluación sensorial.

Descripción	Puntuación
Me gusta mucho	5
Me gusta	4
Ni me gusta ni me disgusta	3
Me disgusta	2
Me disgusta mucho	1

Los tratamientos se codificarán con tres dígitos para mayor seguridad. A partir del análisis sensorial se tomará el mejor tratamiento al que se evaluará las características fisicoquímicas y microbiológicas.

### 3.4.7. Características microbiológicas

Para las pruebas microbiológicas se requiere determinar microorganismos anaerobios y mohos y levaduras según los requisitos de la norma INEN 2262, en la siguiente tabla se indica los microorganismos que se deben evaluar:

**Tabla 20.** Requisitos microbiológicos para una cerveza.

Requisitos	Unidad	Cerveza pasteurizada		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Microorganismos anaerobios	Ufc/ $cm^3$	-	10	NTE INEN 1 529- 17
Mohos y levaduras	Ufc/ $cm^3$	-	10	NTE INEN 1 529- 10

**Fuente:** NTE INEN 2262 (2013)

#### **Microorganismos anaerobios**

Se realiza a través de un control microbiológico de los alimentos, bacterias anaerobias mesófilas, recuento en tubo por siembra en masa. NTE INEN 1529-17:98; se utiliza la técnica de recuento en tubos, por siembra en masa en agar triptonado T 65, que contiene como agentes reductores la glucosa, clorhidrato de cisteína y como indicador redox la resazurina.

#### **Mohos y levaduras**

Control microbiológico de los alimentos mohos y levaduras viables recuento en placa por siembra en profundidad NTE INEN 1529-10:2013; utilizando la técnica de recuento en placa por siembra en profundidad y un medio que contenga extracto de levadura, glucosa y sales minerales.

### **3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza ANOVA. En este estudio se buscó encontrar diferencias entre medias de variables fisicoquímicas y sensoriales con el objetivo de determinar que método de adición de malta de maíz morado influye en las características de la cerveza. Para la comparación de medias al ser datos paramétricos se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05 el cual permite encontrar la variación estadística entra cada tratamiento mediante la media de cada parámetro evaluado en el análisis fisicoquímico y sensorial y así determinar cuál tratamiento difiere positivamente del resto.

En la tabla 21 se indica los factores de cada tratamiento:

**Tabla 21.** Factores y niveles para la adición de malta de maíz morado en la cerveza artesanal.

Factores	Niveles
A: Método de adición del maíz morado	A1: Maíz hidrolizado
	A2: Maíz malteado
B: Porcentaje de malta de maíz morado	B1: 10%+90%malta base
	B2: 20%+80%malta base
	B3: 30%+70%malta base

A partir del arreglo factorial A x B (2x3) Se obtuvo:

- Número de tratamientos: 6
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 18
- Tamaño de unidad experimental: 10 L

Los porcentajes 10%, 20% y 30% serán sustituidos en el porcentaje de malta Pale ale (10,38%), quedando las formulaciones como se indica en la tabla 22:

**Tabla 22.** Formulación de los tratamientos con arreglo factorial A x B.

Tratamiento	Arreglo factorial	Formulación
T1	A1B1	1,065% malta hidrolizada de maíz morado + 9,691% malta Pale ale + 2,696% malta cara aroma + 2,696% malta Red x + 0,051% levadura M42 + 0,132% Lúpulo Fuggle + 0,056% Lúpulo challenger + 0,169% Clarificante biofine + 0,001% Nutriente de levadura Seryomyces + 83,443% agua
T2	A1B2	2,144% malta hidrolizada de maíz morado + 8,612% malta Pale ale + 2,696% malta cara aroma + 2,696% malta Red x + 0,051% levadura M42 + 0,132% Lúpulo Fuggle + 0,056% Lúpulo challenger + 0,169% Clarificante biofine + 0,001% Nutriente de levadura Seryomyces + 83,443% agua
T3	A1B3	3,217% malta hidrolizada de maíz morado + 7,539% malta Pale ale + 2,696% malta cara aroma + 2,696% malta Red x + 0,051% levadura M42 + 0,132% Lúpulo Fuggle + 0,056% Lúpulo challenger + 0,169% Clarificante biofine + 0,001% Nutriente de levadura Seryomyces + 83,443% agua
T4	A2B1	1,065% malta malteada de maíz morado + 9,691% malta Pale ale + 2,696% malta cara aroma + 2,696% malta Red x + 0,051% levadura M42 + 0,132% Lúpulo Fuggle + 0,056% Lúpulo challenger + 0,169% Clarificante biofine + 0,001% Nutriente de levadura Seryomyces + 83,443% agua
T5	A2B2	2,144% malta malteada de maíz morado + 8,612% malta Pale ale + 2,696% malta cara aroma + 2,696% malta Red x + 0,051% levadura M42 + 0,132% Lúpulo Fuggle + 0,056% Lúpulo challenger + 0,169% Clarificante biofine + 0,001% Nutriente de levadura Seryomyces + 83,443% agua
T6	A2B3	3,217% malta malteada de maíz morado + 7,539% malta Pale ale + 2,696% malta cara aroma + 2,696% malta Red x + 0,051% levadura M42 + 0,132% Lúpulo Fuggle + 0,056% Lúpulo challenger + 0,169% Clarificante biofine + 0,001% Nutriente de levadura Seryomyces + 83,443% agua

### 3.5.1. Unidad experimental

La unidad experimental estará definida por 6 tratamientos, cada uno con tres repeticiones, en total 18 unidades experimentales.

### 3.5.2. Procesamiento y análisis de datos

La información recolectada experimentalmente será procesada mediante un análisis de varianza de una vía ANAVAR y prueba de rangos de Tukey con el 95% de

probabilidad para la comparación de los resultados obtenidos en la evaluación sensorial y fisicoquímica, para este análisis se utilizará el paquete estadístico Infostat.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

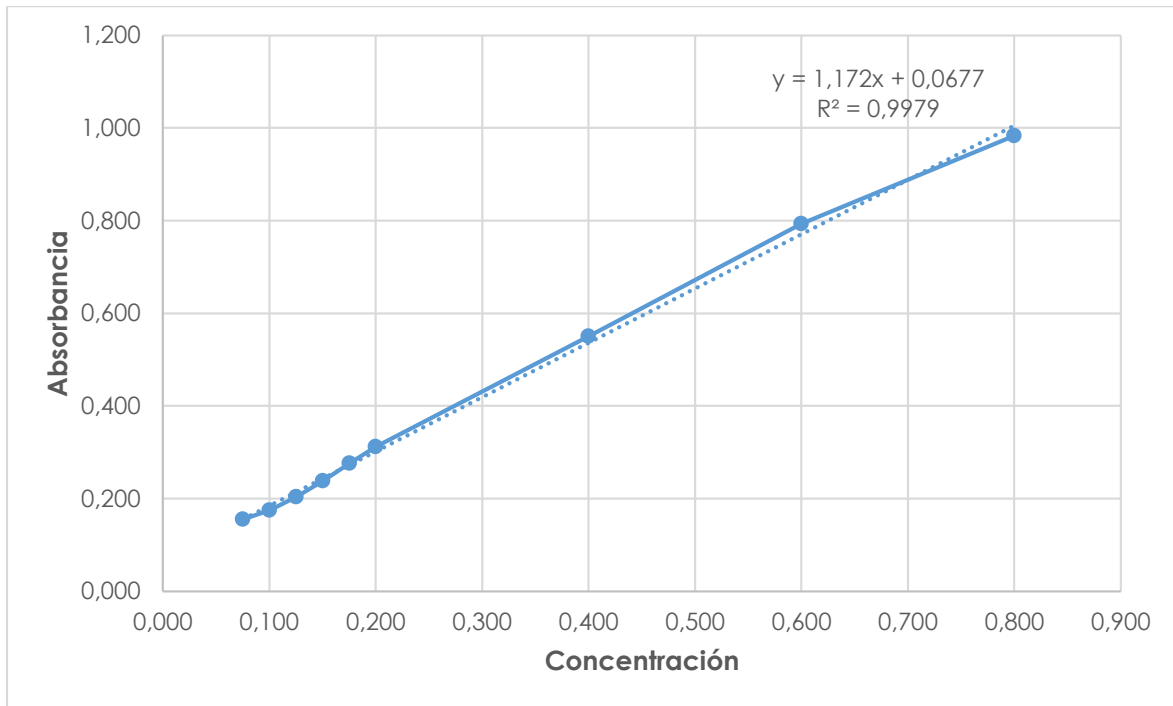
Dentro de la parte experimental se muestra resultados de los diferentes análisis realizados en la elaboración de la cerveza artesanal tipo Irish Red Ale; a partir de 6 tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5 Y T6) que se realizaron por triplicado. Para ello se utilizó un análisis estadístico a través de del programa Infostat, aplicando la prueba de Tukey. Dicho análisis de varianza se aplicó para estudiar los factores, comparar las medias y determinar si existen diferencias significativas; para ello debe haber normalidad de los datos e igualdad en los mismos. Además, se tiene en cuenta que los datos finales obtenidos permiten determinar si existe diferencias significativas a un nivel de confianza ( $p < 0.05$ ).

#### **Etapa 1**

##### 4.1.1 Curva de glucosa

Para obtener la cuantificación de azúcares se construye una curva patrón con glucosa comercial como se muestra en la figura 6. El procedimiento se realizó a partir de 0,3 g de glucosa comercial, del cual se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,9979 (Figura. 6). Posteriormente, se despejo la variable x que permitió encontrar la concentración de azúcares reductores (AR).

**Figura 6.** Curva patrón de glucosa.



$$y = 1,172x + 0,0677$$

Despejando la concentración se obtiene la siguiente Ecuación:

$$x = \frac{y - 0,0677}{1,172}$$

#### 4.1.2. Hidrólisis enzimática

##### 4.1.2.1 Fécula de maíz morado

Para la producción de fécula de maíz morado se empleó los siguientes parámetros: remojo 24 horas, suspensión de agua y grano molido 12 horas, decantado y secado a 38°C por 72 horas. En la tabla 23 se observa los parámetros fisicoquímicos realizados en el almidón obtenido.

**Tabla 23** Características fisicoquímicas del almidón de maíz morado.

Variable	Resultado
pH	6.5
Humedad (%)	6.48
Ceniza (%)	0.38
Acidez (%)	0.021

La tabla 23, presenta los resultados obtenidos en el análisis de parámetros fisicoquímicos del almidón de maíz morado teniéndose un pH de 6.5, humedad de 6.48%, ceniza de 0.38% y acidez de 0.021%.

#### 4.1.2.2. Parámetros en la etapa de licuefacción

La Tabla 24 muestra las condiciones establecidas para cada tratamiento de hidrólisis enzimática (T1, T2 y T3). En la etapa de licuefacción se utilizó la enzima  $\alpha$ -amilasa la cual hidrolizó enlaces  $\alpha$ -(1-4). El almidón hidrolizado con la actividad enzimática de la SPEZYME FRED se manifiesta en forma de dextrinas generadas por el efecto de la temperatura, la cual tiene una actividad mayor a pH bajo.

**Tabla 24.** Hidrólisis enzimática en la etapa de licuefacción.

Tratamientos	Temperatura °C	Factores		Tiempo de Licuefacción (horas)	Concentración de $\alpha$ -amilasa (ml)
		A	B		
		Almidón	Agua		
T1	90	200	1000	2	0.16
T2	90	400	1000	2	0.32
T3	90	600	2000	2	0.43

#### 4.1.2.3. Parámetros en la etapa de sacarificación

En la tabla 25, se aprecia la temperatura, la concentración del jarabe, el tiempo de sacarificación y la cantidad de enzima gluco-amilasa de acuerdo con la ficha técnica; para lo cual se realizaron pruebas previas de los tratamientos (T1, T2 y T3), En la etapa de sacarificación, después de obtener enlaces  $\alpha$ -(1-4) y  $\alpha$ -(1-6) de la actividad inicial de la alfa-amilasa se obtiene un jarabe rico en maltosa. Para ello, se tuvo en cuenta el pH entre 4.0 y 4.4 como rango óptimo.

**Tabla 25.** Hidrólisis enzimática en la etapa de sacarificación.

Tratamientos	Temperatura °C	Concentración	Tiempo de Sacarificación (horas)	Concentración de glucoamilasa (ml)
		Jarabe		
		T1		
T2	60	800 ml	46	0.352
T3	60	1200 ml	46	0.528

#### 4.1.2.4. Resultados de la concentración de azúcares reductores en los tiempos de acción de las enzimas.

En la tabla 26, se tiene los valores de azúcares reductores al aplicar la enzima alfa-amilasa al minuto 0,30,60,90 y 120. La cuantificación se realizó para los tratamientos 1, 2 y 3 que corresponde a 200g, 400g y 600g de almidón de maíz morado para la obtención de jarabe. El tiempo de actividad enzimática corresponde al rompimiento de los enlaces para obtener azúcares menos complejos como la amilosa.

**Tabla 26.** Resultado de la concentración de azúcares reductores para la enzima alfa-amilasa.

Concentración de azúcares reductores /Tiempo de actividad enzimática					
Tratamiento	0 (Min)	30 (Min)	60 (Min)	90 (Min)	120 (Min)
T1	1561.72 g/L	1701.08g/L	2252.84g/L	3276.73g/L	3313.71g/L
T2	1729.52 g/L	1974.11g/L	2568.54 g/L	3512.80 g/L	3555.46 g/L
T3	1843.25 g/L	2073.66g/L	2858.65 g/L	4647.61 g/L	4788.65 g/L

Para la adición de la gluco-amilasa como se muestra en la tabla 27; se aplicó un tiempo de 24 a 46 horas para hidrolizar los enlaces a (1,4) y a (1,6) de las glucanas y producir el rompimiento del almidón de maíz morado.

**Tabla 27** Resultados de la concentración de azúcares reductores para la enzima gluco-amilasa.

Concentración de azúcares reductores /Tiempo de actividad enzimática		
Tratamiento	24 h	46 h
T1	2039.53 g/L	1251.71 g/L
T2	2116.33 g/L	1325.65 g/L
T3	2474.53 g/L	1575.94 g/L

#### 4.1.3. Malteado de maíz morado

Para obtener la malta de maíz morado se empleó los siguientes parámetros: remojo de 38 horas a temperatura ambiente, germinado de 5 días a 19°C, secado de 24 horas a 50°C con una humedad de 4%. En la tabla 28 se presentan algunos parámetros fisicoquímicos de la malta.

**Tabla 28.** Características fisicoquímicas de la malta de maíz morado.

Tratamientos	Parámetros		
	Humedad (%)	Ceniza (%)	AR (mg/g)
T4	4.03 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.98 ± 0.15 <sup>b</sup>	0.29 ± 0.00 <sup>c</sup>
T5	5.12 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.17 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>b</sup>
T6	4.08 ± 0.88 <sup>b</sup>	1.05 ± 0.15 <sup>b</sup>	1.52 ± 0.02 <sup>a</sup>

En la tabla 28, se presenta características de la malta, cuyos valores fluctúan en cada parámetro, en el caso de humedad se tiene una humedad optima en el tratamiento 4 y 6 quedando el tratamiento 5 como el porcentaje más alto. Respecto a ceniza no se evidencia tanta diferencia debido a que para cada tratamiento se mantiene en el rango de 0.98 - 1.16, los azúcares reductores igual

que humedad presentan datos variados siendo el tratamiento 6 el de mayor concentración con 1.52.

## Etapa 2

### 4.1.4 Efecto de la sustitución de malta en la calidad de la cerveza

#### 4.1.4.1 Cuantificación de azúcares reductores en la cerveza artesanal tipo Irish Red Ale.

Se comprueba la cantidad de azúcares en el jarabe de maíz morado mediante una hidrólisis enzimática correspondiente a los tratamientos T1, T2 y T3. También, se realiza la cuantificación en el proceso de malteado del maíz morado correspondiente a los tratamientos (T4, T5 y T6); tomando muestras representativas en la etapa inicial y final de fermentación para determinar la concentración de azúcares reductores (AR);

- Etapa de fermentación inicial

El contenido de azúcares reductores en la etapa inicial de los diferentes tratamientos formulados para la cerveza se muestra en la tabla 29. El valor-p es menor a 0,05, a lo cual se concluye que existen diferencias significativas entre los tratamientos. En el análisis estadístico se obtuvo un valor máximo para el tratamiento 6 con 1333 g/L y valor mínimo para el tratamiento 1 con 365 g/L. Sin embargo, los tratamientos T3 y T5 son estadísticamente iguales.

**Tabla 29.** Cuantificación de azúcares reductores en la etapa inicial de la fermentación de la cerveza Irish Red Ale.

Tratamiento	Medias (g/L)	Grupo	Valor-P
T6	1333.07 ± 0,12	a	0,000
T3	857.65 ± 0,26	b	
T5	835.37 ± 0,13	b	
T4	757.16 ± 0,18	c	
T2	440.04 ± 0,23	d	
T1	365.14 ± 0,32	e	

- Etapa de fermentación final

En la tabla 30, se tiene que los valores de azúcares reductores en la etapa final de la fermentación muestran un valor-p de 0.000 para los 6 tratamientos, es decir, que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Cabe resaltar que los tratamientos 1 y 2 son iguales estadísticamente al igual que el tratamiento 2 y 3. El contenido de azúcares reductores después de la etapa de fermentación de la

cerveza, presenta un valor máximo en el tratamiento T4 que corresponde a 29.25 g/L y el valor mínimo del tratamiento T6 con 22.15 g/L.

**Tabla 30.** Cuantificación de azúcares reductores en la etapa final de fermentación de cerveza Irish Red Ale.

Tratamiento	Medias (g/L)	Grupo		Valor-P
T6	22.15 ± 0,15	a		0,000
T3	24.13 ± 0,32	b		
T2	24.92 ± 0,32	b	c	
T1	25.53 ± 0,22	c		
T5	27.98 ± 0,18	d		
T4	29.25 ± 0,15	e		

#### 4.1.5. Perfil sensorial

Para el perfil sensorial se contó con la ayuda de un juez experto a través de las guías de Judge Certification Program (BJCP) la descripción de cada atributo se presenta en la tabla 31:

**Tabla 31.** Perfil sensorial de cerveza en los 6 tratamientos.

Tratamiento	Aroma	Apariencia	Flavor	Sensación en la boca	Impresión general
1	Aroma dulce, un poco de DMS pero dentro de parámetros, alto olor a lúpulo, ésteres frutales bajos.	Color un poco rojizo bajo acorde al uso del maíz, baja espuma y claridad de la cerveza.	Sabor matoso agradable, poco sabor a lúpulo acorde con el estilo.	Ligera, buena carbonatación, sin astringencia lo que realza el estilo.	Bien elaborada pero no tan acorde con el estilo, debería tener un final más seco.
2	Aroma dulce muy sutil.	Cristalina, color cobrizo, retención de espuma buena.	Sabor suave a grano, poco lúpulo y buen dejo sutil de malta.	Cuerpo ligero, buena carbonatación con poca astringencia.	Buena cerveza pero revisar el estilo.
3	Lúpulo suave, casi imperceptible, aroma a grano dulce muy poca malta.	Color ámbar claro, espuma baja.	Sabor a grano con poca participación de malta y lúpulo,	Poca carbonatación, cuerpo medio.	Cerveza dulce respecto al estilo, falta carbonatación en acondicionami

			ésteres frutales.		ento de botella.
4	Aroma acorde al estilo, sin DMS detectable, bajo lúpulo, ésteres casi nada perceptibles.	Color ámbar con notas cobrizas. Ligeramente rubia con un color de espuma beige.	Cerveza matosa con ligeras notas a pan, ausencia de sabor, sin balance, sin amargor.	Cuerpo medio, sin cremosidad, carbonatación moderada a ligera.	Mejorar la receta, revisar la dosis de lúpulo floral y terroso.
5	Aroma a malta con ligeros esterres terrosos y sin aroma a lúpulo floral.	Color ámbar a rojiza, ligera turbidez, baja retención de espuma.	Sin balance, ligeramente con un sabor a oxidado.	Baja carbonatación, ligeramente dulce con defectos de fermentación.	Revisar receta se sale de la escala.
6	Aroma medio a malta y grano con notas caramelo y toques ligeros a frutos rojos. Ligeras notas a jerez, aroma a lúpulo terroso bajo y ligeras notas a mantequilla con un ligero defecto a DMS.	Clara rubí, ligera retención de espuma.	Balanceada con notas frutales, bien balanceada con sabores toffee y caramelo, malta a mora, pan y mantequilla.	Cuerpo ligero, ligeramente cremosa, muy bien balanceada.	Muy buena receta, se felicita la creatividad de autor, el maíz morado aporta aromas y notas a frutos rojos muy buenas.

En los tratamientos 1 y 6 se presentó un ligero defecto a DMS (dimetil sulfuro) en la característica de aroma, según la descripción del juez se presentaron aromas con ligeros toques a frutos rojos, jerez, caramelo, grano, mantequilla, lúpulo y malta en el tratamiento 6; los demás tratamientos presentaron aromas a lúpulo, ésteres terrosos y frutales en su mayoría. En apariencia se aprecia un color rubí claro con ligera retención de espuma para el tratamiento 6; los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5

presentaron una coloración rojiza, cobriza, ámbar claro, ámbar cobrizo y ámbar rojizo respectivamente, además de una baja retención de espuma siendo el tratamiento 2 el único que no cuenta con baja retención de espuma.

El flavor arrojó resultados en los tratamientos del 1 al 4 sabor a ésteres, lúpulo, malta, grano y pan; el tratamiento 5 no tuvo un buen balance y presentó un ligero sabor a oxidado, por otro lado, el tratamiento 6 presentó un buen balance con notas frutales, toffe, caramelo, pan y mantequilla. Para el atributo de sensación en la boca se tuvo una baja carbonatación y astringencia presente en cada tratamiento; los tratamientos 1, 2 y 6 presentaron un cuerpo ligero, el 3 y 4 un cuerpo medio, en el caso del tratamiento 5 se evidenció defectos en la fermentación. En impresión general se tuvo aceptación por parte del experto y para otros tratamientos se presentan comentarios para cumplir los parámetros de la BJCP.

#### 4.1.5.1 Evaluación sensorial

El resultado del análisis estadístico realizado con los datos obtenidos en la evaluación sensorial presentó diferencias significativas entre tratamientos como se evidencia en la tabla 32.

**Tabla 32.** Promedio de los atributos de análisis sensorial.

Tratamiento	Formulación	Color	Olor	Sabor	Aceptabilidad general
1	10%maíz hidrolizado +90%malta base	3b	4a	3b	3b
2	20%maíz hidrolizado +80%malta base	3b	3b	3b	3b
3	30%maíz hidrolizado +70%malta base	3b	3b	3b	3b
4	10%maíz malteado +90%malta base	4a	3b	3b	4a
5	20%maíz malteado +80%malta base	4a	3b	3b	3b
6	30%maíz malteado +70%malta base	4a	4a	4a	4b

El tratamiento 6 (30% maíz malteado + 70% malta base) y 4 (10% maíz malteado + 90% malta base) fueron los mejor puntuados por el panel sensorial.

Los tratamientos 4, 5 y 6 en el atributo de color no presentaron diferencias estadísticas entre sí con una media de 4, de manera similar entre los tratamientos 1, 2 y 3 con una media de 3.

En cuanto a resultados de atributo olor se mostró que los tratamientos 1 y 6 obtuvieron mayor aceptabilidad con una media de 4, encontrándose diferencias estadísticas con los demás tratamientos.

En el atributo de sabor se observó que las diferencias estadísticas existentes entre tratamientos, siendo el tratamiento 6 el mejor puntuado con una media de 4.

Para la aceptabilidad en general los tratamientos 1, 2, 3 y 5 no presentaron diferencias significativas, pero numéricamente los tratamientos 4 y 6 fueron los mejor calificados.

#### 4.1.5. Características físicas, químicas y microbiológicas de la cerveza Irish Red Ale.

Para el respectivo análisis fisicoquímico y microbiológico se empleó la muestra M6 (30%) malta de maíz morado, debido a que este tratamiento fue el mejor puntuado en las fichas de perfil y evaluación sensorial realizadas de manera previa. Los resultados de los análisis estipulados en la normativa INEN 2262 (2013) se presentan a continuación en la tabla 33.

**Tabla 33.** Resultados de análisis físicos, químicos y microbiológicos del tratamiento 6 con 30% de maíz morado malteado.

<b>Parámetros</b>	<b>Método de ensayo</b>	<b>Rango mínimo</b>	<b>Rango máximo</b>	<b>Resultado obtenido</b>
Contenido alcohólico a 20°C (% v/v)	NTE INEN 2322	1.0	10.0	4.46
Acidez total expresado como ácido láctico (% m/m)	NTE INEN 2323	-	0.3	0.3
Carbonatación (volúmenes de CO <sub>2</sub> )	NTE INEN 2324	2.2	3.5	3.4
pH	NTE INEN 2325	3.5	4.8	4.2
Contenido de hierro (mg/dm <sup>3</sup> )	NTE INEN 2326	-	0.2	0.02
Contenido de cobre (mg/dm <sup>3</sup> )	NTE INEN 2327	-	1.0	0.17
Contenido de zinc (mg/dm <sup>3</sup> )	NTE INEN 2328	-	1.0	0.04
Contenido de arsénico (mg/dm <sup>3</sup> )	NTE INEN 2329	-	0.1	0.12
Contenido de plomo (mg/dm <sup>3</sup> )	NTE INEN 2330	-	0.1	0.05
Microorganismos Anaerobios (ufc/cm <sup>3</sup> )	NTE INEN 1529-17	-	10	38x10 <sup>-3</sup>
Mohos y levaduras (up/cm <sup>3</sup> )	NTE INEN 1529-10	-	10	8.6

En la tabla 34 se obtiene los parámetros de densidad tomada en la etapa de fermentación donde el valor máximo y mínimo corresponden a 1050 y 1030 g/cm<sup>3</sup>

respectivamente. Se dice que existen diferencias significativas en cada muestra con un valor-p menor a 0,05. Sin embargo, el tratamiento 6 y 3 tienen igualdad en sus medias y el tratamiento 4, 2 y 1 presenta la misma similitud.

**Tabla 34.** Densidad inicial de la cerveza.

Tratamiento	Medias (g/cm <sup>3</sup> )	Grupo	Valor-P
T6	1050 ± 0,01	a	0,000
T5	1050 ± 0,01	a	
T4	1040 ± 0,01	b	
T3	1030 ± 0,01	c	
T2	1030 ± 0,01	c	
T1	1030 ± 0,01	c	

La densidad final de la cerveza con un nivel de significancia del 95% se presenta con un valor máximo de 1018 y valor mínimo de 1012 como se muestra en la tabla 42. También existe diferencias significativas entre tratamiento por un valor-p < 0,05. Sin embargo, el tratamiento 6, 5 y 4 tienen igualdad en sus medias, también el tratamiento 4, 2 tienen la misma característica.

**Tabla 35.** Densidad final de la cerveza.

Tratamiento	Medias (g/cm <sup>3</sup> )	Grupo	Valor-P
T6	1018 ± 0,01	a	0,000
T5	1018 ± 0,01	a	
T4	1018 ± 0,01	a	
T3	1014 ± 0,01	b	
T2	1014 ± 0,01	b	
T1	1012 ± 0,01	C	

## 4.2. DISCUSIÓN

### 4.2.1 Parámetros de producción de fécula de maíz morado

En la determinación de pH el almidón obtuvo un resultado de 6.5 similar al resultado obtenido por Guaminga (2020), en almidón de maíz negro el cual arrojó un pH de 6.62, esto evidencia que el resultado se encuentra en una escala de medición ligeramente ácida. En el contenido de humedad se tuvo un resultado de 6.48%, según Manobanda (2017), el cual realizó una caracterización de almidón de maíz blanco reportando una humedad de 10.34%, la diferencia entre resultados radica en la temperatura y tiempo empleado en la etapa de secado del almidón. Para la determinación de ceniza se obtuvo un resultado de 0.38%, de acuerdo con Yugsi (2017) en su análisis de almidón de maíz blanco reportó un promedio de 0.1% de

ceniza, la diferencia de resultados se debe al contenido de sales orgánicas y minerales del cultivo. En el análisis de acidez se tuvo un resultado de 0.021%, promedio menor al reportado por Oliva (2018), quien obtuvo una acidez de 0.054% siendo el resultado superior a lo obtenido, la diferencia radica en el uso de almidón de quinua en este estudio.

#### 4.2.2 Parámetros de hidrólisis enzimática

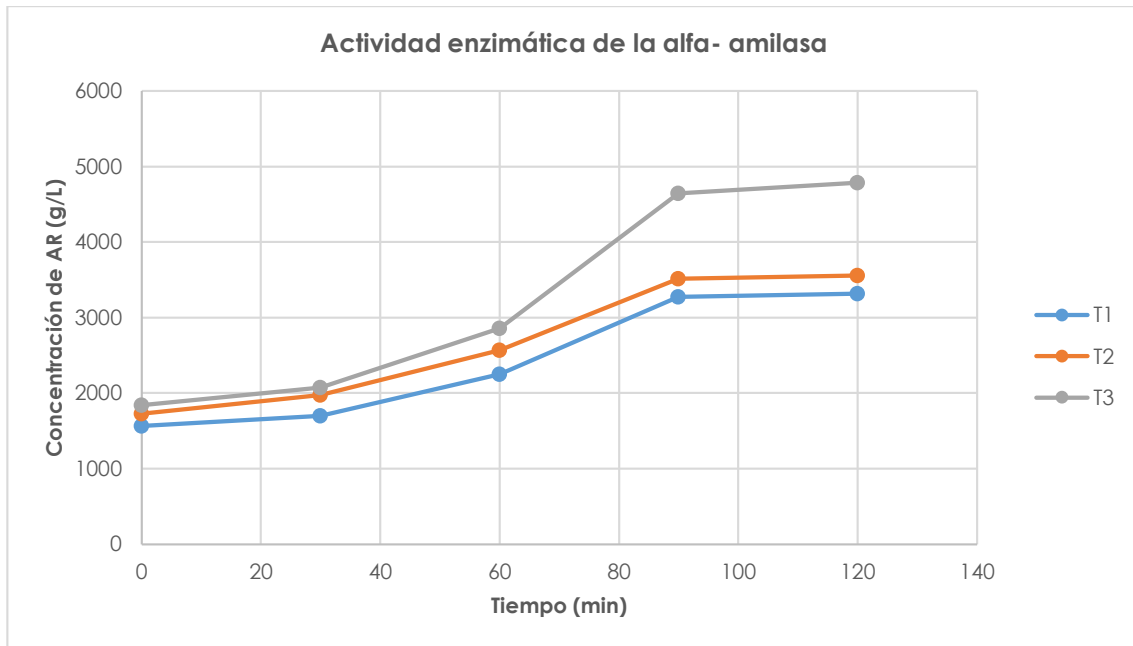
La hidrólisis enzimática del almidón de maíz morado se dio con el fin de transformar el almidón en azúcares fermentables, para dicho procedimiento se aplicó un complejo enzimático comercial que actuó en tiempos específicos del cual se obtuvo concentraciones exponenciales de acuerdo con la cantidad utilizada en el proceso. De acuerdo con (Leyva López Román., 2019), en la hidrólisis los tiempos tienen relación directamente proporcional con respecto a la concentración y acción de las enzimas. Por otro lado, la hidrólisis enzimática se lleva a cabo en la suspensión de almidón, para romper los enlaces de  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 de la amilosa y amilopectina, y así obtener partículas más pequeñas de glucosa.

- **Acción enzimática de la alfa-amilasa en el almidón de maíz morado**

El análisis de cuantificación azúcares reductores (AR) en la actividad enzimática de la alfa-amilasa se llevó a cabo a una temperatura de 60°C para los tratamientos (T1, T2 y T3). De acuerdo con Celina (2021), indica que la transformación de almidón a jarabe con presencia de temperaturas respectivas de 65 °C y 90 °C ayudan a la pre-gelatinización del mismo; del cual se obtiene un rango óptimo en actividad, ya que el comportamiento de la alfa-amilasa influyó de manera significativa sobre los enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 de la amilosa, conociendo que la licuefacción apresuró la modificación del almidón en malto dextrinas y oligosacáridos solubles.

En la figura 8, se observa el comportamiento de la enzima a diferentes concentraciones de almidón de maíz morado y se determina que la reacción es eficiente durante las dos horas para obtener una concentración azúcares reductores máxima.

**Figura 7** Actividad enzimática de la alfa-amilasa.

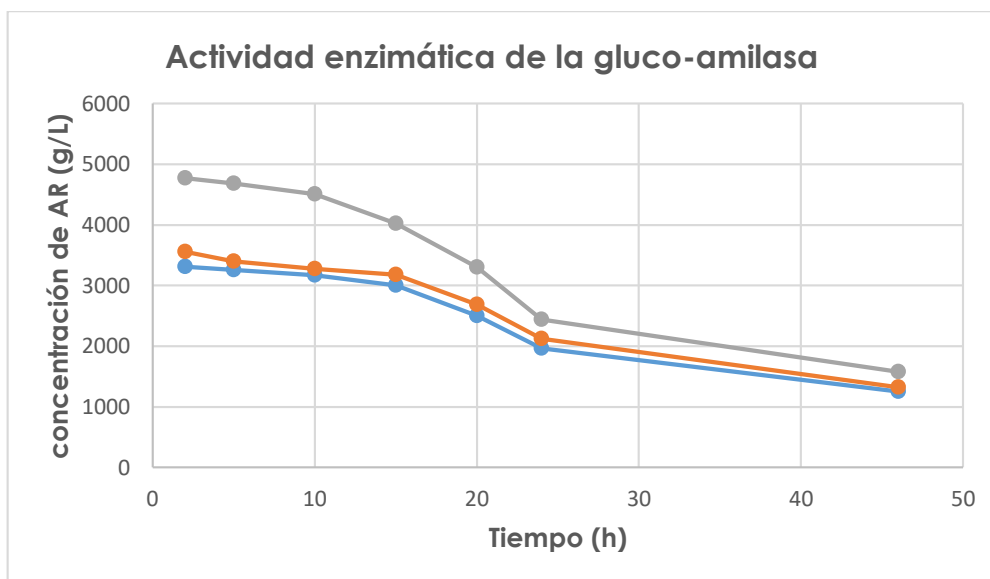


- **Acción enzimática de la gluco-amilasa en el almidón de maíz morado**

La acción de la gluco-amilasa se muestra en la figura 9, donde se observa que, a partir de las 46 horas de actividad, la enzima comienza la fase de latencia o muerte.

Según Nieblas et. al (2017), indica que el cambio de dextrinas a glucosa no aumenta con respecto al tiempo a partir de las 46 horas en la etapa de sacarificación, mostrando un comportamiento constante de los azúcares reductores (AR). Tal es el caso de la actividad de la gluco-amilasa para la obtención del jarabe de maíz morado que limitó el aumento de la concentración de azúcares reductores por haber transformado la totalidad de los mismos a otros menos complejos. Además, Espitia Rocha Et al. (2019), manifiestan que la gluco-amilasa tiene un crecimiento acelerado desde la hora 0 hasta la 36, luego ocurre un proceso de decrecimiento del microorganismo hasta la hora 48; es ahí donde se conoce la concentración máxima de la enzima en cuanto a su actividad enzimática. Posteriormente, en el período de 0 a 36 horas, la enzima funciona de manera eficiente debido a la presencia de condiciones aeróbicas. En este entorno, el metabolismo tiende a ser predominantemente oxidativo, lo que implica que los azúcares se oxidan rápidamente, liberando una gran cantidad de energía en forma de dióxido de carbono y agua.

**Figura 8** Actividad enzimática de la gluco-amilasa.



#### 4.2.3 Parámetros de malteado de maíz morado

La etapa de remojo del maíz se realizó por 38 horas similar a lo reportado por Paredes et al. (2022), en la que dura de 38 a 46 para que el grano absorba un 50% de su peso en agua. En este lapso de tiempo se presentó ciclos alternos de remojo y aireado quedando 14 horas de remojo, 4 horas de aireado y 20 horas de remojo, este paso similar a lo expuesto por Drapala y Hernández (2018), quienes detallan estos ciclos de operación de remojo de maíz amarillo con un total de 22 horas, el ciclo de remojo permite eliminar los granos flotantes representando de 3 a 4% de materia prima inicial. Según Santos y Cayas (2019), el cambio de agua en estos ciclos ayuda a eliminar anti nutrientes (saponinas), además Paredes et al. (2022), menciona que la finalidad de estos ciclos es alterar la concentración aire-agua, con el fin de prevenir que el grano consuma oxígeno lo que interrumpiría la etapa de germinado.

La germinación se llevó a cabo por 5 días a una temperatura de 19 °C similar a lo expuesto en Paredes et al. (2022), donde los granos son germinados por 4 días a temperaturas de 15 a 24 °C, los granos se remueven de manera periódica, esto permite mantener la temperatura constante lo que favorece esta etapa. En este punto se tuvo en cuenta la humectación del grano 5 veces al día además de removerlos con el fin de evitar que se enraícen, para culminar se tomó en cuenta el tamaño de radícula (Santos y Cayas, 2019).

La etapa de secado de maíz se realizó a 50 °C por 24 horas hasta lograr una humedad de 4% similar a lo reportado por Paredes et al. (2022), en la que se

establece rangos de 24 a 36 horas con temperaturas de 50 y 70 °C, en este punto culmina el proceso y se obtiene la malta base.

En la tabla 28 se presenta los parámetros fisicoquímicos de la malta de maíz morado, en esta se observa valores de humedad que van de 4 a 5% y ceniza 0.9 a 1%, resultados similares a los presentados por Santos y Cayas (2019), en los que se presenta valores que fluctúan entre estos rangos. Los resultados del estudio se encuentran dentro de los parámetros de la NTE INEN 2051 (1995) en la que se estipula una humedad máxima de 13% y ceniza 2%, estando los valores del estudio dentro de los parámetros de la normativa legal vigente, en cuanto a azúcares reductores se tuvo resultados de 0.05 a 1.52 mg/g, similares a los resultados de Santos y Cayas (2019), que van desde 0.46 a 1.58 mg/g.

#### 4.2.4 Cuantificación de azúcares reductores en la cerveza artesanal Irish Red Ale.

En la tabla 29, se puede observar los datos correspondientes a la fermentación inicial donde la media de azúcares reductores (glucosa) presenta diferencias significativas entre cada tratamiento, siendo T6 (1,40 kg malta pale + 0,60 kg maíz malteado) el que tiene mayor cantidad 1333,07 g/L y el tratamiento con menor cantidad fue T1 (1,80 kg malta pale + 0,20 kg maíz hidrolizado) con 365.14 g/L.

En la elaboración de cerveza comercial, es permitido utilizar diversos adjuntos cerveceros, como es el uso de maíz para aumentar los azúcares del contenido del mosto es por ello que en este estudio se realizó la sustitución de malta de cebada por maíz malteado o maíz hidrolizado, donde se pudo observar que los tratamientos con maíz malteado obtuvieron mayor cantidad de azúcares reductores que los tratamientos con maíz hidrolizado. Sin embargo, Estrada, (2017), obtuvo entre 985 y 2035 g/L de azúcares reductores mediante hidrólisis enzimática de oca utilizando enzimas  $\alpha$ -amilasa y amiloglicosidasa a un pH de 6,2 y 40° C de temperatura, cuyos valores son mayores a los obtenidos en esta investigación. Por el contrario, Melo (2017) obtuvo entre 98,35 g/L y 148,77 g/L de azúcares reductores a partir de la hidrólisis enzimática de maíz pre tratado con ácido sulfúrico y entre 22,43 g/L y 29,34 g/L de azúcares reductores de pericarpio de maíz sin pre tratar utilizando enzima Cellic CTec2, cuya variación en cada tratamiento se debe al porcentaje de sólidos en el sustrato y a la enzima utilizada. Así mismo, Chacua et al. (2017), sugieren en su investigación correspondiente a un jarabe de maíz amarillo donde obtuvieron entre 82,94 y 84,18 g/L, después de realizar la hidrólisis mixta como resultado de la combinación del método físico y fisicoquímico, por tanto, estos resultados son inferiores a los obtenidos en esta investigación. Según Binod et al. (2019), la

eficiencia de la hidrólisis enzimática está relacionada directamente con el sustrato (biomasa que se utiliza), enzimas y reactor que se utiliza para la hidrólisis (pp. 454–455). Otro aspecto relacionado a las enzimas es que tienen diferentes rangos o intervalos de operación (temperatura, pH y dosis) esto se debe a que los granos malteados o no malteados poseen almidón contenido en una especie de empaque el cual está compuesto por carbohidratos y proteínas evitando que las enzimas tengan acceso, sin embargo, cuando los granos se hidratan y empiezan a gelatinizarse a una temperatura, pH y enzima específicos, las cadenas largas de almidón empiezan a quebrarse en cadenas pequeñas que con la acción de enzimas como beta-amilasa o alfa-glucosidasa empiezan a convertirse en azúcares (Cuellar, 2017). Santos & Cayas (2019), menciona que al utilizar la enzima  $\alpha$ -amilasa el pH debe oscilar entre 5,3 y 6,5, y la temperatura puede variar entre 90 y 120° C, esta enzima hidroliza los enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 en el almidón y se produce la maltosa, maltotriosa, maltotetraosa, maltodextrinas y glucosa. Tomando en cuenta que las condiciones afectan en la actividad de la enzima, en esta investigación se consideró los valores dados en las fichas técnicas de las enzimas.

En la tabla 30, para la fermentación final se puede observar que la media de azúcares reductores al finalizar la fermentación (5 días) presenta diferencias significativas entre cada tratamiento, siendo T6 (1,40 kg malta pale + 0,60 kg maíz malteado) el que tiene menor cantidad de azúcares reductoras con un valor de 22,15 g/L mientras que el tratamiento con mayor cantidad fue T4 (1,80 kg malta pale + 0,20 kg maíz malteado) con 29,25 g/L. Así mismo, al terminar la fermentación (5 días), Melo (2017) obtuvo 12,75 g/L de azúcares reductores a partir de la hidrólisis enzimática de maíz pre tratado con ácido sulfúrico y 11,6 g/L de pericarpio de maíz sin pre tratar. Por el contrario, Apaza & Atencio (2017) después de 7 días de fermentación obtuvieron una concentración de azúcares de 1,39 g/L en maíz morado malteado. De igual forma Alfaro (2018), obtuvo 0,0261 g/L de azúcares después de 9 días de fermentación de amaranto hidrolizado enzimáticamente. Estos estudios demuestran que el tiempo es un factor que influye en la disminución de azúcares reductores, además, la disminución de azúcares se atribuye al consumo del sustrato (azúcares) por parte de las levaduras, las cuales consumen los azúcares en el siguiente orden: glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y finalmente maltotriosa como consecuencia producen alcohol (etanol), ácido acético y CO<sub>2</sub> (Arévalo et. al. ,2022). Otro factor que se debe tener en cuenta es que cuando

existe un bajo consumo de azúcares, quiere decir que la actividad de la levadura fue baja, es decir, no fue capaz de crecer en este medio (Melo, 2017).

#### 4.2.5 Perfil sensorial de la cerveza

La caracterización de la cerveza presentó una buena aceptación por parte del juez experto, el tratamiento 6 fue el que mejores comentarios se llevó en cada uno de sus atributos, similares resultados presentaron Arévalo y Domínguez (2020), en la que se describió ésteres frutales, color ámbar claro, baja espuma, matoso, dulzor en la cerveza, entre otras. Estas características en su mayoría conferidas por el uso del maíz morado.

La característica olfativa presentó resultados de aroma a grano, dulce, ésteres frutales y terrosos, caramelo, medio a malta, mantequilla, jerez y frutos rojos, similares resultados presentados por Arévalo y Domínguez (2020), con aromas a dulce y ésteres frutales lo que probablemente fue aportado por el maíz y tal como se menciona en la BJCP el juez no percibió un dominio de aroma entre lúpulo y malta.

Dentro de la caracterización visual se presentó un color rojizo, cobrizo y ámbar en su mayoría con una ligera retención de espuma, similar resultado presentado en el estudio de Aguirre (2019), donde la bebida presentó un color cobrizo debido a las antocianinas presentes en el maíz morado, niveles de turbidez poco transparentes por la presencia de pequeñas partículas en la muestra, formación de gas ligero por la gasificación forzada empleada se genera burbujas de espuma pequeñas, dando como resultado una espuma color beige con baja retención. De acuerdo con Casafranca (2023), la reducción de volumen de espuma se debe a la temperatura y edad, independiente del estilo una vez embotellada se producirá una segunda fermentación lo que modifica densidad y tensión superficial acorde al envejecimiento, también se indica que ingredientes con una alta cantidad de proteína optimizan la capacidad espumante confiriendo mayor viscosidad a la cerveza, al ser más pesado de vela despacio alrededor de las burbujas, lo que favorece la constancia y evita fugas de CO<sub>2</sub>.

En la fase de flavor se obtuvo sabores matosos, lúpulo, grano, ésteres frutales, ligeras notas a pan, sin amargor, toffee, caramelo, mantequilla y mora; similares resultados se encuentran en la investigación de Aguirre (2019), la cual presentó sabores a grano dulce y tostado, esto debido al lúpulo empleado, también se denota sabor fuerte con tendencias frutales y acidez suave, al combinar atributos brindan a la bebida una astringencia ligera. Este atributo cumple bastante bien con la

descripción de la BJCP, dulce, caramelo, tostado, mantequilla, toffee y con baja presencia de ésteres.

La sensación en la boca presentó resultados como ligera carbonatación, poca astringencia, cuerpo ligero-medio y ligeramente cremosa. De acuerdo con Arévalo y Domínguez (2020), esta característica se ve comprometida por falta de acondicionamiento de la botella durante la carbonatación, aunque la cerveza no desarrollo mucha astringencia durante la caracterización.

En cuanto a impresión general se tuvo comentarios de buena elaboración, pero no tan acorde al estilo, final seco, falta de carbonatación al momento de acondicionar la botella, revisión de receta en cuanto adición de lúpulos. En general se tuvo una cerveza dulce respecto al estilo, esto debido a los métodos de desdoblamiento de azúcares empleados durante la elaboración, las fallas de carbonatación se presentan por la inexperiencia en este tipo de carbonatación forzada.

#### 4.2.6 Evaluación sensorial

En la tabla 32 se presentan los resultados de la evaluación sensorial de la cerveza en estudio y a juicio del panel sensorial se determinó que el tratamiento 6 (30% maíz malteado + 70% malta base) tuvo mayor aceptabilidad en los cuatro atributos (color, olor, sabor y aceptabilidad general), este tratamiento contiene mayor cantidad de maíz morado; por otro lado, los demás tratamientos consiguieron valores decrecientes  $T4 > T5 > T1 > T3 > T2$  sobresaliendo en color y aceptabilidad general el T4. En la evaluación de los atributos, se diferenciaron estadísticamente los T6 y T4 del resto de tratamiento con una media de 4.0, similar que Narváez (2021), quien obtuvo una apreciación de "me gusta" en su tratamiento 3 por parte del panel sensorial; dichos resultados debidos a la acertada formulación de porcentajes de malta y contenido de proteína que presenta el cereal empleado. Según Aguirre (2019) el cual en su investigación presenta calificaciones de muy malo en color y aroma explica que este resultado puede deberse al mal proceso de recirculado, esta etapa permite homogenizar y clarificar el mosto de modo que se retengan partículas pequeñas permitiéndose obtener un líquido limpio con sensaciones de aroma y sabor combinadas.

Para Santos y Cayas (2019), el sabor de la cerveza lo determina el lúpulo, mientras que el aroma lo determina el tipo de malta y el lúpulo utilizado en la receta, es necesario brindar un aroma intenso y complejo a las cervezas tipo Ale ya que,

tienden a presentar aromas afrutados por el tipo de fermentación con la que se trabaja que va desde temperaturas de 15 a 25 °C, en cuanto al amargor se genera por los denominados alfa ácidos del lúpulo y la temperatura de ebullición en el mosto lo que produce isomerización de los compuestos presentes en el lúpulo otorgándole el amargor a la cerveza.

En cuanto a la aceptabilidad se evidenció una mayor puntuación para el tratamiento 6 debido a que este contiene un mayor porcentaje de maíz malteado, similares resultados presentados por Narváez (2021), en el tratamiento 3 con mayor contenido de maíz añadido.

#### 4.2.7 Características físicas, químicas y microbiológicas de la cerveza Irish Red Ale

En los análisis de contenido alcohólico se evidenció que el mejor tratamiento cumple con los requisitos establecidos en la normativa legal vigente NTE INEN 2262, en la que se estipula rangos mínimos de 1 y máximos de 10, la muestra presentó 4.46% de alcohol. Arévalo y Domínguez (2020) presentaron valores de 4.33% de alcohol en su quinto día de fermentación, obteniendo al final un 4.59% de alcohol finalizada la etapa de fermentación de 14 días, estos valores pueden deberse al uso de levadura activa o con una mala fermentación de los azúcares del mosto.

Los análisis de acidez arrojaron valores dentro de los rangos permitidos en la norma INEN 2262, 0.3 % expresado como ácido láctico. Aguirre (2019) presentó valores de acidez de 0.34% dicho valor similar al presentado en esta investigación, el autor atribuye este aumento al residuo de mohos y levaduras presentes en la muestra. Los valores indicados en este estudio cumplen con los requisitos legales y evidencia a su vez la calidad de la cerveza, ya que esto implica un indicador de contaminación.

El parámetro de carbonatación presentó un resultado dentro de los rangos de la normativa vigente 3.4, pero no cumple con el contenido de CO<sub>2</sub> acorde al estilo que va de 2.2 a 2.7 (Aldaz, 2018). Sale del rango debido a la falta de experiencia a la hora de carbonatar.

Para el análisis de pH se tiene un valor de 4.2, el cual está dentro del rango establecido en la normativa legal vigente. Narváez (2021), obtuvo un pH de 4.3 similar al resultado obtenido en este estudio. Se sabe que la cerveza sufre contaminación por microorganismos durante la elaboración por levadura, hongos y bacterias; el valor de pH de cada estilo permite conocer si se trata de un problema de contaminación.

El contenido de hierro se encuentra en 0.02 dentro de los rangos estipulados en la normativa legal vigente. Aguirre (2019), presentó en su estudio un contenido de hierro de 0.34, este valor debido al aporte de minerales del maíz y la proporción añadida a la cerveza de este cereal lo que pudo elevar sus niveles. De manera similar para el cobre, plomo y zinc que presentaron resultados dentro del rango de la normativa vigente. Por otro lado, el contenido de arsénico sí presentó un contenido superior 0.12 con respecto al rango máximo 0.1 establecido normativa. La presencia de este metal en cantidades altas se debe a la contaminación por pesticidas en el maíz durante su agricultura (Espinoza-Montero et al., 2021).

El contenido de microorganismos anaerobios se encuentra en  $38 \times 10^{-3}$  siendo el rango máximo 10 por lo que no excede el límite. El contenido de mohos y levaduras según la normativa debe tener un rango máximo de 10, mientras que en la cerveza se obtuvo un valor de 8.6 por lo que no excedió el máximo permitido, por lo que se piensa que la cerveza tuvo un buen desdoblamiento de azúcares y BPM aplicadas durante su proceso de elaboración.

La densidad inicial de la cerveza para los tratamientos 1,2 y 3 correspondieron a valores constantes  $1030 \text{ g/cm}^3$  esto por la incidencia del jarabe de maíz morado que logro una perfecta homogenización con el mosto. Además, los resultados fueron variables a lo cual se determina que a medida que se aumentó la concentración de jarabe se aumentó la densidad, como se observa en la tabla 38.

Por el contrario, para los tratamientos 4,5 y 6, se obtuvo densidades de 1050 y  $1040 \text{ g/cm}^3$ . Según Castañeda et al, (2018) en la elaboración de cerveza donde evalúa el efecto de la adición de quinua malteada y sin maltear se obtuvo valores comprendidos entre  $1050 \text{ g/cm}^3$  para los tratamientos. Por lo tanto, Según Castañeda et al, (2018) concluye que la densidad inicial de los mostos elaborados es mayor cuando se utiliza cereal malteado.

La densidad de la cerveza fermentada corresponde a un valor constante en los tratamientos 1, 2 y 3, con valores entre  $1014 \text{ g/cm}^3$  y  $1012 \text{ g/cm}^3$ . Casafranca (2023), mencionó en sus resultados que, al utilizar maíz como aditivo cervecero, los valores de densidad promedio fueron de  $1011,8 \text{ g/ml}$  para 0%,  $1011 \text{ g/ml}$  para 20% y  $1010,40 \text{ g/ml}$  para 35%, y concluyó que la cerveza se modificaba según el tipo de almidón utilizado y que, además, la densidad disminuía a medida que los azúcares fermentables se convertían en alcohol. Por otro lado, se menciona en BJCP (2015) que, al utilizar los cereales como maíz, arroz o azúcar, la densidad final debe estar

entre 1010 - 1014 g/cm<sup>3</sup>, por lo que los tratamientos 4, 5 y 6 superan este rango debido a que utilizan cantidades altas de maíz morado que modificaron el carácter de la cerveza. Esto debido a la poca cantidad de malta base. Por otro lado, que se generó agregados indeseables a causa del estrés que sufre la levadura por las condiciones no controladas.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- En el proceso de malteado de maíz morado las mejores condiciones fueron, remojo de 38 horas a temperatura ambiente, germinado por 5 días a 19 °C, secado y tostado de 24 horas a 50 °C debido a que presentó valores de ceniza y humedad dentro de lo establecido en la normativa legal vigente NTE INEN 2051.
- En la hidrólisis enzimática el proceso tuvo una máxima estabilidad durante 2 horas a un pH 5.20 a 90° C en la etapa de licuefacción y de sacarificación el tiempo óptimo fue de 46 horas con un pH de 4.46 y una temperatura de 60°C.
- Dentro de los dos métodos utilizados para la elaboración de cerveza, el malteado de maíz morado obtuvo mayor contenido de azúcares reductores con un valor de 1333 g/L en el tratamiento 6. Por el contrario, en la hidrólisis enzimática se obtuvo 857 g/L en cantidad de azúcares reductores para el tratamiento 3.
- Se determina que el tratamiento 6 presentó un perfil sensorial con las siguientes características: color rubí, aroma que denota cierta inclinación a notas dulces, frutales y caramelo, en el flavor se puede apreciar matices caramelo, pan, toffee, mora y mantequilla, retención ligera de espuma, cuerpo ligero con muy buen balance; esto acorde con lo establecido en la Guía de estilos BJCP.
- Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en el tratamiento 6 de la cerveza se ajustan a lo que establece la normativa legal vigente NTE INEN 2262, a excepción del contenido de arsénico el cual excedió el rango máximo 0.1.
- Se acepta la hipótesis alternativa en la que se indica que la sustitución parcial de malta de cebada por maíz morado (*Zea mays L.*) influye sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish Red Ale.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- En cuanto al proceso de remojo del grano en la obtención de almidón se debe agregar un conservante que evite la fermentación del maíz morado.
- Realizar un modelo matemático que permita conocer la velocidad de reacción en la hidrólisis del almidón de maíz morado, con las enzimas comerciales.
- En el proceso de hidrólisis enzimática aplicar diferentes complejos enzimáticos que permitan la máxima eficiencia para disminuir las condiciones isotérmicas específicas que requieren un costo alto.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Lituma, J. S. (2019). Obtención de cerveza artesanal a partir de una malta de maíz morado (*Zea Mays L.*) [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Andrade, X., Pisco, I., Quinde, L. y Coronel, C. (2020). El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador. Revista Industrias. <https://revistaindustrias.com/el-mercado-de-bebidas-alcoholicas-en-ecuador/>
- Alcocer Villacís, I. R. (2018). Determinación del contenido de azúcares reductores, totales, almidón y de los elementos minerales Calcio (Ca), Hierro (Fe) y Magnesio (Mg) en harinas de Amarantho variedad Alegría , Chía , Papa Pucashungo y Zanahoria Blanca. pág. 105. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28389/1/AL%20683.pdf>
- Alfaro, V. (2018). Elaboración de bebida fermentada tipo cerveza a partir de malta de amaranto (*amaranthus hypochondriacus.*) y amaranto reventado. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/30428/Alfaro%20Elias%2C%20Valeria%20Samantha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anrango, S. (2013). Evaluación de tres tipos de Maíz (*Zea mays*) Suave Morado, Suave Dulce Blanco y Suave Dulce Amarillo, en la elaboración de Chicha de Jora [Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/9>
- Arévalo, J. y Domínguez, T. (2020). Sustitución parcial de malta de cebada (*Hordeum vulgare*) por maíz morado (*Zea Mays L.*) en el desarrollo de cerveza estilo Cream Ale: evaluación de parámetros fisicoquímicos y evaluación sensorial. [Tesis de Licenciatura, Universidad Dr. José Matías Delgado]. <http://redicces.org.sv/jspui/handle/10972/4473>
- Arriola, A. y La Spina, B. (2017). Producción de malta cervecera. Universidad Nacional de Cuyo. [https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos\\_digitales/9257/arriola-la-spina-produccion-de-malta-cervecera-2017.pdf](https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/9257/arriola-la-spina-produccion-de-malta-cervecera-2017.pdf)
- Apaza Machaca, R. y Atencio Rojas, Y. (2017). Tecnología para la elaboración de una cerveza artesanal Tipo Ale, con sustitución parcial de malta (*Hordeum*

- Vulgare) por guiñapo de maíz morado (Zea Mays). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4506>
- Ávila Núñez, R., Rivas Pérez, B., Hernández Motzezak, R., & Chirinos, M. (2 de Abril-Junio de 2012). *Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease*. 2(2), págs. 129-135.
- Betsabe, J., Toapanta, P., Alejandro D., Revelo, B., Ariel Muñoz Puetate, F., Amícar, J., ... Soto, P. (2022). Development of a bioprocess for the production of malt from purple corn (Zea mays): a review. *Revista Biorrefinería*, 4, 2021.
- Camila, M., Quintanilla, D., Carolina, A., Abril, G., Codirector, W., Fernando, H., & Bucheli. (2021). *Caracterización de  $\alpha$ -amilasa por medio del método lugol 1 Estandarización del método de Lugol-carbohidrato para la evaluación de la actividad enzimática de  $\alpha$ -amilasa de Zea mays L.*  
<https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/341ad33f-ceb8-4faa-8de5-8cc3f037fcf3/content>
- Chacua, K., Grosso, C., Cabrera, J., León, C., Arellano, J., Rodríguez, C., & Prettel, O. (2017). *Extracción de azúcares reductores totales ART por métodos físicos y químicos de planta de Zea mays (Poaceae) "maíz amarillo duro."* 24(1).  
<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24112>
- Casafranca, J. (2023). Evaluación de las características fisicoquímicas y aceptabilidad de cerveza artesanal tipo ale, elaborada con sustitución parcial de malta de maíz morado (Zea mays L.) como adjunto cervecero. *Repositorio Institucional - UNAMBA*.  
<http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1284>
- Castro, P., Luz, E., & Moreira, G. (2021). Dataset for Hop varieties classification. *Data in Brief*, 38, 107312. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107312>
- Correa, J., Muñoz, I. D. J. A., Núñez, J. V. B., Melgar, C. E. B., & Herrera, Y. K. M. (2020). Implementación de pulpa de mango en la elaboración de una cerveza artesanal. *Revista de Iniciación Científica*, 6. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.0.3136>
- Cuellar, L. (2017, November 3). *Cerveza artesanal*. La Maceración y Su Influencia En La Extracción de Azúcares Para Una Fermentación Ideal. <https://www.cerveza-artesanal.co/la-maceracion-y-su-influencia-en-la-extraccion-de-azúcares-para-una-fermentacion-ideal/>

- Cristiana Goncalves, Rodríguez-Jasso, R. M., Gomes, N., Teixeira, J. A., & Belo, I. (2010). *Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates*. 2(12), 2046–2046. <https://doi.org/10.1039/c0ay00525h>
- Drapala, A. y Hernández, D. (2018). *Elaboración de cerveza de maíz*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Cuyo]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3099363>
- Dunn-Coleman, N., Neefe-Kruihof, P., Pilgrim, C., Ward, D., Solingen, V., & Sales, P. (2011). 2 370 768 OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS ESPAÑA. <https://patentimages.storage.googleapis.com/b8/32/07/ea62879d34ad6e/ES2370768T3.pdf>
- Espitia, J. (2020). *Desarrollo de una cerveza artesanal de maíz rojo (Zea mays) con alta capacidad antioxidante, al evaluar el efecto del tiempo en la etapa de cocción usando dos variedades de lúpulo (Humulus lupulus L.), "Cascade" y "Columbus", y su evaluación sensorial*. <https://bindani.izt.uam.mx/downloads/st74cq55j?locale=es>
- Espinoza-Montero, P., Balladares, O. L., Valladares, P. B., Fernández, L., & Jimenez, M. M. (2021). Metales Pesados en Cerveza Artesanal: Una Revisión. *Química Central*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/quimica.v7i1.2800>
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. Segunda edición. Editorial Acribia. Zaragoza (España), 593.
- Gisbert Verdú, M. (2016). *Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza* Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/73275>
- Guimarães, B. P., Nascimento, P. G. B. D., & Ghesti, G. F. (2021). Intellectual property and plant variety protection: Prospective study on Hop (*Humulus lupulus L.*) cultivars. *World Patent Information*, 65, 102041. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2021.102041>
- González, Marcos. (2017). *Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales*. Lulu.com.
- Hidalgo, Jessica, y Fernanda Tulcanaza. (2016). *Industrialización de granos andinos" cerveza artesanal de quinua "atiy"*.
- INEN 2262. (2013). *Bebidas alcohólicas. Cerveza. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. ([https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2262-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2262-1.pdf)).
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Bebidas alcohólicas. Cerveza. Requisitos*.

- [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2262-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2262-1.pdf)
- Irenia, G. A. (n.d.). Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo udg-110 en la elaboración de bebidas para enfermos celíacos. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200005)
- Kalita, D., Sarma, B., & Srivastava, B. K. (2017). *Influence of germination conditions on malting potential of low and normal amylose paddy and changes in enzymatic activity and physico chemical properties*. 220, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.193>
- Kay Guerberoff, G., Marchesino, M. A., López, P. L., & Olmedo, R. H. (2020). El perfil sensorial de la cerveza como criterio de calidad y aceptación. *Nexo agropecuario*, 8(1), 52-59.
- Lanchimba Ruiz, D., & Narváz Hernández, D. (2021). *Universidad Técnica De Cotopaxi*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8144/1/PI-001798.pdf>
- Latham, M. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. FAO. <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents>
- León, Juan Pablo. (2019). Evaluación de la concentración de lúpulo y miel de abeja en la elaboración de cerveza artesanal a base de malta de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*). Thesis, Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- León Méndez, Glicerio, et al. *Modificación Química de Almidones*. 2020, [www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft\\_5\\_2020/17\\_modificacion.pdf](http://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft_5_2020/17_modificacion.pdf), <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263410>.
- Leyva López Román., P. R. (2019). Modificación enzimática del almidón de maíz y su efecto en la viabilidad de la vitamina C. Obtenido de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/2/14.pdf>
- Loaiza, Andrea. (2009). Universidad Técnica Particular De Loja área Biológica Y biomédica.
- Loviso, C. L., & Libkind, D. (2019). Synthesis and regulation of flavor compounds derived from brewing yeast: Fusel alcohols. *Revista Argentina de microbiología*, 51(4), 386-397. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2018.08.006>
- Lazo Zhagui, D. (2022). Obtención de etanol a partir de almidón de maíz (*Zea Mays*) variedad zhima empleando malta diastásica. Universidad de Cuenca]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4619086>
- Lucero Calvache, M. (2019). Estudio de las condiciones del pretratamiento de maíz morado (*Zea Mays*L.) para su utilización como adjunto en la elaboración de

- cerveza [Tesis de licenciatura, Universidad San Francisco de Quito].  
<https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9023>
- Naula Cepeda, I, y Rivera Jara, M. (2019). Elaboración de cerveza artesanal con sustitución de lúpulo con plantas endémicas del Ecuador [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química].  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42163>
- Manrique Hernández, L. (2017). *Sustitución Del Aspergillus Oryzae Por Las Enzimas Alfa Amilasa Y Glucoamilasa En La Elaboración de Sake*. 2017.
- Martínez, Annabel. (2015). Análisis comparativo de compuestos bioactivos en cerveza artesanal y cerveza industrial.
- Melendez, Laura. (2021). ¿Qué es una cerveza artesanal? Así la definen en el mundo. Pinta Daily. Recuperado 27 de febrero de 2022 (<http://pintadaily.com/definicion-de-cerveza-artesanal/>).
- Melo, D. (2017). *Eficiencia en la obtención de azúcares fermentables del pericarpio de maíz hidrolizado y su utilización para la producción de bioetanol* [Universidad Autónoma de Querétaro].  
<https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1216/1/RI005083.pdf>
- Miller, G. (2019). *Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar*. Anal. Chem. 31: 426-428.
- Morales-Toyo, Miguel. (2018). Reacciones químicas en la cerveza. Revista de Química 32(1):4-11.
- Negrulescu, A., Patrulea, V., Mincea, M. M., Ionascu, C., Vlad-Oros, B. A., & Ostafe, V. (2012). Adapting the reducing sugars method with dinitrosalicylic acid to microtiter plates and microwave heating. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(12), 2176–2182. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532013005000003>
- Nieblas, C., Gallardo, I., Rodríguez, L., Sarría, F., Batista de Almeida, J., & Pérez, M. (2017). Obtención de jarabes glucosados por hidrólisis enzimática empleando almidón de sorgo CIAPR-132. 301. Obtenido de <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/329845>
- Okafor, N. y Okeke, B. (2017). *Modern industrial microbiology and biotechnology*. CRC Press.
- Paz, L. (2018). *Regulacion de la actividad enzimatica*. Biologia-Geologia.com. [https://biologiageologia.com/biologia2/454\\_regulacion\\_de\\_la\\_actividad\\_enzimatica.html#gsc.tab=0](https://biologiageologia.com/biologia2/454_regulacion_de_la_actividad_enzimatica.html#gsc.tab=0)
- Paucar, P., & Beatriz, Y. (2022). *Universidad Nacional Del Centro Del Perú Facultad De Ingeniería Química Tesis Presentada Por Los Bachilleres: Izarra Porras Cesar*

- Miguel.  
[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8391/T010\\_47530568\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8391/T010_47530568_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Perfectdraft. (2019). *El macerado*. Hopt.es. <https://www.hopt.es/magazine/cerveza-en-casa/4/el-macerado/78>
- Programa de certificación de jueces de cerveza. (2015). Ale roja irlandesa. <https://www.bjcp.org/style/2015/15/15A/irish-red-ale/>
- Ramírez, J., & Ayala, M. (2014). *Enzimas: ¿qué son y cómo funcionan?* [https://www.ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2274/art91\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2274/art91_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Renneberg, R. (2019). *Biotecnología para principiantes*. Reverte.
- Rodríguez, D. y Castaño, D. (2017). Sustitución parcial del lúpulo (*Humulus lupulus*) por cidrón (*Aloysia citrodora*) en la elaboración de cerveza artesanal. [Tesis de Licenciatura, Universidad de La Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/54/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/54/)
- Rey Vera, M. (2013). Desarrollo y formulación de cervezas artesanales. 36.
- Rubio, Diana. (2015). Estudio de viabilidad para la creación de una micro cervecería bar restaurante en Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Mueller, Erda Lin, y Steven J. Davis. (2018). Decreases in Global Beer Supply Due to Extreme Drought and Heat. *Nature Plants* 4(11):964-73. doi: 10.1038/s41477-018-0263-1.
- Tabares, E. (2013). *Optimización de la hidrólisis enzimática de almidón de guandul*. Edu.co:8080. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/7311/Optimizaci%C3%B3n%20de%20la%20hidr%C3%B3lisis%20enzim%C3%A1tica%20de%20almid%C3%B3n%20de%20guandul.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tortola, F. (2021). Cebada cervecera. *Cereales y Oleaginosas*, 14. Tovar Benítez, T. (2008). Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/?sequence=1>
- Yáñez G., C., Zambrano, L., Caicedo, M., Heredia, J., Sangoquiza, A., Villacrés, E., Racines, R., y Caballero, D. (2016). Ficha técnica de la variedad de Maíz Negro INIAP-199 "Racimo de Uva". Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz.

Yamamoto, Isaac Brown. (2018). Producción de cerveza artesanal.

Yubero, Ismael. (2015). Cerveza. Distribución y consumo, 45-5VII.

## VII. ANEXOS

### Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE ALIMENTOS

### ACTA

#### DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR


ESTUDIANTE:	Chingal Ortiz Camila Stefania	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0450487939
PERIODO ACADÉMICO:	2023A		
PRESIDENTE TRIBUNAL	MSC. VANESSA ELIZABETH CADENA MAFLA	DOCENTE TUTOR:	MSC. CARLOS ARTURO PAREDES PITA
DOCENTE:	MSC. CARLOS ALBERTO RIVAS ROSERO		
TEMA DEL TIC:	"INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE MALTA DE CEBADA POR MALTA DE MAÍZ MORADO (ZEA MAÍZ I) EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE UNA CERVEZA ARTESANAL TIPO IRISH RED ALE"		
No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	8,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7,33	
3	METODOLOGÍA	7,67	Revisar la sumatoria porcentual de las formulaciones Complementar la parte del rendimiento del porcentaje de germinación no en relación del peso Revisar los diagramas
4	RESULTADOS	6,67	Mejorar la discusión de resultados Argumentar la presencia de arsénico y los límites máximos residuales
5	DISCUSIÓN	6,67	Mejorar la discusión de resultados obtenidos y que sean correctamente redactados
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	7,00	Revisar las conclusiones y el porcentaje de rendimiento de la germinación del maíz morado
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	6,00	Mostrar mayor seguridad y preparación del tema expuesto
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	7,00	Revisar faltas ortográficas, revisar unidades que están en mayúscula, norma APA.


Obteniendo una nota de: **7,03** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el Informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **lunes, 31 de julio de 2023**

  
MSC. VANESSA ELIZABETH CADENA MAFLA  
PRESIDENTE TRIBUNAL

  
MSC. CARLOS ALBERTO RIVAS ROSERO  
DOCENTE

  
MSC. CARLOS ARTURO PAREDES PITA  
DOCENTE TUTOR

### Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI  
FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE CENTER**

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
<b>NAME: Camila Stefania Chingal Ortiz y Carla Isabel Chacón Guerra</b>				
<b>DATE: 31 de julio de 2023</b>				
<b>TOPIC: "Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (<i>Zea mays L.</i>) en las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale"</b>				
<b>MARKS AWARDED</b>		<b>QUANTITATIVE AND QUALITATIVE</b>		
<b>VOCABULARY AND WORD USE</b>	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1 Vera Játiva Edwin Andrés,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>WRITING COHESION</b>	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>ARGUMENT</b>	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>CREATIVITY</b>	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>SCIENTIFIC SUSTAINABILITY</b>	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>TOTAL/AVERAGE</b>	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED		<b>TOTAL 9,5</b>	



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL  
CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE  
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.**

**Autor:** Camila Stefania Chingal Ortiz y Carla Isabel Chacón Guerra

**Fecha de recepción del abstract:** 31 de julio de 2023

**Fecha de entrega del informe:** 31 de julio de 2023

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

**Observaciones:**

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según los rubrics de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9,5 por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



FIRMA ELECTRÓNICA DE:  
EDISON BOANERGES  
PENAFIEL ARCOS

Ing. Edison Peñañiel Arcos MSc  
Coordinador del CIDEN

Anexo 3. Ficha de evaluación sensorial



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI  
 FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES.  
 CARRERA DE ALIMENTOS  
 HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL



Fecha: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Género: M  F

Hoja de cata para la evaluación sensorial de aceptabilidad:

**Tema:** "Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (Zea Mayas L.) en las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Iris Red Ale".

**Instrucciones**

1. Tomar las muestras en orden secuencial de acuerdo con la Tabla 2. Califique el nivel de aceptación de cada atributo (Color, olor, sabor y aceptabilidad general) mediante una escala hedónica de 5 puntos conforme a lo indicado en la Tabla 1.
2. Enjuague con agua cada vez que termine de evaluar cada muestra.

**Tabla 1.** Escala de valores para aceptabilidad.

Escala	Aceptabilidad
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta
3	Ni me gusta ni me disgusta
4	Me gusta
5	Me gusta mucho

**Tabla 2.** Atributos de los tratamientos de una cerveza artesanal tipo Iris Red Ale.

Atributo	Muestras					
	350	352	346	134	755	688
Color						
Olor						
Sabor						
Aceptabilidad general						

**Recomendaciones:**

---



---



---

¡Muchas Gracias!

## Anexo 4. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la cerveza



INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO QUÍMICO DE ALIMENTOS				
ANÁLISIS: Físicoquímico e Instrumental de Alimentos MC22.9 Revisión: 04 Orden de trabajo N°			R: AL-017-23	
OT-2023-AL-229				
DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE				
EMPRESA: CARLA CHACÓN DIRECCIÓN: TULCÁN TELÉFONO: 967308303 SOLICITADO POR: CARLA CHACÓN			INFORMACIÓN DE LA MUESTRA NOMBRE DEL PRODUCTO: Cerveza Artesanal NOMBRE COMERCIAL: Cerveza Irish Red Ale CANTIDAD DE MUESTRA: 330 ml ESTADO DE LA MUESTRA: Líquido FECHA DE ELABORACIÓN: 25/04/2023 FECHA DE EXPIRACIÓN: 25/06/2023 LOTE: NN FORMA DE CONSERVACIÓN: Refrigeración TIPO DE ENVASE: Botella de vidrio	
DATOS OBTENIDOS POR EL LABORATORIO				
CONDICIONES AMBIENTALES		TEM AMB (°C):	18	
		HUMEDAD (%):	60	
COORDENADAS EN EL PUNTO DE MUESTREO			NI	
TECNICO RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA			NI	
TIPO DE TOMA DE MUESTRA (Simple/Compuesta)			Cliente	
FECHA DE TOMA DE MUESTRA			Simple	
HORA DE TOMA DE MUESTRA			09/05/2023	
FECHA DE INGRESO DE MUESTRA			10:15	
HORA DE INGRESO			10/05/2023	
FECHA DE ANÁLISIS			16:45	
FECHA DE REALIZACIÓN DE INFORME			10/05/2023 - 23/05/2023	
ANALISTA RESPONSABLE DE ELABORACION DE INFORME			24/05/2023	
			Katherine Nuggend	
PARAMETRO	UNIDAD	METODOS	± Incertidumbre relativa (K=2)	ESPECIALES
				AL-017-23
@Carbonatación	L CO <sub>2</sub> /L bebida	Gravimetría	NA	3.4
Hierro*	mg/L	PEE106 / Métodos de referencia AOAC 985,35 Ed. 21, 2019	NA	0.02
Cobre*	mg/L	PEE104 / Métodos de referencia AOAC 985,35 Ed. 21, 2019	NA	0.17
Zinc*	mg/L	PEE105 / Métodos de referencia AOAC 985,35 Ed. 21, 2019	NA	0.04
Plomo*	mg/L	PEE24 / SM-Ed-24-2023, 3111 B	NA	0.05
Arsenico*	mg/L	SM-Ed-24-2023, 3114 B	NA	0.12
@Anaerobios mesófilos	UFC/ml	Recuento en Placa Vertida	NA	38 x 10 <sup>3</sup>

Nota: UFC/ml = Unidades formadoras de colonia por mililitro

Nota: Valores de referencia tomados de la Norma INEN 2262:2013 Bebidas alcohólicas. Cerveza

@ Parámetros subcontratados no acreditados realizados en Laboratorio con número de acreditación N° SAE LEN 06-002. El informe se encuentra disponible en el laboratorio

### LUGAR DE REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS:

- Los parámetros Hierro, Cobre, Zinc, Plomo y Arsénico fueron realizados en el Laboratorio Matriz Quito de CHAVEZSOLUTIONS



DR. LUIS SOTO  
RESPONSABLE TECNICO

NOTA: C= Cumple con la norma, NC=No cumple con la norma, NI= No indicado por el cliente, NA=No aplica

SM= Standard Methods; EPA=Environmental Protection Agency, AOAC= Association of Analytical Communities; PEE= Procedimiento Especifico de Ensayo

U : Incertidumbre del Método (expresado en las mismas unidades del parámetro); %U : Incertidumbre relativa del Método (expresado en porcentaje)

### C. Cumplimiento de normativa vigente

- El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Prohibida la reproducción parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio
- CHAVEZSOLUTIONS libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados
- Los datos de fecha de toma de muestra fueron proporcionados por el cliente
- Los parámetros Carbonatación, Hierro, Cobre, Zinc, Plomo, Arsénico, Anaerobios mesófilos no están incluidos en el alcance de acreditación de CHAVEZSOLUTIONS AMBIENTALES
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Página 1 de 1

**Anexo 5.** Etapa de licuefacción de jarabe de maíz morado



**Anexo 6.** Etapa de sacarificación de jarabe de maíz morado



**Anexo 7.** Limpieza del maíz



**Anexo 8.** Remojo del maíz



**Anexo 9.** Germinación del maíz



**Anexo 10.** Selección de maíz germinado



**Anexo 11.** Secado del maíz



**Anexo 12.** Molienda de malta y maíz



**Anexo 13.** Maceración y cocción



## Anexo 14. Fermentación



## Anexo 15. Embarillado y carbonatación



## Anexo 16. Desinfección de botellas y envasado

