

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS:

**Determinación de la concentración adecuada de lúpulo
(*Humulus lupulus* L.), tanino y clarificante para la
elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*)**

Para optar el título profesional de:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:

Bach. Yesenia DIAZ TOMAYLLA

ASESOR:

Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA

AYACUCHO - PERÚ

2025

Dedicatoria

A mi madre, Elizabeth por su amor, sacrificio, apoyo incondicional y por su constante motivación que me inspiran a salir adelante.

En memoria de mi hermana, Allison, que brilla eterna en nuestros corazones y recuerdos.

A mi hijo, Thiago Valentino quien es mi fuente de inspiración y motivación constante.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, y de manera especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por su dedicación y compromiso en mi formación académica, así como por fomentar mi crecimiento personal y profesional.

A mi asesor, el Ing. Jesús Javier Paniagua Segovia, por su valiosa guía, conocimientos y orientación, los cuales fueron fundamentales en el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a mis amigos y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este proyecto. Su apoyo y respaldo fueron fundamentales para alcanzar la culminación de este anhelo.

Resumen

La cerveza es una de las bebidas fermentadas más consumidas a nivel mundial; sin embargo, en los últimos años ha surgido el interés por emplear cereales alternativos como el maíz (*Zea mays*), con el fin de diversificar la producción y aprovechar recursos regionales. No obstante, su uso puede generar variaciones en la composición del mosto y en la estabilidad del producto final, lo que requiere ajustar las concentraciones de aditivos como el lúpulo (*Humulus lupulus* L.), el ácido tánico y la bentonita. En este contexto, el estudio tuvo como objetivo determinar las concentraciones adecuadas de estos aditivos. Con esta finalidad, se realizó la germinación de los granos de maíz morocho durante seis días, seguida de los procesos de secado y molido, obteniéndose la malta de maíz. El mosto dulce presentó una densidad de 1,057 g/mL, 14,70 °Brix, pH de 5,7 y una turbidez superior a 900 NTU. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, utilizando la Metodología de Superficie de Respuesta mediante un Diseño Compuesto Central Rotable, evaluándose 16 tratamientos. Se analizaron los efectos del ácido tánico (3-10 g/hL), la bentonita (40-100 g/hL) y el lúpulo (2-5 g/L) sobre la turbidez, el amargor y la aceptabilidad sensorial. En una primera etapa, el ácido tánico presentó una capacidad de sedimentación entre 5,8 y 4,2 cm y redujo la turbidez del mosto de 642,67 a 325,33 NTU. En una segunda etapa, la adición de bentonita mejoró la clarificación, alcanzando valores de sedimentación entre 4,3 y 3 cm y reduciendo la turbidez de 334 a 25,37 NTU. Los resultados mostraron que la combinación óptima fue de 4,90 g/hL de ácido tánico y 96,33 g/hL de bentonita, logrando una turbidez de 25 NTU; asimismo, con una dosis de 2,73 g/L de lúpulo se obtuvo un amargor de 15 IBU y mayor aceptabilidad sensorial. La cerveza final presentó parámetros fisicoquímicos adecuados, con densidad entre 1,010 y 1,030 g/mL, pH entre 4,6 y 4,8, grado alcohólico de 3,80 a 4,20 %, acidez total de 0,342 a 0,375 % y color entre 7 y 14,3 EBC. El análisis sensorial se realizó en tres fases, evidenciándose diferencias significativas entre tratamientos en los atributos de transparencia y amargor. En conclusión, las concentraciones óptimas encontradas mejoraron significativamente la calidad fisicoquímica y sensorial de la cerveza de maíz.

Palabras clave: Cerveza de maíz (*Zea mays*), lúpulo, ácido tánico, bentonita, diseño central compuesto rotatable, turbidez y amargor.

Abstract

Beer is one of the most consumed fermented beverages worldwide; however, in recent years there has been growing interest in using alternative grains such as corn (*Zea mays*) to diversify production and utilize regional resources. Nevertheless, its use can lead to variations in wort composition and the stability of the final product, requiring adjustments to the concentrations of additives such as hops (*Humulus lupulus* L.), tannic acid, and bentonite. In this context, this study aimed to determine the appropriate concentrations of these additives. To this end, the kernels of morocho corn were germinated for six days, followed by drying and milling processes, resulting in corn malt. The sweet wort had a density of 1.057 g/mL, 14.70 °Brix, a pH of 5.7, and a turbidity greater than 900 NTU. The research was conducted using a quantitative approach, employing Response Surface Methodology with a Rotatable Central Composite Design, and evaluating 16 treatments. The effects of tannic acid (3-10 g/hL), bentonite (40-100 g/hL), and hops (2-5 g/L) on turbidity, bitterness, and sensory acceptability were analyzed. In the first stage, tannic acid exhibited a settling capacity between 5.8 and 4.2 cm and reduced wort turbidity from 642.67 to 325.33 NTU. In the second stage, the addition of bentonite improved clarification, achieving settling values between 4.3 and 3 cm and reducing turbidity from 334 to 25.37 NTU. The results showed that the optimal combination was 4.90 g/hL of tannic acid and 96.33 g/hL of bentonite, achieving a turbidity of 25 NTU. Likewise, a hop dosage of 2.73 g/L resulted in a bitterness of 15 IBU and greater sensory acceptability. The final beer exhibited adequate physicochemical parameters, with a density between 1.010 and 1.030 g/mL, pH between 4.6 and 4.8, an alcohol content of 3.80 to 4.20%, total acidity of 0.342 to 0.375%, and color between 7 and 14.3 EBC. The sensory analysis was performed in three phases, revealing significant differences between treatments in the attributes of transparency and bitterness. In conclusion, the optimal concentrations found significantly improved the physicochemical and sensory quality of the corn beer.

Keywords: Corn beer (*Zea mays*), hops, tannic acid, bentonite, rotatable composite core design, haze and bitterness.

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
CAPITULO I	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.1. Antecedentes internacionales.....	3
1.1.2. Antecedentes nacionales	4
1.2. IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN LA CERVEZA TRADICIONAL	5
1.3. MAÍZ	6
1.3.1. Características químicas del maíz (Zea Mays)	6
1.3.2. Maíz Morocho.	6
1.4. MALTEADO	7
1.4.1. Malteado de maíz.....	7
1.5. MATERIA PRIMA E INSUMOS PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA DE MAÍZ.....	8
1.5.1. Agua.....	8
1.5.2. Malta de maíz.....	9
1.5.3. Lúpulo.	9
1.5.4. Levadura	9
1.6. LÚPULO EN LA CERVEZA.	10
1.6.1. Propiedades que aporta el lúpulo.	10
1.7. PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA.....	14
1.7.1. Molienda	14
1.7.2. Macerado	14
1.7.3. Lavado de grano	15
1.7.4. Ebullición del mosto	15
1.7.5. Enfriado.....	15
1.7.6. Fermentación	16
1.8. TURBIDEZ EN LA CERVEZA	17
1.8.1. Interacción proteína-polifenol	18
1.9. CLARIFICACIÓN DE LA CERVEZA	19
1.9.1. Agentes clarificantes	19
1.9.2. Efecto de las concentraciones de los agentes clarificantes	19
1.10. DEFINICIÓN DE CERVEZA	22
1.11. CLASIFICACIÓN DE LAS CERVEZAS	22
1.12. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CERVEZA SEGÚN LA NTP	23
1.12.1. Características fisicoquímicas de la cerveza lager	23
1.12.2. Color	24
1.12.3. Grados de alcohol	24
1.12.4. pH	24
1.12.5. Turbidez	25
1.12.6. Amargor	25
1.13. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA CERVEZA	26
1.13.1. Descripción de los atributos por el sentido de la vista	26
1.13.2. Descripción de atributos a través del olfato	26
1.13.3. Descripción de atributos por el sentido del gusto.....	27
1.14. OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.	28
1.14.1. Metodología de superficie de respuesta	28
1.14.2. Diseños de superficie de respuesta.....	29

1.14.3.	Diseño central compuesto	29
CAPITULO III		31
2.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	31
2.2.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	31
2.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	31
2.4.	MATERIALES.....	31
2.4.1.	Materia prima e insumos	31
2.4.2.	Materiales.....	32
2.4.3.	Equipos	32
2.4.4.	Reactivos	32
2.4.5.	Software	33
2.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	33
2.5.1.	Descripción del proceso de obtención de malta a partir de maíz morocho 33	
2.5.2.	Descripción del proceso de obtención del mosto dulce	34
2.6.	MODELO ESTADÍSTICO	35
2.6.1.	Diseño estadístico (DCCR)	35
2.6.2.	Descripción del proceso de lupulado y clarificación.....	38
2.6.3.	Fermentación	39
2.7.	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	42
2.7.1.	Determinación de densidad	42
2.7.2.	Determinación de Grados Brix.....	42
2.7.3.	Determinación de pH.....	42
2.7.4.	Determinación de turbidez.....	42
2.7.5.	42	
2.7.6.	Determinación de amargor en cerveza.....	43
2.7.7.	Determinación del grado alcohólico en cerveza.	43
2.7.8.	Determinación de color en cerveza NTP 213.027 (INACAL, 2016).....	44
2.7.9.	Determinación de acidez total	44
2.8.	EVALUACIÓN SENSORIAL	45
CAPITULO IV		46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		46
3.1.	EVALUACIÓN DEL MALTEADO DE MAÍZ MOROCHO.....	46
3.1.1.	Análisis de densidad (g/mL) y °Brix del mosto dulce	48
3.1.2.	Análisis del pH del mosto dulce	49
3.2.	CLARIFICACIÓN DEL MOSTO	50
3.2.1.	Clarificación del mosto con ácido tánico.....	50
3.2.2.	Clarificación del mosto con bentonita	53
3.3.	RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTABLE (DCCR).	55
3.3.1.	Análisis de la variable respuesta: turbidez.....	56
3.3.2.	Análisis de la variable respuesta: amargor	65
3.3.3.	Análisis de la variable respuesta: aceptabilidad	69
3.4.	CONCENTRACIONES ADECUADAS PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA DE MAÍZ. 73	
3.5.	EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CERVEZA	74
3.5.1.	Comportamiento de la densidad	74
3.5.2.	Comportamiento del pH.....	77
3.5.3.	Grado alcohólico	79
3.5.4.	Acidez Total	80
3.5.5.	Turbidez	81
3.5.6.	Color	83

3.6.	ANÁLISIS SENSORIAL DE LA CERVEZA	84
3.6.1.	Análisis sensorial de la fase visual	84
3.6.2.	Análisis sensorial de la fase olfativa	88
3.6.3.	Análisis sensorial de la fase gustativa	92
	CONCLUSIONES	97
	BIBLIOGRAFIA	100
	ANEXOS	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación Del Análisis Proximal Del Grano	6
Tabla 2 Rango de Amargor (IBU) en distintos tipos de cerveza.....	11
Tabla 3 Compuestos provenientes del lúpulo encontrados en la cerveza.....	13
Tabla 4 Características de Clarificantes	20
Tabla 5 Requisitos Fisicoquímicos de la cerveza	23
Tabla 6 Niveles de los factores	36
Tabla 7 Respuestas y sus unidades	36
Tabla 8 Valores codificados y reales de los factores utilizando el Diseño Central Compuesto.....	37
Tabla 9 Valores de densidad (g/mL) y °Brix en el mosto obtenido.....	48
Tabla 10 Resultados experimentales	56
Tabla 11 Análisis de la varianza para turbiedad- Central compuesto rotatable de 3 factores	57
Tabla 12 Análisis de la varianza para amargor- Central compuesto rotatable de 3 factores	
Tabla 13 Análisis de la varianza para aceptabilidad- Central compuesto rotatable de 3 factores	69
Tabla 14 Valores óptimos.....	73
Tabla 15 Comportamiento de la densidad en las unidades experimentales	75
Tabla 16 pH de las unidades experimentales al final de la cocción y fermentación respectivamente	77
Tabla 17 Los colores obtenidos.....	83
Tabla 18 Análisis de la varianza para el atributo: transparencia	85
Tabla 19 Prueba de comparación múltiple de Tukey para transparencia.....	85
Tabla 20 Análisis de la varianza para el atributo: vivacidad.....	86
Tabla 21 Prueba de comparación múltiple de Tukey para vivacidad	87
Tabla 22 Análisis de la varianza para el atributo: aroma de malta de maíz	88
Tabla 23 Prueba de comparación múltiple de Tukey para aroma a malta	89
Tabla 24 Análisis de la varianza para el atributo: aroma a lúpulo	90
Tabla 25 Prueba de comparación múltiple de Tukey para aroma a lúpulo.....	91
Tabla 26 Análisis de la varianza para el atributo: gusto a malta de maíz	92
Tabla 27 Prueba de comparación múltiple de Tukey para gusto a malta de maíz ..	93
Tabla 28 Análisis de la varianza para el atributo: gusto a lúpulo	94
Tabla 29 Prueba de comparación múltiple de Tukey para gusto a lúpulo	94
Tabla 30 Análisis de la varianza para el atributo: amargor	95
Tabla 31 Prueba de comparación múltiple de Tukey para amargor.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Maíz morocho</i>	6
Figura 2 <i>Estructura de iso- α - ácidos trans y cis componentes principales del amargor</i>	11
Figura 3 <i>Metabolismo de la levadura y la producción del sabor</i>	17
Figura 4 <i>Interacción proteínas-polifenol</i>	18
Figura 5 <i>Diseño central compuesto</i>	29
Figura 6 <i>Diagrama de bloque para obtención cerveza de maíz</i>	34
Figura 7 <i>Proceso de Obtención de mosto dulce</i>	35
Figura 8 <i>Proceso de lupulado</i>	38
Figura 9 <i>Clarificación pre-fermentativa</i>	39
Figura 10 <i>Fermentación isobárica en baño maría invertido</i>	40
Figura 11 <i>Diagrama de bloque para obtención cerveza de maíz</i>	41
Figura 12 <i>Proceso de malteado del maíz morocho</i>	46
Figura 13 <i>pH del mosto en los tratamientos</i>	49
Figura 14 <i>Altura del sedimento formado por la acción del ácido tánico</i>	51
Figura 15 <i>Grado de Turbiedad de los mostos tratados</i>	52
Figura 16 <i>Altura del sedimento</i>	53
Figura 17 <i>Grado de Turbiedad de los mostos tratados</i>	54
Figura 18 <i>Superficie de respuesta 3D del efecto del lúpulo y ácido tánico sobre la turbiedad</i>	
Figura 19 <i>Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del lúpulo y ácido tánico sobre la turbiedad</i>	59
Figura 20 <i>Superficie de respuesta 3D del efecto del ácido lúpulo y bentonita sobre la turbiedad</i>	60
Figura 21 <i>Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del lúpulo y bentonita sobre la turbiedad</i>	61
Figura 22 <i>Superficie de respuesta 3D del efecto del ácido tánico y bentonita sobre la turbiedad</i>	62
Figura 23 <i>Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del ácido tánico y bentonita</i>	63
Figura 24 <i>Superficie de respuesta 3D del efecto del lúpulo - ácido tánico sobre el amargor</i>	67
Figura 25 <i>Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del lúpulo y ácido tánico</i>	68
Figura 26 <i>Superficie de respuesta 3D del efecto de las variables independientes sobre la aceptabilidad</i>	71
Figura 27 <i>Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada</i>	72
Figura 28 <i>Comportamiento de la densidad</i>	76
Figura 29 <i>Comportamiento del pH</i>	78
Figura 30 <i>Contenido de alcohol</i>	79
Figura 31 <i>Contenido de Acidez total (%)</i>	80

INTRODUCCION

La cerveza es una de las bebidas fermentadas más antiguas y consumidas en el mundo, cuyo proceso de elaboración ha evolucionado gracias a la incorporación de nuevos ingredientes, mejorando así su calidad sensorial y estabilidad. Tradicionalmente, la cerveza se elabora a partir de cebada malteada, lúpulo, agua y levadura; sin embargo, en los últimos años ha crecido el interés por el uso de cereales alternativos como el maíz (*Zea mays*), debido a su disponibilidad y a la necesidad de diversificar la oferta de cervezas para los consumidores.

El uso del maíz en la elaboración de cerveza representa una alternativa innovadora para la industria cervecera, ya que permite desarrollar productos con características organolépticas diferenciadas y un estilo único proporcionado por la malta de este cereal, aprovechando la producción regional. No obstante, su uso puede generar variaciones en la composición del mosto y en la estabilidad del producto final, lo que hace necesario ajustar las concentraciones de los aditivos empleados durante el proceso de clarificación y acondicionamiento.

En este contexto, el lúpulo (*Humulus lupulus L.*) cumple un papel fundamental al aportar compuestos amargos y aromáticos que equilibran el sabor dulce de los azúcares fermentables y contribuyen a la estabilidad microbiológica. Por su parte, el ácido tánico actúa como agente clarificante natural, favoreciendo la coagulación de proteínas y compuestos fenólicos; mientras que la bentonita, un clarificante inorgánico, ayuda a reducir la turbidez y mejorar la transparencia de la cerveza. La adecuada combinación de estos componentes es esencial para obtener un producto con propiedades fisicoquímicas y sensoriales óptimas.

Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la concentración adecuada de lúpulo, ácido tánico y bentonita para la elaboración de cerveza de maíz, mediante la aplicación de un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR), que permitió evaluar el efecto individual y combinado de estos factores sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del producto. Los resultados obtenidos contribuyen al desarrollo de una cerveza de maíz con identidad regional y nacional, de alta calidad y con potencial de aceptación entre los consumidores.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus L.*), tanino y clarificante para obtener características fisicoquímicas y sensoriales optimas en la elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*).

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de lúpulo (*Humulus lupulus L.*), tanino y clarificante, en el mosto y su influencia en las características fisicoquímicas de la cerveza maíz.
- Establecer una concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus L.*), tanino y clarificante en el cual se desarrolla una mejor clarificación, amargor y aceptabilidad.
- Evaluar las características sensoriales de las cervezas de maíz elaboradas.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Antecedentes internacionales

Rodríguez (2013), en la investigación, "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" en el Laboratorio de Enología y Alimentos Fermentados de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, elaboró las primeras cervezas de maíz utilizando maltas base de maíces pigmentados rojo y azul. Posteriormente, en el mismo año, Romero (2013), en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la misma unidad académica, realizó la caracterización sensorial, describiéndolas como cervezas de fermentación tipo ale, con 5 % de alcohol (v/v), olor a nixtamal y maíz, sabor dulce con notas de piloncillo y chile, cuerpo ligero, baja carbonatación y apariencia cobriza con espuma blanca ligera. Asimismo, presentaron un color de 11-12 SRM y un amargor de 15 IBU.

Taylor et al. (2015), en la investigación, "Fundamental study on the impact of silica gel and tannic acid on hordein levels in beer" estudio orientado a la reducción del contenido de gluten en cerveza evaluó el efecto del ácido tánico como agente estabilizante y clarificante en comparación con el gel de sílice y una cerveza sin estabilizar. Para ello, se elaboró cerveza a base de malta de cebada y se aplicaron diferentes dosis de ácido tánico, determinándose posteriormente los niveles de hordeína mediante las técnicas de Western blot y ELISA competitivo, además de evaluar parámetros de calidad como estabilidad de espuma, color y características sensoriales. Los resultados evidenciaron que el ácido tánico disminuyó significativamente el contenido de hordeína. La dosis más baja redujo su concentración a menos de 21 ppm sin generar cambios significativos en la calidad de la cerveza, mientras que la dosis más alta logró disminuir el contenido de hordeína a menos de 6 ppm; sin embargo, esta concentración afectó negativamente las propiedades de calidad del producto. Estos hallazgos demuestran que el ácido tánico actúa eficazmente como agente clarificante y estabilizante al precipitar proteínas, aunque su aplicación debe optimizarse para evitar efectos adversos sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza.

Lambri et al. (2012) en la investigación, “Comparing the impact of bentonite addition for both must clarification and wine fining on the chemical profile of wine from Chambave Muscat grapes” realizaron un estudio con el objetivo de comparar el efecto de la adición de bentonita durante la clarificación del mosto y el afinado del vino. La investigación se desarrolló durante dos campañas vitivinícolas (2006 y 2007) e incluyó cuatro tratamientos: adición de bentonita únicamente al mosto (100 g/hL), adición únicamente al vino (100 g/hL), tratamiento doble con bentonita en mosto y vino (200 g/hL en 2006 y 150 g/hL en 2007) y un tratamiento control sin bentonita. Los resultados evidenciaron que la aplicación de bentonita únicamente al mosto fue el tratamiento más eficaz para la eliminación de proteínas, logrando una mayor estabilidad del producto en comparación con los demás tratamientos. Los autores concluyeron que el momento de incorporación de la bentonita influye significativamente en la eficiencia de la remoción de proteínas y en la conservación de los compuestos aromáticos, por lo que su aplicación durante la clarificación del mosto representa una alternativa tecnológica adecuada para mejorar la estabilidad del vino sin comprometer de manera importante su calidad sensorial.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Arana (2016) en la investigación, “Aplicación de la metodología DMAIC para la reducción del consumo de agente clarificante en el proceso de filtración de cerveza lager” tuvo como objetivo reducir y estabilizar el consumo del agente clarificante en la etapa de filtración de cerveza tipo lager. Para ello, aplicó la metodología DMAIC, combinando Lean Manufacturing y Seis Sigma, logrando disminuir la turbidez de la cerveza filtrada y reducir significativamente el consumo del agente clarificante de 149 a 133 g/hL.

Rojas y Valle (2023) en la investigación, “Determinación de parámetros óptimos para el malteado de maíz amarillo para su utilización como adjunto en una cerveza tipo ale” determinaron los parámetros óptimos de malteado de maíz amarillo para su uso como adjunto en una cerveza tipo ale, evaluando variables del proceso y del producto final. Los autores establecieron una formulación óptima basada en la combinación de malta de maíz y malta de cebada, obteniendo la mayor aceptación sensorial con el tratamiento F3 (60 % de malta de maíz Cabanita y 40 % de malta de cebada), que alcanzó puntuaciones hedónicas de 7,07 en apariencia, 6,37 en aroma, 6,27 en sabor, 4,15 en amargor y 4,10 en alcohol. En la caracterización fisicoquímica

final, la cerveza presentó un pH de 4,3, una densidad final de 1,034 g/mL, 3,5 % de alcohol y 6 °Brix.

Liñan (2021) en la investigación, “Caracterización sensorial de seis cervezas artesanales peruanas empleando Napping®–Ultra Flash Profile y mapeo de preferencia externo” realizó un estudio de caracterización sensorial con el objetivo de evaluar seis muestras de cervezas artesanales peruanas mediante la técnica Napping®-UFP y analizar la preferencia de los consumidores a través del MPE, con el fin de identificar las características sensoriales más atractivas. Estas incluyeron atributos como frutos exóticos, olor frutal, cereales andinos y alto grado alcohólico. Las características sensoriales fueron procesadas mediante análisis factorial múltiple. Los resultados evidenciaron que los atributos más apreciados fueron el olor floral, olor herbáceo, olor frutal, color dorado, carácter burbujeante, presencia de frutos exóticos y alto grado alcohólico.

1.2. Importancia del maíz en la cerveza tradicional

El maíz, por su relevancia económica, social y cultural, es un cultivo representativo del Perú. Se emplea para el consumo humano directo en diversas formas, como hervido (mote), tamales, humitas, tostado (cancha), chicha, entre otros, constituyéndose como un cereal fundamental en la alimentación de la población rural andina (Grobman et al., 1961).

Ramírez (1992) señala que nuestros ancestros, los incas, elaboraban una bebida fermentada originaria del país, basada en procesos como malteado, molienda, cocción, filtrado y fermentación, utilizando como materia prima el maíz, a diferencia de la actualidad, donde se emplea principalmente la cebada. Para ello, se utilizaba maíz germinado, permitiendo el desarrollo de la jora, también conocida como wiñapu (del quechua *wiñay*, que significa crecer), lo cual genera un proceso enzimático de malteado que no solo desdobla el almidón, sino que también contribuye al sabor de la chicha. Debido a su bajo poder diastático, esta bebida presenta una baja graduación alcohólica.

En Ayacucho, el maíz amarillo, conocido comúnmente como morocho, se utiliza en la elaboración de bebidas como la chicha de jora y en la producción de harina (Oscanoa et al., 2010).

1.3. Maíz

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1993) menciona que el maíz es uno de los granos más relevantes a nivel mundial, ya que se consume de forma directa o se utiliza como materia prima en la industria para la elaboración de almidón, aceites, proteínas, bebidas alcohólicas y edulcorantes.

1.3.1. Características químicas del maíz (*Zea Mays*)

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico proximal del grano entero de maíz (*Zea mays*). El pericarpio del grano contiene la mayor concentración de fibra cruda; el germen se distingue por presentar un mayor contenido de proteínas y grasa cruda, mientras que el endospermo, en contraste, presenta un bajo contenido de grasa cruda y un alto contenido de almidón (FAO, 1993).

Tabla 1

Comparación Del Análisis Proximal Del Grano

Componentes químicos	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteína	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Ceniza	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0.62	10,8

Nota: (FAO, 1993).

1.3.2. Maíz Morocho.

El maíz morocho es un cultivo presente en el Perú desde épocas prehispánicas. Su producción se ha difundido ampliamente en la sierra norte; no obstante, se encuentra a lo largo de toda la cordillera del país, en altitudes que oscilan entre los 1 800 y 3 000 m s. n. m. (Oscanoa et al., 2010).

En Ayacucho, se cultiva en las provincias de Huanta, Huamanga, La Mar, Víctor Fajardo y Cangallo; así como en los distritos de Huamanguilla, Acosvinchos, Vinchos, Iguain, Tambo, San Miguel, Huancaraylla, Huancapi, Tambillo y María Parado de Bellido (Oscanoa et al., 2010).

Una de las características de este maíz es su contenido de β -caroteno y β -criptoxantina, precursores de la vitamina A, asociados al color amarillo del grano (Grossmann et al., 1998).

Figura 1

Maíz morocho.



Nota: (Oscanoa et al., 2010).

1.4. Malteado

El malteado constituye una etapa tecnológica destinada a promover el desarrollo de enzimas en los granos de cereales durante el inicio de la germinación, lo que ocasiona transformaciones significativas en su estructura y composición. Este procedimiento implica la hidratación controlada del grano para activar la germinación y, posteriormente, la interrupción de dicho proceso mediante el secado y el tostado, con el fin de estabilizar el producto obtenido (Kunze & Manger, 2006).

1.4.1. Malteado de maíz

El maíz es un grano con alto contenido de almidón en el endospermo, lo que lo convierte en una excelente fuente de nutrientes para la levadura. Además, al no

contener gluten, constituye una alternativa viable como sustituto de la malta de cebada (Chaudhary et al., 2014).

En el maíz amarillo, el periodo de remojo suele ser más prolongado que en la cebada, aproximadamente de 3 a 4 días, para alcanzar el máximo contenido de humedad. Esto se debe a que el endospermo del grano es duro y está rodeado por una delgada capa de pericarpio (Chaudhary et al., 2014). Con el incremento de la humedad, se activa la maquinaria metabólica del grano, incluyendo la producción de giberelinas, las cuales estimulan la actividad y formación de enzimas (Fix, 1999).

Grossmann et al. (1998) señalan que, al germinar el grano de maíz durante 5 días a una temperatura de 25 °C, se obtiene un contenido de proteína de 4 % y lípidos de 0,27 %. Asimismo, la malta de maíz amarillo, después de 6 a 7 días entre remojo y germinación, presenta un bajo poder diastático (Chaudhary et al., 2014). Los parámetros óptimos de germinación para el maíz amarillo son 15 °C durante 6 días, obteniéndose una malta con un índice de Kolbach de 22,57 %, viscosidad de 1,3021 mPa·s, 7,40 °Brix, pH 5,57 y un rendimiento de 39,65 % (Rojas y Valle, 2023).

Según Eneje et al. (2004), al analizar muestras de maíz blanco y amarillo durante el malteado, el maíz amarillo presentó mayores niveles de enzimas diastáticas y mayor rendimiento de extracto. Durante la germinación, la plúmula emerge por el lado dorsal, opuesto al de las raicillas; cuando alcanza una longitud similar a la del grano, se considera obtenida la “malta verde”, momento en el cual debe detenerse el proceso (López, 2012). Para ello, se emplea el secado en horno a 55 °C durante 48 horas (Iwouno y Ojukwu, 2012).

1.5. Matería prima e insumos para la elaboración de cerveza de maíz.

1.5.1. Agua

La cerveza está compuesta, en su mayoría, por aproximadamente un 93 % de agua. Las propiedades del agua empleada en su elaboración influyen significativamente en la calidad del producto, ya que debe ser un líquido limpio, tratado y libre de sabores, olores y colores, con bajo contenido de sales y mínima presencia de sustancias orgánicas. Las reacciones enzimáticas y coloidales durante el proceso de elaboración se ven influenciadas indirectamente por la cantidad de sales presentes en el agua (Hough et al., 2012).

En la elaboración de cervezas tipo lager, caracterizadas por su suavidad, se emplea agua con bajo contenido de calcio, conocida como agua blanda. En contraste, para la producción de cervezas oscuras se puede utilizar agua con mayor dureza. No obstante, en la industria cervecera se prefieren aguas de dureza moderada, especialmente aquellas ricas en sulfato de calcio, ya que incrementan la acidez del medio, favorecen la actividad enzimática y reducen la disolución de polifenoles que pueden afectar el sabor de la cerveza (Hough et al., 2012).

1.5.2. Malta de maíz

Ramírez (1992) señala que la “jora” o malta de maíz puede describirse como el resultado de la germinación controlada de los granos, en la que se interrumpe el desarrollo de la radícula y el talluelo con el objetivo de obtener una adecuada cantidad de enzimas en el grano.

1.5.3. Lúpulo.

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta enredadera perteneciente a la familia Cannabaceae, que crece anualmente a partir de una raíz subterránea y cuyo ciclo de vida útil se extiende entre 12 y 15 años. Para la producción de cerveza se emplean únicamente las plantas hembra, de las cuales se desarrollan las flores, denominadas conos, que contienen glándulas de lupulina. Estas glándulas secretan un polvo resinoso de color amarillo, el cual aporta el sabor amargo a la cerveza, así como aceites esenciales que contribuyen a su aroma (Roberts, 2016).

1.5.4. Levadura

Saccharomyces cerevisiae se emplea ampliamente en la elaboración de pan, así como en la producción de cerveza y vino. Por su parte, las variedades de *Saccharomyces bayanus* se utilizan principalmente en la vinificación, mientras que *Saccharomyces pastorianus* y *Saccharomyces carlsbergensis* se aplican en la fermentación de cervezas tipo lager (Rodríguez, 2003).

Loviso y Libkind (2018) señalan que la levadura es un componente fundamental en la elaboración de la cerveza, ya que convierte los azúcares fermentables en alcohol. Además, participa en procesos fermentativos complementarios que generan compuestos responsables del sabor y el aroma

característicos de la bebida, contribuyendo a la estabilidad del producto final. Durante la fermentación, la levadura produce una amplia gama de sustancias, como etanol, alcoholes superiores, glicerol y dióxido de carbono; así como ésteres, acetaldehído, ácidos grasos y orgánicos, fenoles y diversos compuestos azufrados, los cuales influyen directamente en el perfil sensorial de la cerveza. El espectro de estos compuestos está determinado por factores como la cepa y el estado fisiológico de la levadura, la composición del mosto y las condiciones físicas que pueden generar estrés durante el proceso fermentativo (Loviso & Libkind, 2018).

1.6. Lúpulo en la cerveza.

Según Carvajal e Insuasti (2010), el lúpulo proporciona el sabor característico de la cerveza gracias a su riqueza en aceites esenciales y resinas amargas; además, contiene taninos y otras sustancias fenólicas.

1.6.1. Propiedades que aporta el lúpulo.

Según Carvajal y Insuasti (2010), entre las propiedades que el lúpulo aporta a la cerveza destacan:

- Como agente clarificante, ayuda a precipitar las proteínas del mosto.
- Aporta características aromáticas y amargas específicas
- Favorece la preservación de la por los compuestos antimicrobiano que contiene.
- Favorece la formación de espuma por el contenido de pectina.

1.6.1.1. Amargor.

Lewis y Young (1995) indican que las resinas del lúpulo contribuyen al amargor de la cerveza, mientras que los aceites esenciales aportan su aroma.

Durante la ebullición del mosto ocurre una de las conversiones químicas más relevantes en el proceso de elaboración de la cerveza. Las humulonas no se encuentran como tales en el producto final, sino en su forma isomerizada. La isomerización es una conversión inducida por la temperatura y acelerada a valores de pH superiores a 5,5; ocurre cuando el mosto es hervido con el lúpulo, produciéndose un reordenamiento de la estructura molecular. En este proceso, el anillo de seis carbonos de los α -ácidos se transforma en un anillo de cinco carbonos,

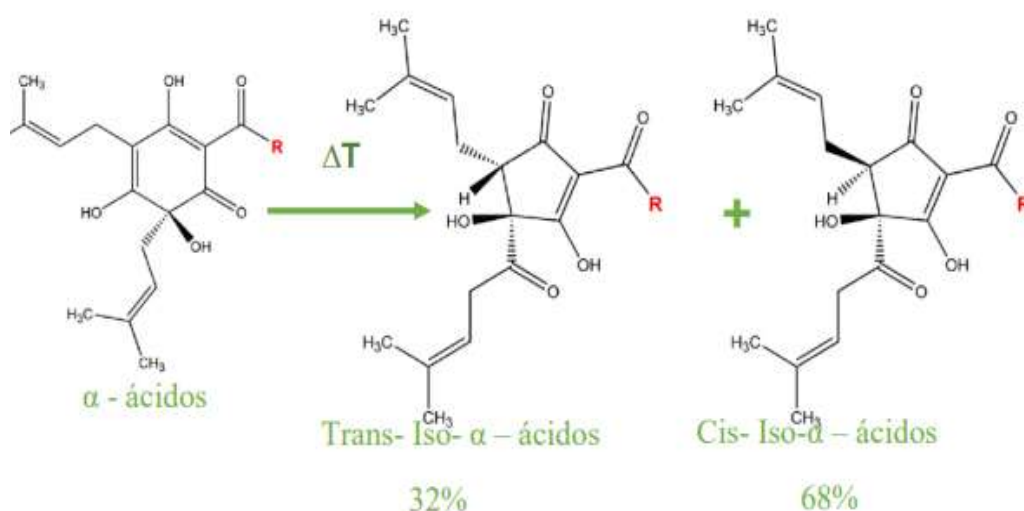
y cada α -ácido genera dos iso- α -ácidos epiméricos: los isómeros cis y trans (Carrillo, 2011).

Estos compuestos, salvo las precipitaciones que puedan producirse durante el enfriamiento, permanecen en el producto final, aportando el sabor amargo característico de la cerveza. Los compuestos amargos son altamente tensoactivos y contribuyen a mejorar la estabilidad de la espuma; por ello, se espera que las cervezas con mayor amargor presenten una mejor estabilidad espumosa (Kunze, 2006).

Existen tres homólogos principales de los α -ácidos: humulona, cohumulona y adhumulona. La solubilidad difiere entre cada uno de los iso- α -ácidos; siendo la isocohumulona la más soluble y químicamente activa. Sin embargo, presenta un menor amargor en comparación con los otros homólogos (Almaguer et al., 2014).

Figura 2

Estructura de iso- α - ácidos trans y cis componentes principales del amargor



Nota: Carrillo (2011).

Del total de α -ácidos que contiene el lúpulo, solo entre el 30 % y el 40 % llega al producto final, ya que las isohumulonas quedan adheridas a los restos de proteínas coaguladas tras la cocción (Varnam & Sutherland, 1997).

Los β -ácidos, o lupulonas, presentes como lupulona, colupulona y adlupulona, presentan baja solubilidad y se degradan durante la ebullición; sin embargo, una fracción se oxida durante la maduración a compuestos más solubles, que aportan amargor en menor proporción a la cerveza final (Almaguer et al., 2014).

El amargor de la cerveza se expresa mediante las Unidades Internacionales de Amargor (IBU o BU), las cuales cuantifican el contenido de α - y β -ácidos del lúpulo presentes por unidad de peso en el mosto o la cerveza (Díaz et al., 2020).

Tabla 2

Rango de Amargor (IBU) en distintos tipos de cerveza

Estilo de cerveza	Rango de IBU
Pale Ale Inglesa	20 – 40
Pale Ale Americana	20 – 40
American lager	5 – 15
American light lager	8 – 20
Trigo	10 – 15

Nota: Huxley (2011).

1.6.1.2. Aroma

Los aceites esenciales del lúpulo son componentes muy importantes, ya que aportan sabor y características aromáticas a la cerveza (Almaguer et al., 2014). El contenido de aceites del lúpulo varía entre 0,5 % y 1,2 %, dentro del cual se han identificado más de 300 compuestos volátiles distintos. Estos compuestos tienden a volatilizarse durante el proceso de cocción; sin embargo, se estima que solo cerca de una docena tiene un impacto significativo en el sabor y el aroma de la cerveza (Walsh, 1998).

Se reconoce que el contenido y la composición del aceite esencial del lúpulo están influenciados por diversos factores, tales como la variedad de lúpulo, las condiciones de cultivo, el momento de la cosecha (grado de madurez), las condiciones de secado, la exposición al aire, el tiempo de almacenamiento y las condiciones en que este se realiza (Almaguer et al., 2014).

Tradicionalmente, los aceites esenciales se clasifican en tres categorías químicas fundamentales: hidrocarburos, compuestos oxigenados y compuestos que

contienen azufre. Dentro del grupo de los hidrocarburos, los principales terpenos son el mirceno, el cariofileno y el humuleno (Walsh, 1998).

A continuación, se describen los terpenos presentes en el lúpulo Cascade utilizado en este proyecto:

- **Humuleno**

El humuleno, también denominado α -humuleno o α -cariofileno, es un compuesto sesquiterpénico con una estructura de anillo monocíclico que se origina a partir del difosfato de farnesilo (FPP). Este compuesto fue identificado inicialmente en los aceites esenciales de *Humulus lupulus*, de donde obtiene su denominación (Tinseth, 1993).

- **Linalool**

El linalool es un terpeno con un grupo alcohol cuya forma natural es común en muchas flores y plantas aromáticas. Su olor cítrico con un toque mentolado le confiere valor como compuesto aromatizante (Goldstein et al., 1999).

Tabla 3

Compuestos provenientes del lúpulo encontrados en la cerveza.

Compuestos del lúpulo	Compuestos formados	Descriptor sensorial
Resinas o Ácidos de lúpulo	α -ácidos (2-15%): Humulonas, cohumulonas y adhumulonas.	Gusto amargo
	β -ácidos (2-9.5%): Lupulona, colupulonas y adlupulonas.	Sabores rancios y a cartón.
Aceites esenciales	Compuestos hidrocarbonados: terpenos como humulonas, mirceno, farneceno y cariofileno	Gusto amargo, sensación pungente.
	Compuestos oxigenados: linalol, geraniol	Olor a lúpulo, aroma floral, herbal y cítrico

Nota: Hardwick (1995)

1.6.1.3. Efecto de la concentración de lúpulo

La concentración de lúpulo empleada habitualmente en la elaboración de cerveza oscila entre 1 y 2 g/L, y entre las variedades más utilizadas se encuentran Cascade, Saaz, Hallertau, Fuggie y Crystal. Aunque algunas cervezas se elaboran con una sola variedad de lúpulo, por lo general se emplean mezclas de dos o más variedades (Goldstein et al., 1999).

En particular, estudios sobre el lúpulo Cascade han demostrado que, a mayor nivel de adición, se incrementa la percepción de aroma y amargor; no obstante, entre concentraciones de 8 y 16 g/L prácticamente no se observan diferencias sensoriales. Además, a medida que aumenta la cantidad de lúpulo, disminuye la eficiencia de extracción, por lo que un rango de concentración entre 1 y 6 g/L se considera adecuado (Suárez, 2013).

1.7. Proceso de elaboración de cerveza

A continuación, se resumen las operaciones unitarias clave en el proceso de elaboración de cerveza.

1.7.1. Molienda

La malta se tritura con el fin de reducir el tamaño del endospermo y facilitar la extracción y disolución de sus componentes. Durante esta operación, se deben mantener intactas las cascarillas para obtener una harina gruesa que facilite el filtrado y el lavado del grano (Hough et al., 2012).

1.7.2. Macerado

El macerado es un proceso crucial en la obtención del mosto y consiste, básicamente, en mezclar la malta triturada con agua caliente a diferentes temperaturas, las cuales deben mantenerse durante un tiempo específico. El rango óptimo de temperatura del macerado para favorecer la acción de la α -amilasa se sitúa entre 65 y 75 °C, con un pH de 5,6 a 5,8. Los sustratos de esta enzima son los α -glucanos de alto y bajo peso molecular, y los productos de su actividad son oligosacáridos. Por otro lado, las condiciones óptimas para la β -amilasa corresponden a una temperatura de 60 a 65 °C y un pH entre 5,4 y 5,6; sus sustratos

son α -glucanos y el principal producto de su actividad es la maltosa (Krottenthaler et al., 2007).

La actividad enzimática durante la maceración permite la hidrólisis de proteínas, componentes de las paredes celulares y almidón; de este modo, las sustancias insolubles de la molienda se convierten en compuestos solubles, dando lugar al extracto de malta (Krottenthaler et al., 2007).

1.7.3. Lavado de grano

Este procedimiento tiene como propósito elaborar un mosto brillante y obtener el máximo volumen de azúcares de los sólidos (granos).

1.7.4. Ebullición del mosto

El mosto es sometido al proceso de ebullición, en el cual se expone a una fuente de calor hasta alcanzar una ebullición constante, manteniéndose bajo estas condiciones durante un periodo determinado. Esta etapa tiene como objetivos la eliminación de compuestos volátiles indeseables por evaporación, la isomerización de los ácidos del lúpulo, la desnaturalización y floculación de proteínas, la esterilización del mosto, la inactivación enzimática y su concentración. Asimismo, durante la ebullición se definen el color y ciertos sabores y aromas característicos de la cerveza (Hough et al., 2012).

Las propiedades organolépticas que proporciona el lúpulo, dependen de la cantidad de aceites y resinas, son afectadas por el tipo de lúpulo utilizado, la adición en ebullición o Whirlpool, favorece la isomerización de alfa-ácidos en iso-alfa-ácidos, que aportarán amargor a la cerveza, pero a su vez incrementando la volatilización y pérdida de compuestos de aroma (Krottenthaler et al., 2007).

1.7.5. Enfriado

El mosto se reduce en temperatura hasta alcanzar la temperatura adecuada para la fermentación mediante un enfriador, empleando agua fría como el principal agente de enfriamiento.

1.7.6. Fermentación

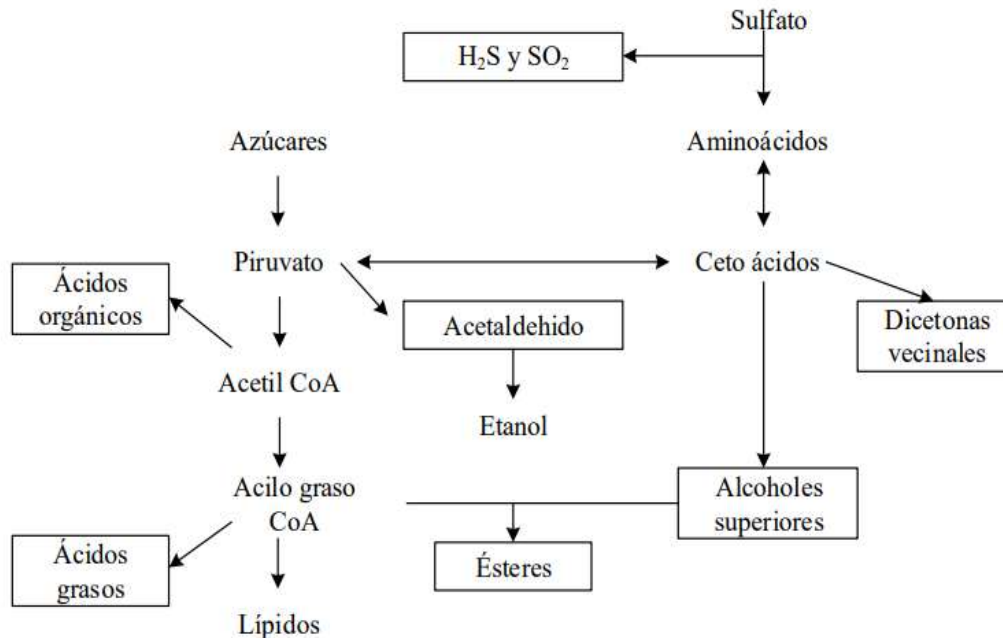
Durante esta fase, la levadura convierte los azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono. Este proceso también genera subproductos de fermentación que influyen notablemente en el aroma y el sabor de la cerveza. La fermentación se inicia con la inoculación de la levadura en el mosto (Hough et al., 2012).

A nivel metabólico, las enzimas presentes en la levadura transforman los azúcares del mosto a través de la vía glucolítica, degradando inicialmente la sacarosa, seguida de la maltosa y, finalmente, la maltotriosa. Los compuestos producidos como subproductos de la fermentación se agrupan en seis categorías principales: alcoholes superiores alifáticos y aromáticos, alcoholes polivalentes, ésteres, compuestos carbonílicos, sustancias azufradas y ácidos orgánicos. Cada uno de estos compuestos presenta distintos umbrales de percepción sensorial, y su interacción conjunta determina el perfil de sabor característico, así como la posible aparición de defectos en la cerveza (Esslinger, 2007).

La disminución del pH durante la fermentación favorece la precipitación de compuestos amargos coloidales y polifenoles; además, parte de los α -ácidos no isomerizados y de las isohumulonas se pierde al adherirse a las burbujas de CO₂ y desplazarse hacia la espuma, lo que reduce entre un 25 % y 40 % los compuestos responsables del amargor (Esslinger, 2007).

Figura 3

Metabolismo de la levadura y la producción del sabor



Nota: Adaptado de (Pretorius, 2000).

1.8. Turbidez en la cerveza

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas más antiguas y de mayor consumo a nivel mundial. La formación de turbidez en la cerveza constituye un problema relevante de calidad, ya que reduce considerablemente su vida útil y puede afectar negativamente su sabor. Esta turbidez suele ser consecuencia de la inestabilidad coloidal, una turbidez no biológica originada por la agregación de proteínas, polifenoles, almidón residual, β -glucanos y diversos carbohidratos, o de la presencia de turbidez biológica, la cual puede deberse a levaduras en suspensión o a la contaminación microbiológica del producto (Wang & Ye, 2021).

Sin embargo, entre los factores que causan la formación de neblina no biológica, la interacción entre las proteínas formadoras de turbidez y los polifenoles es el mecanismo más reconocido (Leiper et al., 2003).

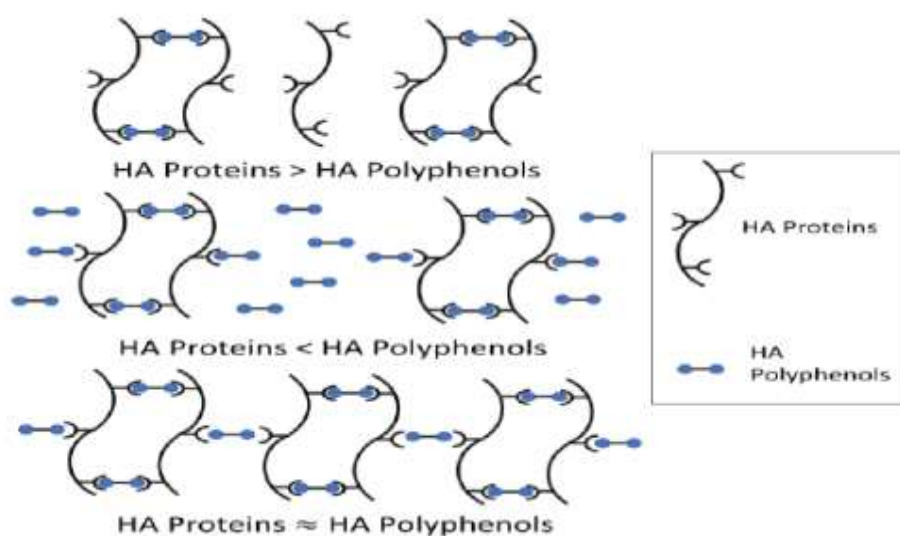
1.8.1. Interacción proteína-polifenol

La unión entre proteínas y polifenoles se considera uno de los factores más importantes que contribuyen a la turbidez de la cerveza. Estas interacciones se dividen comúnmente en interacciones no covalentes reversibles e interacciones covalentes irreversibles (Wang & Ye, 2021).

Según este modelo, una proteína activa en la formación de turbidez se conceptualiza como poseedora de múltiples sitios de unión con los polifenoles, mientras que un polifenol presenta relativamente menos sitios de unión a la proteína, formando así polímeros proteína-polifenol con una alta capacidad de dispersión de la luz (Wang & Ye, 2021). Por otro lado, la estabilidad de la turbidez de la cerveza depende de la proporción de proteínas y polifenoles.

Las hordeínas derivadas de la malta de cebada constituyen la principal fuente de proteínas responsables de la turbidez en la cerveza, y se ha identificado que el aminoácido prolina es el principal sitio de unión para los polifenoles. La prolina posee propiedades hidrofóbicas, lo que favorece las interacciones con polifenoles polimerizados que también presentan características hidrofóbicas (Siebert et al., 1996). En la figura 4 se describe el modelo de formación de turbidez mediante la interacción proteína-polifenol.

Figura 4
Interacción proteínas-polifenol



Nota: Siebert et al. 1996

1.9. Clarificación de la cerveza

La clarificación de la cerveza tiene como objetivo eliminar las partículas en suspensión mediante sedimentación por gravedad durante el almacenamiento en frío, así como a través de la adición de agentes clarificantes, la centrifugación y/o la filtración, lo que garantiza una cerveza clara y brillante (Rankine, 1997).

1.9.1. Agentes clarificantes

La clarificación mediante la adición de agentes clarificantes implica la incorporación de sustancias, tanto naturales como artificiales, para mejorar la claridad y estabilidad del producto. Su propósito es eliminar componentes en exceso y lograr una apariencia y transparencia consistentes desde la perspectiva fisicoquímica (Rankine, 1997). En concreto, los principales adsorbentes utilizados para reducir las proteínas incluyen geles de sílice, clarificantes de cola de pescado, clarificantes de cobre o de caldera, papaína y ácido tánico (Leiper et al., 2003).

Los procesos de clarificación pueden resultar complejos. La forma más básica de comprenderlos es a través de la atracción entre cargas eléctricas, donde el agente clarificante, con una determinada carga, interactúa con los componentes de carga opuesta, provocando la formación de un precipitado neutro (Rankine, 1997).

Para este propósito, los agentes clarificantes se clasifican en tres grandes grupos:

- Proteínas: caseína, albúmina, isinglass y gelatina.
- Minerales: bentonita y otras arcillas.
- Vegetales: agar-agar, carbones vegetales y taninos.
- Polímeros sintéticos: PVPP (poli-vinil-polipirrolidona).

1.9.2. Efecto de las concentraciones de los agentes clarificantes

Cada clarificante actúa de manera diferente en función de las propiedades del mosto o de las bebidas fermentadas; por ello, presenta características coagulantes y de clarificación específicas (Hidalgo, 2003).

Tabla 4
Características de Clarificantes.

Clarificante	Dosis	Características
Caseína	10 a 50 g/hl	Buen clarificante. No sobreencola. Trata y previene la maderización.
Cola de pescado	1,0 a 2,5 g/hl	Buen clarificante. Regular sedimentación.
Bentonita	20 a 100 g/hl	Sustancia floculante de las proteínas. Trata y previene las quiebras proteicas y cúpricas.
Sol de sílice	20 a 100 g/hl	Evita el sobreencolado
Tanino	3 a 10 g/hl	Sustancia: floculante de las proteínas. Evita el sobreencolado.

Nota: Hidalgo, 2003

1.9.2.1. Efecto del Ácido tánico

El ácido tánico es un metabolito secundario de las plantas, perteneciente a la familia de los polifenoles, con fórmula química $C_{76}H_{52}O_{46}$. Está compuesto por una unidad central de glucosa y grupos hidroxilo completamente esterificados por compuestos fenólicos, con una estructura similar a la de otros polifenoles (Bamforth, 2006).

Dado que las proteínas se combinan con los polifenoles que generan turbidez, no es sorprendente que este tipo de compuestos se utilice para eliminar las proteínas responsables del velo. Las proteínas se unen a los polifenoles formando complejos que originan la turbidez. El ácido tánico es de uso común en la industria cervecera, y diversos estudios han demostrado su eficacia (Bamforth, 2006).

La adición de ácido tánico tiene como finalidad reducir el contenido de proteínas a niveles adecuados, lo que contribuye a aumentar el tiempo de almacenamiento de la cerveza. Este efecto se debe a la interacción entre los grupos cetónicos del tanino y los nucleófilos (-SH, -NH₂) presentes en las proteínas. En esencia, los taninos actúan como precipitantes de las proteínas precursoras del velo;

cuando se adiciona ácido tánico al tanque frío, se forma un volumen considerable de sedimento que se deposita en el fondo del tanque (Leiper et al., 2003).

Según Taylor et al. (2015), en un estudio sobre la eficiencia del ácido tánico como agente clarificante, se determinó que, si bien la cerveza estabilizada con dosis elevadas (10 a 20 g/hL) presentó una marcada reducción en el contenido de hordeína (< 6 ppm), su calidad se vio afectada negativamente.

1.9.2.2. Efecto de la Bentonita

La bentonita es una arcilla natural clasificada como montmorillonita, cuya composición general incluye Mg, Ca y Na. Se ha utilizado como agente de sedimentación para clarificar zumos y reducir la presencia de compuestos distintos de las proteínas. Presenta una alta capacidad de adsorción de aminoácidos y otros compuestos del mosto (Aleixandre, 1999).

El origen de las bentonitas influye ligeramente en sus propiedades, y las principales diferencias se deben a las proporciones de Mg^{2+} , Ca^{2+} y Na^{+} en la red cristalina. Las bentonitas cálcicas presentan menor capacidad de hinchamiento en agua y menor capacidad de intercambio con proteínas por unidad de peso. En cambio, las bentonitas sódicas se hinchan más y poseen el doble de capacidad de intercambio proteico en comparación con las formas cálcicas (Oreglia, 1978).

La capacidad de la bentonita para adsorber proteínas está condicionada tanto por el punto isoeléctrico de las proteínas como por el pH del mosto o bebida fermentada. Cuando el pH supera el valor del punto isoeléctrico, las proteínas adquieren una carga neta negativa y pueden interactuar electrostáticamente con agentes clarificantes de carga positiva. Por el contrario, si el pH es inferior al punto isoeléctrico, las proteínas presentan una carga positiva y se combinan con clarificantes aniónicos, como la bentonita (Zoecklein et al., 2005). Esta interacción explica por qué algunos productos se estabilizan con determinadas dosis de bentonita, mientras que otros requieren diferentes concentraciones. Por ello, es importante considerar las características individuales de las proteínas relacionadas con la turbidez, ya que no todas se eliminan con la misma eficacia (Zoecklein et al., 2005).

Las concentraciones de bentonita varían según el tipo de proteína. Aquellas con un peso molecular entre 15 000 y 35 000 Da, principales responsables de la turbidez, pueden ser removidas eficazmente con aplicaciones de 40 a 60 g/hL. En cambio, para proteínas de mayor tamaño (40 000 a 100 000 Da), se requieren dosis superiores a 80 g/hL para lograr su eliminación (Hidalgo, 2011).

Lambri et al. (2012) evaluaron diferentes esquemas de clarificación en mostos de uvas aromáticas y demostraron que la adición de 100 g/hL de bentonita, aplicada únicamente al mosto, fue el tratamiento más eficiente para reducir el contenido proteico y mejorar la estabilidad coloidal, superando tanto la clarificación realizada solo en el vino como el doble tratamiento. Estos resultados evidencian que la incorporación temprana de bentonita favorece la precipitación de proteínas antes de la fermentación, disminuyendo el riesgo de turbidez posterior y preservando mejor los compuestos aromáticos.

La preparación de la bentonita consiste en hidratarla con un volumen de agua equivalente a diez veces su peso, dejándola reposar entre seis y doce horas. Posteriormente, tras una agitación previa, la suspensión se incorpora al mosto o al vino que será tratado, permitiendo su sedimentación a 5 °C (Blade & Boulton, 1988).

1.10. Definición de cerveza

Según la NTP 213.014:2016 (INACAL, 2016), la cerveza se define como una bebida obtenida por fermentación controlada utilizando levadura cervecera a partir de un mosto de cebada malteada o extracto de malta, previamente cocido y lupulado, permitiéndose además el uso de ingredientes auxiliares.

1.11. Clasificación de las cervezas

En el mundo existen diversos tipos de cerveza, cada uno con un aroma, sabor, color y cuerpo característicos; a menudo, estos estilos reciben el nombre de los lugares de donde proceden. Aunque todas las cervezas se elaboran a partir de los mismos componentes básicos, cebada malteada, lúpulo, levadura y agua las diferencias entre ellas radican principalmente en el tipo de fermentación que experimentan y en las materias primas empleadas. Por ello, la clasificación más aceptada se basa en la clase de fermentación (Cárdenas, 2003).

1.11.1.1. Cervezas Lager.

La expresión Lager proviene del término alemán “lagern”, que se traduce como almacenar o permanecer en un almacén, y hace referencia al extenso tiempo que la cerveza reposa para una fermentación gradual. La levadura tipo lager lleva a cabo la fermentación a temperaturas reducidas (entre 10 y 12°C), durante el cual la levadura se queda en el fondo del recipiente, lo que permite que el lúpulo y la cebada malteada resalten en el sabor y el aroma de la bebida. (Cárdenas, 2003).

1.11.1.2. Cervezas Ale.

La levadura tipo ale genera una fermentación acelerada, ya que se lleva a cabo a temperaturas que oscilan entre los 15 °C y los 20 °C, generando un porcentaje alto de alcohol y aromas. Este tipo de fermentación se llama "alta" porque las levaduras ascienden hasta la parte superior del fermentador actuando en la superficie del mosto (Cárdenas, 2003).

1.12. Características físico-químicas de la cerveza según la NTP

En la tabla, se presentan los requisitos fisicoquímicos exigidos por la Norma Técnica Peruana 213.014:2016.

Tabla 5

Requisitos Fisicoquímicos de la cerveza

Requisitos	Unidad	Mínimo	Método de ensayo
Contenido alcohólico a 20° C	% (v/v)	0.5	NTP 2.13.004
Extracto original	° Plato	5	NTP 213.037
Contenido de dióxido de carbono	Volúmenes de CO ₂	0.3	NTP 213.038
Color	ECB	*	NTP 213.027

Nota: NTP 213.014:2016.

1.12.1. Características fisicoquímicas de la cerveza lager

Según Posada (1995), para que la cerveza sea considerada de buena calidad, es necesario que no presente características comúnmente percibidas como negativas. Entre los parámetros más importantes para evaluar su calidad se

encuentran el sabor, la espuma, el color, el grado alcohólico y la turbidez. A continuación, se presentan algunos parámetros fisicoquímicos comúnmente utilizados para describir una cerveza tipo lager:

1.12.2. Color

La modificación del color en la cerveza se logra mediante el uso de distintas maltas o extractos malteados, cuyos métodos de producción influyen directamente en la tonalidad final. Desde el punto de vista químico, este cambio cromático se asocia principalmente con tres reacciones: el pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard), la caramelización y la generación de compuestos derivados de procesos oxidativos (López & Ramírez, 2018).

La cerveza tipo lager se caracteriza por presentar un color inferior a 20 unidades EBC, lo que corresponde a un rango aproximado de 8 a 10 °EBC (EBC, 1975).

1.12.3. Grados de alcohol

La concentración de etanol y de alcoholes superiores está influenciada por diversos factores, entre los cuales la cepa de levadura utilizada resulta determinante. En general, las levaduras de tipo ale generan mayores cantidades de alcoholes superiores en comparación con las cepas lager (Hughes et al., 2001).

Según el BJCP (2021), dentro de las cervezas tipo lager, el estilo American Lager se caracteriza por presentar sabores suaves y un contenido alcohólico relativamente bajo, que oscila entre 2,8 % y 4,2 % v/v. En contraste, las Premium Lager son cervezas altamente atenuadas, sin sabores intensos, y presentan un mayor contenido de alcohol, comprendido entre 4,5 % y 6,0 % v/v.

1.12.4. pH

Según Ros (1980), el nivel de pH ideal para el proceso cervecero se sitúa aproximadamente entre 5,0 y 6,0. Cuando este parámetro excede el rango recomendado, se ven afectadas varias etapas clave del proceso, la sacarificación se vuelve menos eficiente debido a la disminución de la actividad enzimática, lo que conduce a una menor producción de azúcares fermentables; la coagulación de proteínas durante la cocción se reduce; y el amargor adquiere un carácter más

astringente como consecuencia de una mayor liberación de taninos provenientes de la cáscara del grano durante las etapas de maceración y filtración. Asimismo, un pH elevado incrementa la probabilidad de contaminación por microorganismos.

Para cervezas tipo lager, el pH fluctúa alrededor de $4,1 \pm 0,2$. Estas cervezas, elaboradas con una mayor proporción de malta respecto a adjuntos, presentan un pH más elevado que aquellas producidas únicamente con malta. El pH también depende del tipo de agua y de su tratamiento con ácidos y/o sales de calcio (Swistowicz, 1977).

1.12.5. Turbidez

Cuando existe una proporción equivalente entre los puentes de unión de los polifenoles y los sitios de anclaje de las proteínas, se forman complejos proteína–polifenol de mayor tamaño y, en consecuencia, se genera una mayor cantidad de sedimento. Por el contrario, cuando la concentración de proteínas es baja, no se establecen suficientes puentes de unión entre proteínas y polifenoles, lo que da lugar a complejos de menor tamaño y, por ende, no se evidencia turbidez (Siebert, 1999).

De acuerdo con Meilgaard (1977), la turbidez de la cerveza suele presentar un valor promedio cercano a 20 NTU, aunque puede variar entre 10 y 50 NTU. En algunos casos, esta medida también se expresa como un nivel inferior a 0,5 °EBC en el producto final.

1.12.6. Amargor

En la determinación del amargor se mide la cantidad de ácidos alfa extraídos del lúpulo y transformados en sustancias amargas solubles durante la ebullición del mosto en el estanque de cocción. El lúpulo confiere el sabor amargo característico de la cerveza debido a su contenido de aceites esenciales y resinas amargas (Swistowicz, 1977).

Según Huxley (2011) los niveles típicos de IBU, donde un rango bajo de 5-15 IBU para estilos como la American Lager y rango alto como 20-40 IBU Pale Ale Americana y Según Meilgaard (1977), para la cerveza tipo Lager el margen de °BU se encuentra entre 15 y 20. Cardenas, (2003), afirma que el °IBU varía de 10 a 60 según el tipo de cerveza y el lugar donde se produce.

1.13. Evaluación sensorial de la cerveza

La evaluación sensorial constituye un recurso esencial para determinar la aceptación y las características organolépticas de la cerveza, ya que permite identificar aquellas propiedades percibidas tanto por los consumidores como por paneles entrenados. La degustación de la cerveza forma parte del análisis sensorial, el cual comprende un conjunto de métodos y técnicas que facilitan la percepción, identificación y valoración de las propiedades organolépticas a través de los sentidos (Inaraja & Soriano, 2010).

1.13.1. Descripción de los atributos por el sentido de la vista

Según Inaraja y Soriano (2010) se define los siguientes atributos sobre vaso:

- **El color:** Blanco, Amarillo, Dorado, Rojizo, Caramelo, Negro.
- **Transparencia.** – Intenso, brillante, mate, cobrizo, tostado, profundo, claro, ligeramente velado, turbio, o marfil, regaliz, pajizo, ámbar, etc.
- **Vivacidad de la cerveza.** Capacidad de desprendimiento del gas disuelto en la cerveza, dos extremos opuestos serían una cerveza pale ale con poco gas y que se puede beber a grandes sorbos y una cerveza de trigo con gran cantidad de gas continuamente intentando escapar.

1.13.2. Descripción de atributos a través del olfato

Según Inaraja y Soriano (2010) en esta etapa se valoran los aromas provenientes del lúpulo, las maltas y la fermentación:

- **Aroma del lúpulo:** El perfil aromático del lúpulo es amplio y puede presentar notas herbales, florales, terrosas, resinosas o combinaciones de estos matices. Esta diversidad se debe a la amplia variedad de lúpulos disponibles: algunos se caracterizan por su elevada capacidad para aportar amargor, aunque con escasa contribución aromática, mientras que otros son altamente aromáticos y suelen proporcionar un menor nivel de amargor. Asimismo, en la elaboración de cerveza es común emplear distintas variedades de lúpulo en una misma formulación, lo que incrementa aún más la complejidad y diversidad aromática que este ingrediente puede aportar a la cerveza.

- **Aroma a malta:** Los aromas asociados a malta suelen recordar al cereal, especialmente en cervezas elaboradas íntegramente con malta Pilsen o en aquellas que contienen una alta proporción de trigo. Cuando en la formulación se incorporan maltas con un mayor grado de tostado, pueden desarrollarse notas aromáticas como caramelo, chocolate o regaliz, dependiendo tanto del tipo de malta empleada como de la intensidad del tostado.

1.13.3. Descripción de atributos por el sentido del gusto

Esta etapa constituye la fase más compleja del análisis sensorial, ya que los receptores del sabor ácido se localizan principalmente en los laterales de la lengua, el dulzor se percibe en la parte anterior y el amargor en la región posterior de la lengua (Inaraja & Soriano, 2010).

- **Gusto a malta:** El sabor aportado por la malta suele evocar notas similares al pan o a galletas recién horneadas, especialmente en cervezas elaboradas exclusivamente con malta o que incluyen trigo malteado. Cuando se emplean maltas con distintos niveles de tostado, pueden desarrollarse sabores a caramelo en niveles de tostado bajos y, con tostados más intensos, matices a chocolate. Asimismo, la incorporación de cebada tostada puede dar lugar a notas características de regaliz.
- **Gusto a lúpulo:** Se percibe inicialmente a través de su intensidad, la cual puede variar ampliamente. En cervezas con un nivel elevado de amargor, este puede dominar las papilas gustativas y ocultar otros matices del perfil sensorial. Por el contrario, cuando el amargor es bajo, el gusto lupulado casi no se detecta, permitiendo que sobresalgan los azúcares residuales y dando lugar a una cerveza con carácter más dulce.

La evaluación sensorial está constituida por dos procesos definidos según su función: el análisis sensorial y el análisis estadístico. Mediante el primero se obtiene las apreciaciones de los atributos por parte de los jueces a manera de datos en la ficha de evaluación sensorial, que serán posteriormente transformados y valorados por el segundo, dándoles con ello la objetividad deseada. Los resultados obtenidos en esta fase se analizan estadísticamente mediante ANOVA y pruebas post hoc (Tukey), a fin de identificar diferencias significativas entre tratamiento (Habschied et al., 2022).

1.14. Optimización de procesos.

La optimización se refiere al hallazgo de las condiciones bajo las cuales se obtiene la mejor respuesta al finalizar proceso (Vera et al., 2014).

1.14.1. Metodología de superficie de respuesta

La elección del tipo de diseño experimental a emplear se basa en las metas que se persiguen, como realizar una comparativa entre las variables, evidenciar los efectos primarios de un procedimiento, identificar los ajustes ideales del proceso, o la mejora de resultados cuando se presentan factores combinados (NIST, 2013).

A fin de determinar las condiciones de operación óptimas del sistema se puede emplear la metodología de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés). Esta metodología es una colección de técnicas estadísticas y matemáticas, así como una popular técnica dentro del ámbito del diseño de experimentos para optimizar, desarrollar y mejorar experimentos. Esto gracias a que es adaptable al optimizar diferentes tipos de procesos (Kazemian et al, 2021).

Esta metodología consiste en realizar un análisis estadístico de regresión para conseguir un modelo óptimo. Así, la RSM puede modelar la respuesta en términos de los parámetros significantes, sus interacciones y términos cuadráticos. Al utilizar esta metodología la ambigüedad es reducida, ya que ayuda a realizar la toma de decisiones bajo ciertas condiciones (Gopalakannan y Senthilvelan, 2013).

Para aplicar la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) es indispensable seleccionar un diseño experimental adecuado. La elección del diseño depende de la naturaleza del fenómeno que se desea estudiar. Cuando el propósito es caracterizar la superficie de respuesta considerando entre dos y cuatro factores, se suelen emplear diseños como el central compuesto o el Box-Behnken (NIST, 2013). Estos diseños permiten establecer los tratamientos necesarios para obtener los datos que posteriormente serán utilizados en el ajuste y análisis del modelo. Una vez ejecutado el diseño experimental, se recurre al análisis de varianza (ANOVA) para determinar cuáles parámetros del proceso ejercen un efecto significativo sobre la variable de estudio. Para realizar predicciones de la respuesta a partir de las variables de entrada, se ajusta un modelo de regresión polinomial de segundo orden.

Así, la RSM posibilita estimar y describir la influencia de los factores sobre la respuesta (Chelladurai et al., 2020; Montgomery, 2004).

1.14.2. Diseños de superficie de respuesta

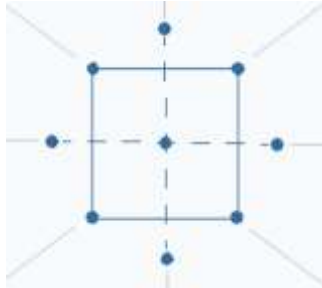
Los diseños de superficie de respuesta comprenden aquellos esquemas experimentales utilizados cuando se busca ajustar un modelo que permita representar el comportamiento de la superficie de respuesta. Este tipo de diseños ofrece el conjunto de corridas experimentales necesarias para construir el modelo que describirá la variable de interés (Gutiérrez y de la Vara Salazar, 2012).

1.14.3. Diseño central compuesto

El modelo de diseño central compuesto se utiliza frecuentemente junto con la superficie de respuesta, debido a su capacidad para reducir errores en las combinaciones experimentales y su eficaz representación de funciones de respuesta complejas (Zbair et al, 2018). Este diseño es el más utilizado e importante para ajustar modelos de segundo orden (Figura 5). El CCD consiste en N experimentos distribuidos en n_F experimentos de dos niveles factoriales, 2^k experimentos de diseño axial (puntos de estrella) y n_C puntos centrales. Estos patrones inician con un diseño factorial o una factorial fraccionada que incluye puntos centrales, ampliado con una serie de puntos axiales o de estrella, que permiten calcular la curvatura. Sin importar la cantidad de factores a considerar, todos deben ser examinados en cinco niveles distintos (Mousavi et al, 2018). Generalmente se utiliza la codificación de factores, ya que facilita los cálculos, estandariza las variables eliminando sus unidades de medida originales, e incrementa la precisión al momento de estimar los coeficientes del modelo (Jiménez, 2015).

Figura 5

Diseño central compuesto



Nota: Minitab, 2019.

A continuación, se enlistan las ventajas que posee el diseño central compuesto (Kenawy et al. 2019):

- Precisión experimental: estima eficientemente los términos de primer y segundo orden.
- Mínimo de ensayos experimentales requerido: permite ajustar la superficie de respuesta teniendo un bajo número de experimentos.
- La información obtenida es útil para realizar el ajuste.
- Permite ampliar experimentos factoriales

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de la escuela de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

2.2. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es aplicativo porque ya que se busca resolver el problema: en este caso fue mejorar la calidad de la cerveza de maíz, a través del uso de las dosis de lúpulo, ácido tánico y bentonita.

El nivel de investigación es explicativo, lo cual implica que se investigó las relaciones causales entre variables y su efecto sobre la calidad de la cerveza de maíz.

2.3. Población y muestra

Población: Mosto dulce obtenido a partir de la malta de maíz morocho.

Muestra: se tomó 30 L como muestra para realizar las evaluaciones y análisis de acuerdo con los 16 tratamientos del diseño experimental utilizado.

2.4. Materiales

2.4.1. Materia prima e insumos

- Agua purificada

- Bentonita Sólido en polvo granular de color beige.
- Levadura Saflager S-23 (*Saccharomyces pastorianus*)
- Lúpulo Cascade
- Maíz morocho
- Metabisulfito de Sodio
- Tanino (Acido Tánico)

2.4.2. Materiales

- Alcoholímetro 00 GL a 100° GL a temperatura de 20° C
- Colador
- Densímetro
- Fiolas de 50 ml y 100 ml
- Gradillas para tubos.
- Jarra medidora
- Matraz de Erlenmeyer con tapa de 250 mL
- Probetas de vidrio de 50 ml, 100 ml y 250 ml
- Refractómetro manual (0 – 32 °Brix) a 20 °C ATC
- Termómetro digital (°C, °F)
- Termómetro O- 50 °C.
- Tubos de ensayo.
- Vasos de precipitado de: 50 ml, 100 ml y 250 ml

2.4.3. Equipos

- Balanza analítica: Marca Acculab de 4 decimales
- Cocina eléctrica de inducción: Marca Miray.
- Controlador de temperatura digital: Marca INK BIRD
- Destilador Kjeldahl
- Espectrofotómetro UV marca: Marca Thermo Scientific
- Estufa: Marca Ecocell
- Molino manual: Marca Corona
- Olla de acero inoxidable
- pH-metro: Marca Milwaukee de 0 -14 pH
- Refrigeradora-congeladora
- Turbidímetro: Marca VELP

2.4.4. Reactivos

- Alcohol 90%

- HCl 3N
- Iso-octano (2,4,4 trimetilpentano)
- NaOH 0,1N (hidróxido de sodio)
- Fenolftaleína
- Tintura de Yodo

2.4.5. Software

- Design expert v.11
- Minitab v.22

2.5. Metodología experimental

2.5.1. Descripción del proceso de obtención de malta a partir de maíz morocho

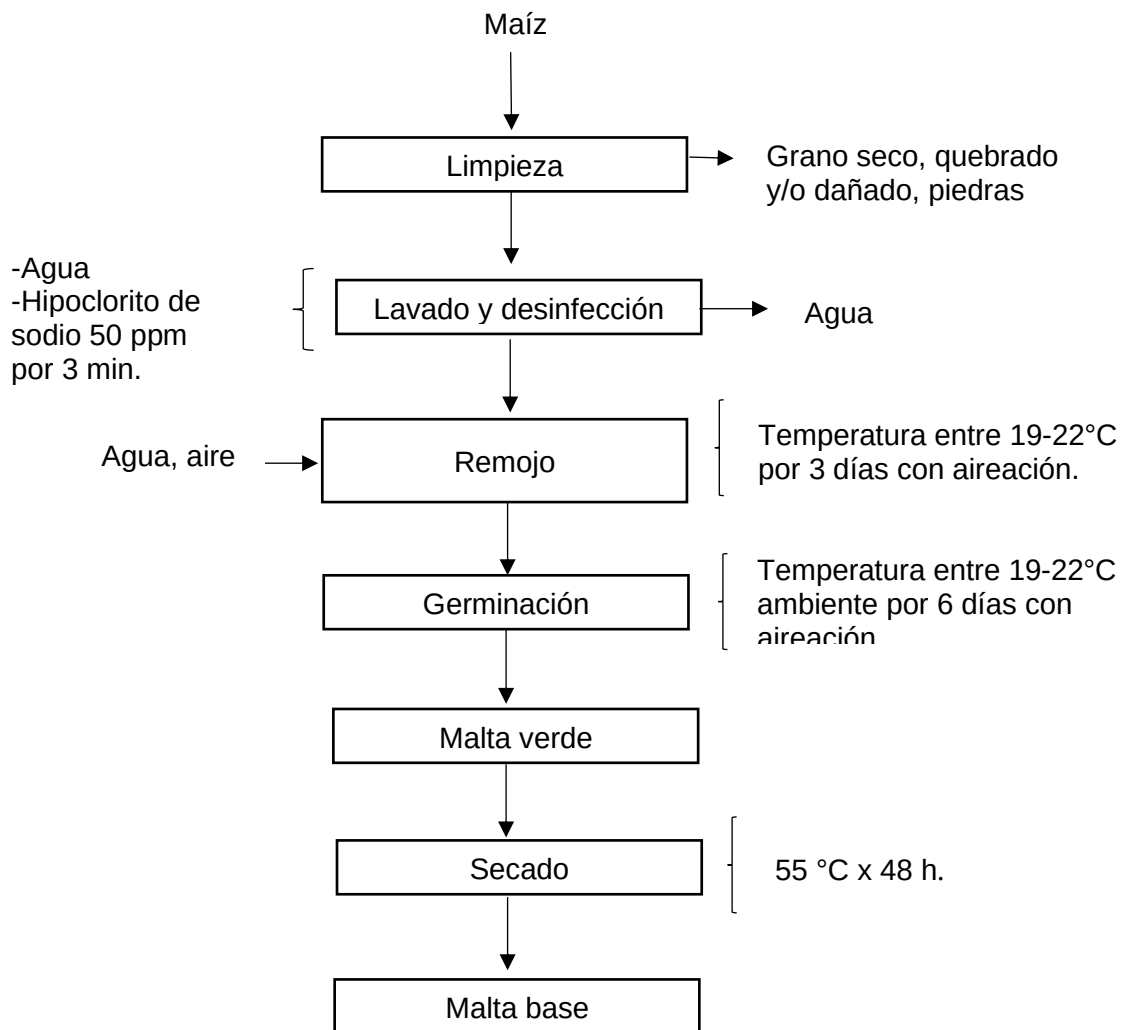
Para el desarrollo de este proyecto se adquirió maíz morocho en el mercado Playa Grau del distrito de Ayacucho.

- Limpieza y selección: Se seleccionó y descartó las materias extrañas y granos dañados,
- Lavado y desinfección: Los granos de maíz se lavaron tres veces para remover la suciedad de los granos, finalmente se procedió a la desinfección con hipoclorito de sodio con una concentración de 50ppm con un tiempo de exposición de 3 minutos.
- Remojo: En un balde los granos de maíz se sumergieron en agua en una proporción de (1:3) por 3 días, con recambios cada ocho horas.
- Germinación: Se tendió los granos hidratados en tarimas para germinar los granos por un periodo de 6 días en los cuales se hidrato, aireo y removió con cuidado los granos de maíz, se controló el crecimiento de la radícula o brote embrionario.
- Secado: para detener la germinación se procedió a secar los granos a 55° C por 48 horas en estufa, para finalizar el proceso de malteado se quitó manualmente las raicillas de los granos secos.

En la figura 6, se aprecia el diagrama de flujo del proceso de obtención de la malta de maíz morocho.

Figura 6

Diagrama de bloque para obtención malta de maíz morocho.



2.5.2. Descripción del proceso de obtención del mosto dulce

Para la obtención del mosto dulce se utilizó la relación de 0,17 kg de malta por litro de agua este se añadió cuando el agua se encontraba a 35°C, de ahí se llevó a 60-63 °C por 30 min, seguidamente se elevó la temperatura a 70 °C por 60 min, en esta etapa de hidrólisis se empleó un regulador de temperatura digital para un mejor control de las temperaturas, luego se procedió a filtrar con un colador y tela poliéster, finalmente se llevó a cabo el lavado de la malta añadiendo agua caliente a 65°C para extraer los azúcares que aún presentes en el bagazo.

Figura 7

Proceso de Obtención de mosto dulce



Nota: Adición del maíz malteado molido al agua (A). Proceso de filtración para la obtención del mosto dulce (B).

2.6. Modelo estadístico

2.6.1. Diseño estadístico (DCCR)

El diseño adoptado en la presente investigación fue de tipo experimental, ya que se realizaron pruebas con diferentes concentraciones, con el objeto de obtener una cerveza de maíz con características adecuadas. Para ello, se empleó el software Design-Expert, con el propósito de evaluar los posibles cambios generados en las variables de respuesta (turbidez, amargor y aceptabilidad).

Se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) para desarrollar un modelo matemático que permitiera interpretar de manera cuantitativa y describir la relación del efecto simultáneo de las concentraciones de lúpulo, ácido tánico y clarificante (bentonita).

- Clase de diseño: Superficie de Respuesta
- Nombre del diseño: Diseño compuesto central
- Características: Rotable

A continuación, en la Tabla 6 se presenta los niveles de 3 factores experimentales (lúpulo, tanino, bentonita), se codificaron en términos de $-\alpha$ -1, 0, 1 y

α para los niveles axial inferior, bajo, intermedio, alto y axial superior respectivamente:

Tabla 6

Niveles de los factores

Factores	Unidades	Niveles codificados				
		$-\alpha$	-1	0	1	α
		Niveles reales				
Lúpulo	g/L	0,9773	2	3,5	5	6,02
Ácido tánico	g/hL	0,61	3	6,5	10	12,37
Bentonita	g/hL	19,55	40	70	100	120,45

Nota: Nivel de significancia $\alpha=0,05$.

En la tabla 7, se presenta las variables respuesta (Turbidez, Amargor y aceptabilidad)

Tabla 7

Respuestas y sus unidades

Respuestas	Unidades
Turbidez	NTU
Amargor	IBU
Aceptabilidad	Puntaje

Teniendo en cuenta los niveles de los factores determinó el número total de tratamientos, mediante la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de tratamientos} = 2^k + 2k + C$$

Donde:

k = número de factores (2)

C = número de tratamientos en el punto central (en este caso, 2)

cómo se observa en la tabla 8, con 3 factores experimentales (lúpulo, tanino, bentonita), 6 puntos axiales y 2 repeticiones en el centro dando un total de 16 corridas.

Tabla 8

Valores codificados y reales de los factores utilizando el Diseño Central Compuesto.

N de Trat.	Valores Codificados			Factores			Respuestas		
				Lúpulo (g/L)	Acido Tánico (g/hL)	Bentonita (g/hL)	Turbidez (NTU)	Amargor (IBU)	Aceptabilidad
1	-1	1	1	2,00	10,00	100,00			
2	0	0	- α	3,50	6,50	19,55			
3	-1	-1	-1	2,00	3,00	40,00			
4	α	0	0	6,02	6,50	70,00			
5	0	0	0	3,50	6,50	70,00			
6	0	0	α	3,50	6,50	120,45			
7	0	0	0	3,50	6,50	70,00			
8	0	- α	0	3,50	0,61	70,00			
9	-1	1	-1	2,00	10,00	40,00			
10	1	-1	1	5,00	3,00	100,00			
11	- α	0	0	0,98	6,50	70,00			
12	1	-1	-1	5,00	3,00	40,00			
13	1	1	1	5,00	10,00	100,00			
14	1	1	-1	5,00	10,00	40,00			
15	-1	-1	1	2,00	3,00	100,00			
16	0	α	0	3,50	12,39	70,00			

Para determinar el mejor tratamiento utilizamos el Diseño Central Rotable el nivel óptimo de cada factor en estudio fue aquel que cumpla con requisitos de calidad para una cerveza.

2.6.2. Descripción del proceso de lupulado y clarificación

A partir del mosto dulce, se continuó siguiendo con el diseño experimental de la tabla 8, aplicando las concentraciones de lúpulo, ácido tánico y bentonita correspondiente a cada tratamiento, para obtener el mosto lupulado y clarificado.

2.6.2.1. Mosto lupulado

El mosto filtrado se procedió llevar a ebullición 92°C por un tiempo total de 15 minutos, se añadió el lúpulo *cascade* con las distintas concentraciones indicadas en la tabla 8, para que la isomerización del alfa ácido produzca el amargor y aromas.

Figura 8

Proceso de lupulado



Nota: Lúpulo Cascade (A). Ebullición del mosto (B).

2.6.2.2. Clarificación con ácido tánico

Al minuto 10 de la ebullición, se incorporó el tanino (ácido tánico) en las diferentes concentraciones indicadas en la Tabla 8. Durante este proceso, se eliminó la espuma generada por la coagulación de proteínas. Posteriormente, el mosto se enfrió rápidamente mediante la inmersión de la olla en agua con hielo. Antes del embotellado, se adicionó metabisulfito al mosto y se procedió a llenar parcialmente botellas esterilizadas de 2 L. Luego, el mosto se dejó clarificar en reposo durante 24 horas en refrigeración a una temperatura de 7 °C. Finalmente, se midió la altura del sedimento formado y el grado de turbidez del mosto.

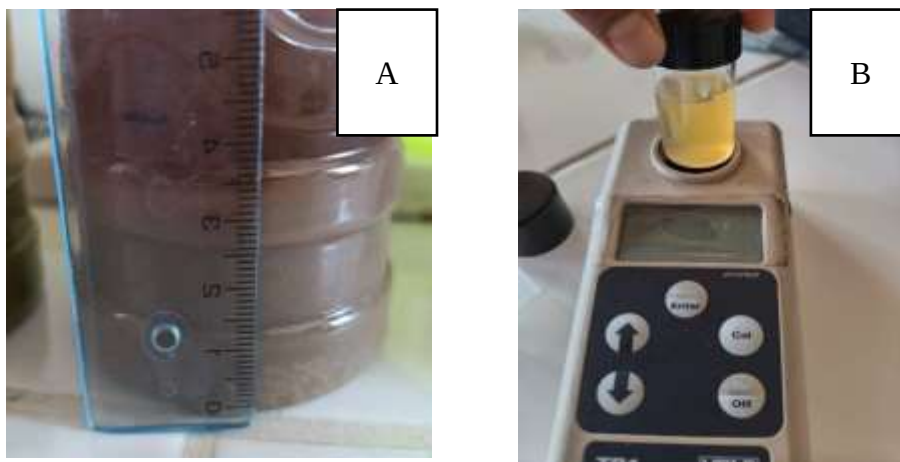
2.6.2.3. Clarificación con bentonita

Para la clarificación con bentonita, se hidrató la cantidad necesaria en un volumen de agua destilada equivalente a diez veces su peso, dejándose en reposo durante 5 horas, debido a que debe hidratarse previamente antes de su incorporación al mosto. Posteriormente, se diluyó con una porción del mosto previamente tratado con ácido tánico, manteniéndose en constante agitación. Finalmente, la solución de bentonita fue mezclada con la totalidad del volumen de mosto, procurando su homogenización; luego, se dejó en reposo en refrigeración durante 24 horas.

Este procedimiento se repitió para cada tratamiento con las diferentes concentraciones mostradas en la Tabla 8. Al finalizar el tiempo de reposo, se registró la altura de los sedimentos formados como resultado de las dosis de los clarificantes correspondientes a cada tratamiento (ácido tánico y bentonita). Finalmente, con la ayuda de un turbidímetro, se determinó el grado de turbidez (NTU) para cada tratamiento.

Figura 9

Clarificación pre-fermentativa



Nota: Altura del sedimento (cm) (A). Medición de la turbidez del mosto(B).

2.6.3. Fermentación

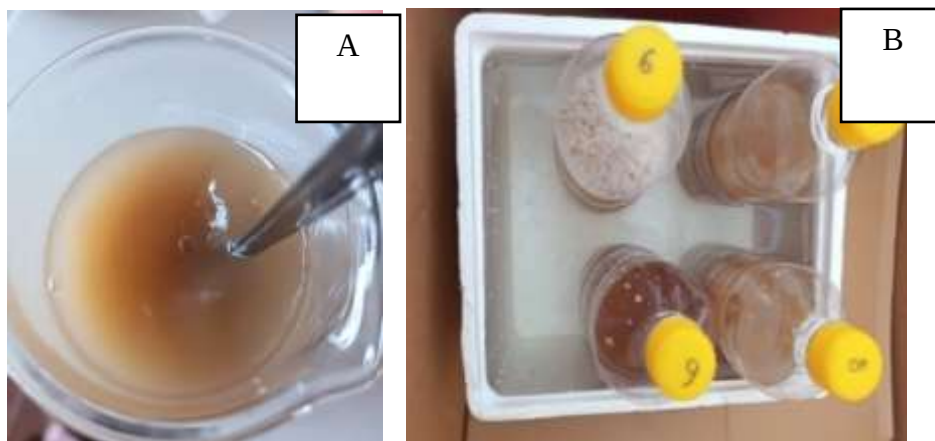
Inmediatamente después de la clarificación de los mostos, el sedimento sólido fue separado mediante trasiego. Posteriormente, se procedió a la inoculación utilizando levaduras seleccionadas de *Saccharomyces pastorianus*. La dosis empleada fue de 1 g/L; la levadura fue previamente hidratada según las

recomendaciones del fabricante. Para ello, se espolvoreó en una porción de mosto hervido y lupulado (20 mL), a una temperatura entre 15 y 25 °C. Se dejó reposar durante 15 a 30 minutos, se agitó suavemente y, finalmente, se incorporó al recipiente de fermentación para mezclarse con el resto del mosto clarificado.

La fermentación se llevó a cabo de manera lenta a bajas temperaturas (12–18 °C). Para ello, los mostos clarificados fueron sometidos a un baño maría invertido. Con el fin de asegurar el rango de temperatura, esta se controló tres veces al día, realizando el cambio de agua helada. La fermentación finalizó a los 12 días; al tratarse de una fermentación tipo lager e isobárica, se controló la temperatura de fermentación y se realizó la desgasificación (CO₂) de las botellas en las que se llevó a cabo el proceso.

Figura 10

Fermentación isobárica en baño maría invertido

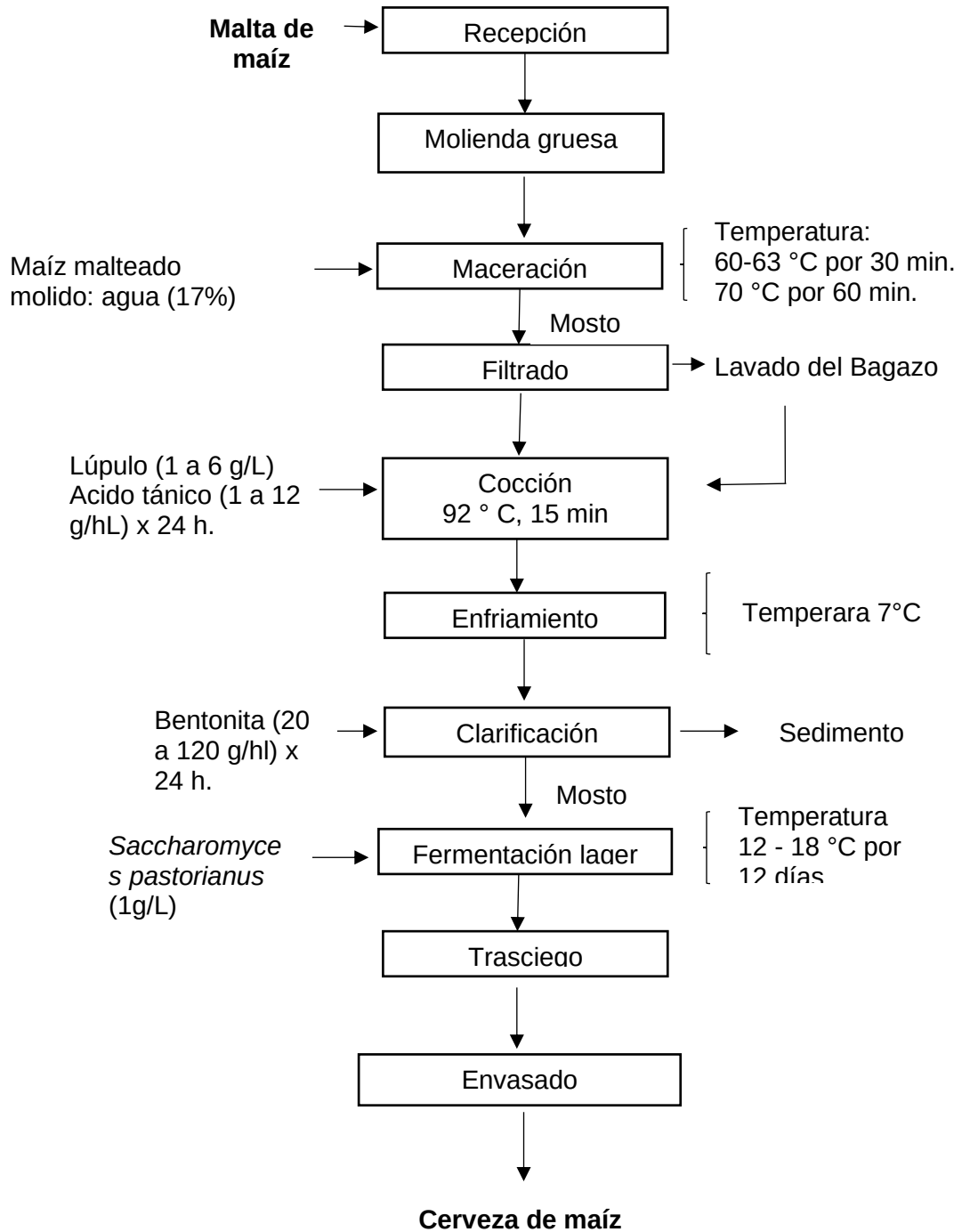


Nota: Hidratación previa de la levadura (A). Fermentación en baño maría invertida (B).

En la figura 11, se aprecia el diagrama de flujo del proceso de elaboración de la cerveza de maíz a partir del mosto clarificado.

Figura 11

Diagrama de bloque para obtención cerveza de maíz.



2.7. Análisis fisicoquímicos

2.7.1. Determinación de densidad

El método para la determinación de la densidad será el método del aerómetro, para lo cual se toma 250 mL de muestra en una probeta, posterior a este pase se coloca el densímetro, y se midió la densidad del mosto dulce, del mosto clarificado y en la cerveza, esto por triplicado.

2.7.2. Determinación de Grados Brix

Se hizo mediante el uso de refractómetro manual de 0- 36 °Brix, con lectura directa. Para ello se dejó caer 3 a 4 gotas de la muestra en el prisma limpio del refractómetro luego se apuntó hacia una fuente de luz, para la lectura se vio a través del ocular y buscando la línea límite entre la zona clara y oscura en la escala para obtener los grados Brix. Esta medición se tomó del mosto dulce, del mosto clarificado y en la cerveza, esto por triplicado.

2.7.3. Determinación de pH

Para medir la concentración de iones de hidrógeno, se calibró el pH utilizando dos soluciones tampón con pH de 7 y 4. Después de llevar a cabo la calibración, se sumergió el pHmetro en 25 mL se efectuó la medición del pH antes y después de la fermentación de muestras de cerveza desgasificada en un vaso de precipitados y se tomó la lectura una vez que la pantalla digital se estabilizó, esto por triplicado.

2.7.4. Determinación de turbidez

2.7.5.

La determinación de turbidez se realizó mediante la utilización de un turbidímetro. Si la muestra contiene CO₂ primero se desgasificó de forma manual, mediante agitación, luego se llenó la botella del turbidímetro con la muestra a 20°C, finalmente se procedió a medir su turbidez oprimiendo el botón “start” del equipo hasta obtener una lectura.

Se tomo nota del grado de turbidez (NTU) obtenidos en los mostos clarificado en las dos etapas, primero después de 24 horas de la acción del ácido tánico, segunda medición luego de 48 horas de la acción clarificante (bentonita) y finalmente después de la fermentación, estas mediciones se hicieron por triplicado.

2.7.6. Determinación de amargor en cerveza.

El espectrofotómetro fue activado media hora antes de realizar la evaluación del amargor. El CO₂ en exceso fue eliminado mediante la agitación manual de 200 mL de cerveza; inicialmente, se agitó con suavidad y luego de manera más intensa, hasta que no se observó liberación de gas.

Posteriormente, se tomaron 5 mL de cerveza desgasificada y se colocaron en un tubo de centrífuga, mezclándose con 10 mL de iso-octano en un medio acidificado con 0,5 mL de HCl 3 N. Luego, la mezcla fue centrifugada a 3500 rpm durante 10 minutos.

A continuación, se retiró la fase superior y se midió la absorbancia a 275 nm, utilizando iso-octano como blanco. Del mismo modo, la muestra fue analizada a dicha longitud de onda empleando celdas. Esta medición se realizó por triplicado, y el nivel de amargor se expresó en BU, utilizando la fórmula indicada.

$$AMARGOR (BU) = A_{275} \times 50$$

Donde: A₂₇₅ = valor de absorbancia a 275 nm tomando como referencia al iso-octano. Los resultados se reportan como valor de IBU con el número entero más cercano posible.

2.7.7. Determinación del grado alcohólico en cerveza.

Finalizado el proceso de fermentación, se determinaron los niveles de alcohol en la muestra. Para ello, previamente se eliminó el CO₂ de la cerveza de manera manual. En una fiola de 200 mL, se enrasó la cerveza de maíz y se trasladó al equipo de destilación. Se recolectaron 180 mL de destilado, los cuales se completaron hasta 200 mL con agua destilada. Posteriormente, el grado alcohólico fue determinado utilizando un alcoholímetro de Gay-Lussac a 15 °C. Este dispositivo se introdujo en una probeta de 100 mL que contenía la muestra y, una vez estabilizado, se realizó la lectura. Esta medición se efectuó por triplicado.

2.7.8. Determinación de color en cerveza NTP 213.027 (INACAL, 2016)

El espectrofotómetro fue activado media hora antes de realizar la prueba de color. Asimismo, el CO₂ sobrante fue eliminado mediante la agitación manual de 200 mL de cerveza a 20 °C; inicialmente, se agitó suavemente y luego se intensificó la agitación hasta que no se observó liberación de gas.

Las muestras fueron colocadas en celdas del espectrofotómetro; en el caso de muestras turbias, estas fueron filtradas mediante papel de filtro en un embudo de vidrio hacia otro matraz. Posteriormente, la medición se realizó a una longitud de onda de 430 nm, utilizando agua destilada como blanco. Finalmente, se registró el valor de la absorbancia y esta medición se efectuó por triplicado. El color en EBC se determinó conforme a la ecuación indicada.

$$COLOR \text{ (unidades EBC)} = A_{430} \times 25$$

Donde: A₄₃₀ = valor de absorbancia medida a 430 nm

2.7.9. Determinación de acidez total

La acidez total fue determinada al finalizar la fermentación. Para ello, se preparó una muestra en un matraz, mezclando 5 mL de muestra con 100 mL de agua destilada, a la cual se le añadieron unas gotas de fenolftaleína como indicador. Posteriormente, se procedió a la valoración con una solución de NaOH hasta observar el cambio de color, registrándose el volumen de gasto. Esta medición se efectuó por triplicado; finalmente, se realizó el cálculo mediante la siguiente fórmula.

$$\%AT = \frac{N * VG * 0.075 * 100}{VM}$$

Donde:

- % AT: Porcentaje de acidez total expresado en ácido tartárico
- N: Normalidad de la solución de NaOH
- VG: Volumen de gasto de NaOH (ml)
- VM: Volumen de muestra (ml)

2.8. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo en los 16 tratamientos experimentales. Para ello, se contó con la participación de 10 panelistas, previamente familiarizados con la evaluación de bebidas fermentadas.

Las muestras de cerveza fueron codificadas y presentadas en vasos transparentes de acrílico, a una temperatura aproximada de 7 °C. La evaluación se realizó en un ambiente adecuado, con iluminación blanca y libre de olores que pudieran interferir en la percepción sensorial. Asimismo, entre la evaluación de cada muestra, se proporcionó agua a los panelistas para el enjuague bucal.

Se empleó una ficha de evaluación sensorial (Anexo E), utilizando una escala de intensidad de 1 a 5, donde 1 correspondió a baja intensidad y 5 a alta intensidad de cada atributo evaluado de las tres fases:

- fase visual, en la que se evaluaron los atributos de transparencia y vivacidad
- fase olfativa, en la que se evaluaron los aromas de la malta de maíz y del lúpulo
- fase gustativa, en la que se evaluaron el sabor de la malta de maíz, el sabor del lúpulo y el amargor.

Los hallazgos de la valoración sensorial de los tratamientos, fueron examinados usando el análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para establecer si los tratamientos varían significativamente entre sí y si la respuesta de los panelistas fue reproducible y consistente, para finalizar a través de la prueba de comparación múltiple de Tukey para encontrar los tratamientos que son significativamente diferentes.

CAPITULO IV

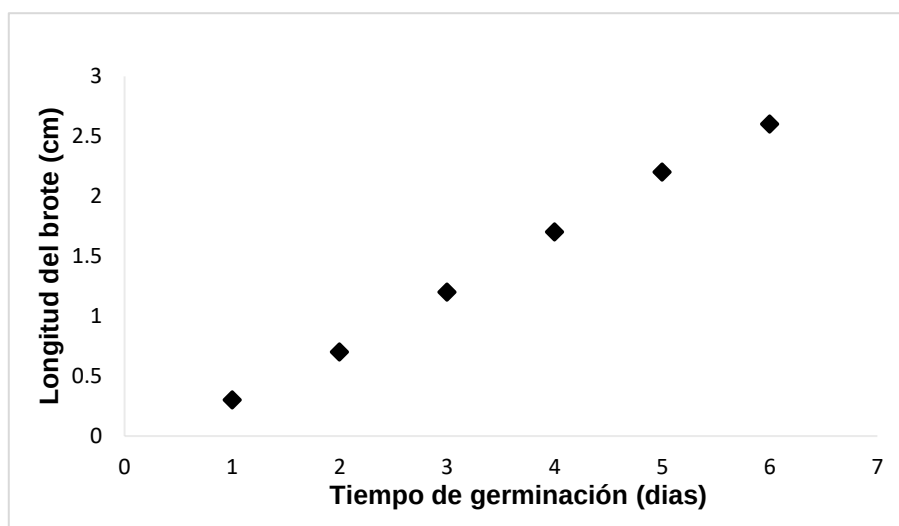
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación del malteado de maíz morocho

Los granos de maíz morocho fueron sometidos al proceso de malteado, para ello se empleó 3 días de remojo y durante la germinación se realizó un control del crecimiento del brote embrionario. Como se observa en la Figura 10, el desarrollo del brote durante los seis días de germinación alcanzó una longitud promedio de 2,6 cm, bajo condiciones ambientales de 19 a 22 °C.

Figura 12

Proceso de malteado del maíz morocho



El tiempo de remojo permitió incrementar progresivamente el contenido de humedad del grano y se logró ablandar la estructura del endospermo favoreciendo la activación metabólica y enzimática necesaria para el inicio de la germinación., facilitando posteriormente la degradación parcial de proteínas y almidones. En la

presente investigación se empleó un tiempo de remojo de 3 días, resultado que coincide con lo reportado por Chaudhary et al. (2014), quienes señalan que el maíz amarillo requiere entre 3 y 4 días de hidratación debido a la dureza de su endospermo. Una hidratación adecuada favorece una germinación homogénea y una modificación eficiente del grano, aspectos que repercuten directamente en la calidad tecnológica de la malta y en la disponibilidad de compuestos fermentables para la elaboración cervecera.

La temperatura de germinación utilizada (19-22 °C) fue superior a la reportada por Rojas y Valle (2023), quienes determinaron condiciones óptimas para maíz amarillo a 15 °C durante 6 días, obteniendo una malta con Índice de Kolbach de 22,57 %, viscosidad de 1,3021 mPa·s, 7,40 °Brix, pH 5,57 y rendimiento de 39,65 %. Estas diferencias evidencian que la temperatura influye significativamente en la actividad enzimática y en el grado de modificación del grano. Según Chaudhary et al. (2014), temperaturas moderadamente elevadas favorecen la actividad de enzimas amilolíticas y proteolíticas responsables de la degradación de almidones y proteínas; sin embargo, temperaturas excesivas pueden generar pérdidas de materia seca. Por ello, el control adecuado de la temperatura resulta fundamental para optimizar el rendimiento y la estabilidad de la malta destinada a procesos cerveceros.

Asimismo, el tiempo de malteado empleado fue de 6 días, coincidiendo con lo reportado por Rojas y Valle (2023), quienes obtuvieron resultados favorables utilizando maíz morocho bajo condiciones similares, ya que un periodo superior puede reducir el rendimiento final debido al consumo de reservas del grano durante la respiración y el crecimiento del embrión, disminuyendo la disponibilidad de almidones fermentables (Hernández et al., 2021). Una vez alcanzado el grado de modificación deseado al sexto día, el proceso de germinación se detuvo mediante secado a 55 °C por dos días (Iwouno y Ojukwu, 2012). Este tratamiento evitó el deterioro microbiológico y preservando la estabilidad de las enzimas desarrolladas durante la germinación.

El adecuado control del tiempo temperatura de malteado y secado contribuye a la obtención de maltas con mejores niveles de enzimas diastáticas, mayor estabilidad durante el almacenamiento y un mejor rendimiento de extracto, características esenciales para optimizar la eficiencia del proceso cervecero (Chaudhary et al., 2014).

3.1.1. Análisis de densidad (g/mL) y °Brix del mosto dulce

En la Tabla 9 se muestran los valores de densidad y °Brix del mosto dulce, así como el correspondiente alcohol potencial determinado según la tabla de referencia Laffort el cual se aprecia en el Anexo O. La densidad de los mostos presentó valores entre 1,056 y 1,058 g/mL, y los valores de °Brix oscilaron entre 14,60 y 15,00 con variaciones mínimas entre tratamientos esto debido a que las condiciones de maceración fueron iguales para todos los tratamientos y por ello la similitud en los valores de densidad y °Brix entre los tratamientos.

Tabla 9

Valores de densidad (g/mL) y °Brix en el mosto obtenido

Tratamientos	Valores obtenidos		Valores teóricos según la Tabla Laffort	
	Densidad (g/mL)	°Brix	°Brix Teórico	Alcohol potencial
T1, T6, T12 y T14	1,056	14,60	13,80	7,50
T5, T2, T9 y T13	1,057	15,00	14,00	7,66
T3, T7, T8 y T16	1,058	14,63	14,20	7,79
T4, T10, T11 y T15	1,058	14,63	14,20	7,79

Los valores de densidad obtenidos para el mosto dulce se ubicaron dentro de los rangos teóricos establecidos por la guía BJCP (2021), cuyos parámetros para cerveza tipo lager oscilan entre 1,028 y 1,072 g/mL está directamente relacionada con la concentración de sólidos solubles, como maltosa, glucosa y dextrinas, tal como señalaron Krottenthaler et al. (2007). La obtención de valores dentro del rango recomendado indica que las condiciones de maceración permitieron una adecuada conversión de almidones y una eficiente extracción de compuestos fermentables. Alcanzar densidades dentro del rango óptimo es fundamental, ya que influye en la fermentación, la producción de alcohol y las características sensoriales de la cerveza. Estos resultados demuestran que la malta de maíz morocho aportó extracto fermentable adecuado al mosto, para elaborar cerveza tipo lager.

Por otro lado, los valores de sólidos solubles oscilaron entre 14,60 y 15,00 °Brix, mostrando diferencias respecto a los valores teóricos establecidos en la tabla de correspondencia Laffort del Anexo O. Este comportamiento puede atribuirse a la composición compleja del mosto que según Kader (2008), no solo contiene azúcares fermentables, sino también compuestos solubles como proteínas, aminoácidos,

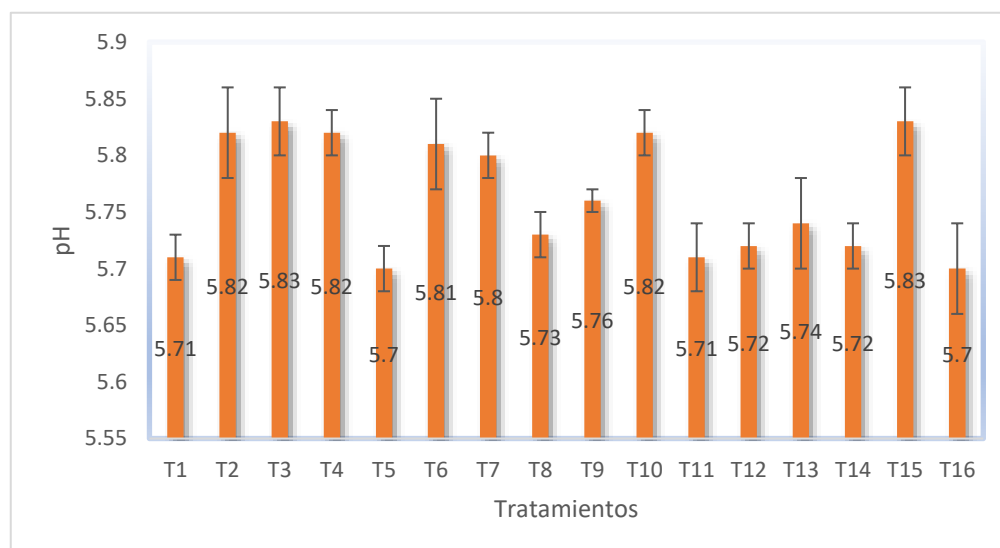
dextrinas y compuestos coloidales que alteran el índice de refracción medido por el refractómetro. Este resultado coincide con lo reportado por Noa (2024), que señala que estos compuestos generan variaciones como el incremento del índice de refracción sin representar necesariamente un aumento proporcional de azúcares fermentables. Estas diferencias son importantes en el control de calidad cervecero, ya que una interpretación inadecuada de los °Brix podría afectar la estimación del contenido de azúcares fermentables y del potencial alcohólico de la cerveza. Por ello, en la industria cervecera es recomendable complementar las mediciones refractométricas con análisis de densidad, con la finalidad de obtener una evaluación más precisa de la composición del mosto y optimizar el rendimiento fermentativo.

3.1.2. Análisis del pH del mosto dulce

Como se observa en la Figura 13, el pH del mosto presentó valores entre 5,7 y 5,8, sin variaciones significativas entre los tratamientos. Esta uniformidad era esperada, ya que todos los mostos fueron elaborados bajo las mismas condiciones de maceración: 60-63 °C durante 30 minutos, seguidos de 70 °C por 60 minutos y empleando agua purificada con pH neutro.

Figura 13

pH del mosto en los tratamientos.



El pH del agua utilizada en este proyecto favoreció el adecuado desarrollo del proceso de maceración, coincidiendo con lo señalado por Castellano (2017), quien indica que el control del pH del agua de macerado y lavado constituye un factor

fundamental para asegurar la estabilidad del proceso cervecero. El manejo adecuado del pH del agua mejora la eficiencia del macerado, el rendimiento del extracto y la calidad final de la cerveza.

El pH registrado en el mosto final se ubicó dentro de los rangos recomendados por Krottenthaler et al. (2007) para el proceso de maceración, favoreciendo la actividad de las enzimas, la α -amilasa presenta una actividad óptima entre 65 y 75 °C y un pH de 5,6 a 5,8, mientras que la β -amilasa actúa favorablemente entre 60 y 65 °C y un pH de 5,4 a 5,6 que son los responsables de la degradación de los componentes del grano. Estas condiciones permiten la hidrólisis de almidones, proteínas y componentes de la pared celular, transformando sustancias insolubles en compuestos solubles que conforman el extracto de malta necesarios para la fermentación alcohólica. Desde una perspectiva tecnológica, el control de estas variables es fundamental para optimizar el rendimiento del mosto, mejorar la eficiencia del proceso cervecero y garantizar la calidad final de la cerveza.

3.2. Clarificación del mosto

3.2.1. Clarificación del mosto con ácido tánico

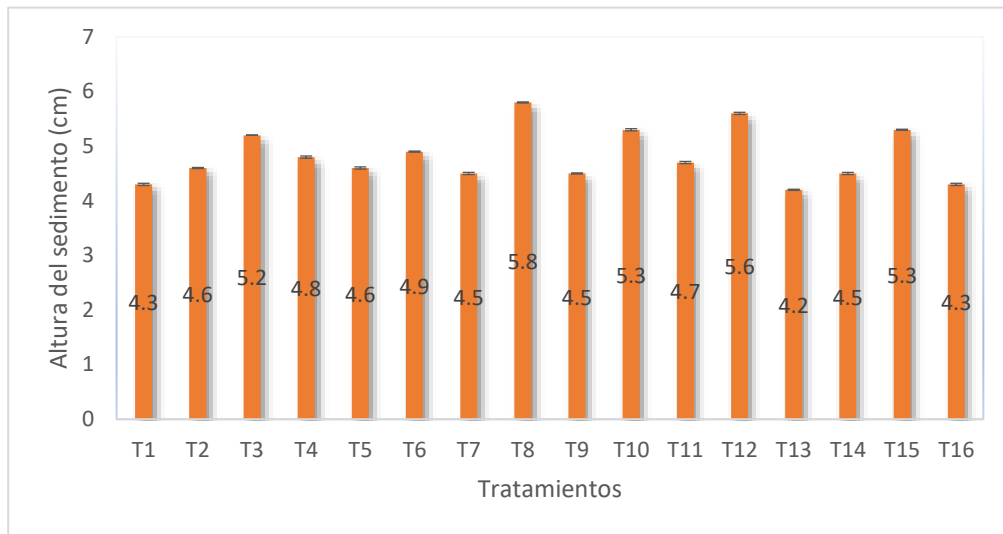
Al finalizar la filtración del mosto dulce se llevó al proceso de clarificación, se llevó a cabo la etapa de la cocción, donde se incorporó la dosis correspondiente de ácido tánico y lúpulo de acuerdo al diseño experimental, luego se dejó en reposo por 24 horas a temperatura de refrigeración, al final se midió la altura del sedimento y turbidez del mosto.

3.2.1.1. Altura (cm) del sedimento

En la Figura 14 se observa la variación en la altura del sedimento formado en los diferentes tratamientos. La clarificación del mosto se inició inmediatamente después de la ebullición, durante la etapa de enfriamiento, fase en la cual comenzaron a formarse partículas de tamaño visible. Tras 24 horas de reposo bajo condiciones de refrigeración, la altura del sedimento obtenido osciló entre 4,2 y 5,8 cm, valores correspondientes al tratamiento 13 (10 g/hL de ácido tánico) y al tratamiento 8 (0,61 g/hL de ácido tánico), respectivamente.

Figura 14

Altura (cm) del sedimento formado por la acción del ácido tánico



Los resultados obtenidos evidencian que la concentración de ácido tánico influyó directamente en la compactación y altura del sedimento formado. El tratamiento 13, con una concentración de 10 g/hL de ácido tánico, presentó una menor altura de sedimento, indicando la formación de un precipitado más compacto y denso concordando por Taylor et al. (2015) quienes demostraron que concentraciones menores a 10 g/hL de ácido tánico reducen significativamente el contenido de proteínas responsables de la turbidez. En contraste, el tratamiento 8, con 0,61 g/hL de ácido tánico, generó un sedimento más disperso y de mayor altura. Esta diferencia se explica con lo señalado por Hidalgo (2003), quien señala que mayores concentraciones de clarificantes favorecen la compactación del sedimento debido a una mayor precipitación de compuestos responsables de la turbidez debido a la interacción del ácido tánico con las proteínas presentes en la cerveza. indican que el ácido tánico forma complejos insolubles mediante la interacción entre los grupos fenólicos del tanino y grupos nucleofílicos (SH y NH₂) de las proteínas, promoviendo su coagulación y sedimentación (Leiper et al., 2003).

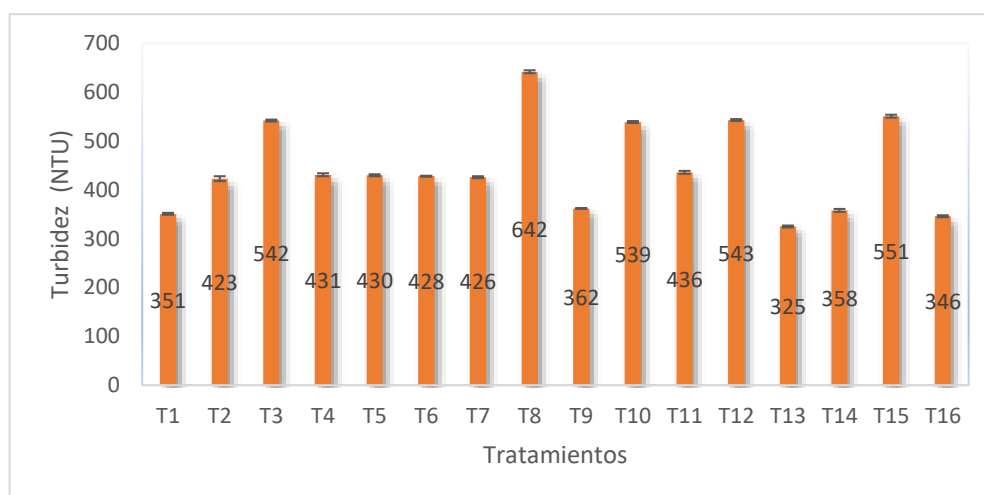
La formación de sedimentos más compactos representa una ventaja en el proceso de clarificación, ya que una menor presencia de proteínas que provocan turbidez contribuye a mejorar la estabilidad y apariencia visual de la cerveza, atributos importantes para su aceptación y conservación durante el almacenamiento.

3.2.1.2. Grados de turbidez (NTU) del mosto

En la Figura 15 se presenta la variación de los valores de turbidez obtenidos en los diferentes tratamientos. Siendo la turbiedad inicial del mosto mayor a 999 NTU y luego de 24 horas de reposo en refrigeración, la turbidez se mantuvo estable, se registró la turbidez entre 325,33 y 642,67 NTU, correspondientes a los tratamientos 13 (10 g/hL de ácido tánico) y 8 (0,61 g/hL de ácido tánico), respectivamente. Estos resultados evidencian que una mayor concentración de ácido tánico se asocia con menores niveles de turbidez en el mosto, mientras que dosis más bajas generan valores de turbidez más elevados.

Figura 15

Grado de Turbidez de los mostos tratados



El efecto de las dosis altas de ácido tánico en la reducción de la turbidez del mosto es evidente, sin embargo, la eficiencia obtenida en el presente estudio fue menor a la reportada por Taylor et al. (2015), quienes lograron reducciones de entre 80 % y 90 % de hordeína en cervezas elaboradas a base de cebada utilizando dosis de 10 a 20 g/hL de ácido tánico. Esta diferencia sugiere que el efecto clarificante del ácido tánico en mostos elaborados con maíz morocho es más limitado, posiblemente debido a las características propias de su composición proteica. En este sentido, Zoecklein et al. (2005) señalan que no todas las proteínas responsables de la turbidez presentan la misma afinidad por los taninos, por lo que su eliminación depende de la naturaleza y estructura de cada proteína.

Los resultados evidencian que el empleo exclusivo de ácido tánico podría no ser suficiente para alcanzar altos niveles de clarificación en mostos de maíz. Por ello,

Hidalgo (2003) recomienda el uso combinado de agentes clarificantes, ya que la acción sinérgica entre ellos permite incrementar la eficiencia del proceso y reducir de manera más efectiva la turbidez final, mejorando la estabilidad y apariencia de la cerveza.

3.2.2. Clarificación del mosto con bentonita

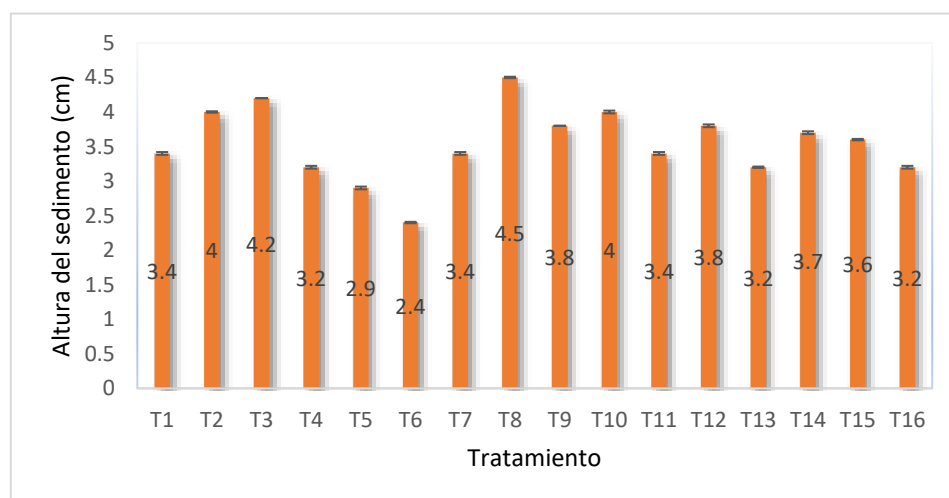
Dado que la turbidez del mosto aún se mantenía alta, se complementó la acción clarificante con bentonita, para ello se incorporó la dosis correspondiente de acuerdo al diseño experimental. Transcurrido el tiempo de reposo en refrigeración (24 h), que permitió la sedimentación, se midió la altura del sedimento y el grado de turbidez del mosto.

3.2.2.1. Altura (cm) del sedimento

En la figura 16 se observa la variación en la altura del sedimento generado a partir de los diferentes tratamientos. La altura del fango registrado fluctuó entre 3,0 y 4,3 cm, correspondientes al tratamiento 6 (120,45 g/hL de bentonita) y a los tratamientos 2 y 9 (19,55 g/hL y 40 g/hL de bentonita), respectivamente. Estos resultados muestran que las mayores dosis de bentonita producen un sedimento más compacto y de menor altura, mientras que las dosis más bajas generan un sedimento más y disperso generando mayor altura de sedimento.

Figura 16

Altura (cm) del sedimento.



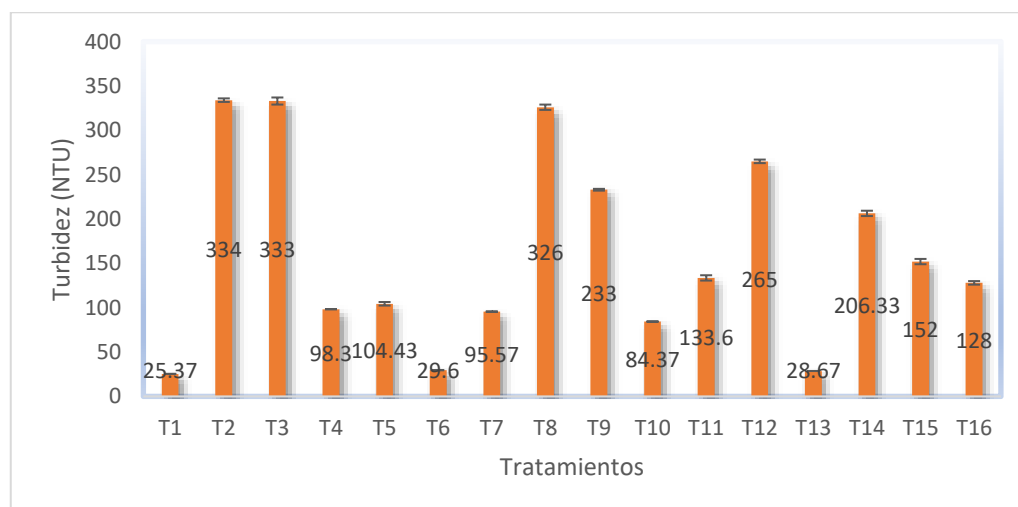
Los resultados obtenidos evidencian que concentraciones elevadas de bentonita (100–120 g/hL) favorecieron la formación de sedimentos más densos y compactos, reflejándose en una menor altura de sedimento. Este comportamiento coincide con lo reportado por Quispe (2009), quien observó una mayor compactación del sedimento al emplear altas dosis de bentonita durante el proceso de clarificación de mosto. Este efecto se puede atribuir a la capacidad adsorbente de la bentonita sobre proteínas en el mosto tal como señalan Lagori et al. (2025) que las proteínas que tienen carga positiva al pH en el mosto, se adsorben en la superficie de la arcilla con carga negativa lo que resulta en adsorción y posterior eliminación. Asimismo, Briggs et al. (2004) indican que este clarificante tiene alta capacidad de remoción de proteínas hidrofílicas precursoras de turbidez.

En la industria cervecera la obtención de sedimentos más compactos facilita la separación de sólidos durante el trasiego y filtración, reduciendo pérdidas de producto y mejorando la claridad de la cerveza.

3.2.2.2. Grados de turbidez (NTU) en el mosto

La Figura 17 muestra que la bentonita tuvo un efecto clarificante significativo sobre el mosto, ya que las dosis altas (100-120 g/hL) redujeron la turbidez hasta valores cercanos a 25,37 NTU, mientras que dosis bajas (19,55 g/hL) resultaron insuficientes, registrándose el mayor valor de turbidez (334 NTU).

Figura 17
Grado de Turbidez de los mostos tratados.



La elevada eficiencia observada con las dosis de bentonita entre 100 y 120 g/hL coincide con lo reportado por Lambri et al. (2012), quienes emplearon 100 g/hL de bentonita en mosto de uva y obtuvieron una reducción de turbidez de 40,3 %. Estos resultados evidencian que concentraciones altas de bentonita favorecen la clarificación al incrementar la floculación y sedimentación de proteínas responsables de la turbidez debido a la alta capacidad adsorbente de la bentonita según Lagori et al. (2025) las proteínas que tienen carga positiva al pH en el mosto, se adsorben en la superficie de la arcilla con carga negativa lo que resulta en adsorción y posterior eliminación. En concordancia con ello, Lambri et al. (2010) reportaron una relación directa entre la dosis de bentonita y la eliminación de proteínas, señalando que mayores concentraciones del clarificante generan una mayor remoción proteica en la matriz tratada.

El uso de dosis elevadas de bentonita mejora la estabilidad coloidal y la limpidez del producto final, facilitando los procesos de sedimentación y filtración, lo cual es muy importante calidad final del producto y la aceptabilidad por parte del consumidor.

3.3. Resultados experimentales del Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR).

La Tabla 10 presenta la distribución de los 16 tratamientos realizados, así como los valores obtenidos para cada una de las variables de respuesta evaluadas: turbidez, amargor y aceptabilidad sensorial general (véase Anexo M). Con el fin de identificar la influencia individual y conjunta de los factores experimentales (turbidez, amargor y aceptabilidad) así como las posibles interacciones entre ellos, se aplicó el análisis estadístico correspondiente mediante un diseño central compuesto, lo que permitió establecer la significancia de los efectos y su contribución a la variabilidad observada en las respuestas.

Tabla 10
Resultados experimentales

St d	N° Trat	Factores			Respuestas		
		Lúpulo (g/L)	Ac. Tánico (g/hL)	Bentonita (g/hL)	Turbidez (NTU)	Amargor (IBU)	Aceptabili dad
14	1	2.00	10.00	100.00	25.37	11.14	2
16	2	3.50	6.50	19.55	334.00	17.07	3
5	3	2.00	3.00	40.00	333.67	9.14	2
3	4	6.02	6.50	70.00	98.30	29.39	3
15	5	3.50	6.50	70.00	104.43	17.05	2
11	6	3.50	6.50	120.45	29.60	17.76	3
2	7	3.50	6.50	70.00	95.57	17.13	4
7	8	3.50	0.61	70.00	326.00	15.07	2
13	9	2.00	10.00	40.00	233.00	12.09	4
12	10	5.00	3.00	100.00	84.37	24.37	3
4	11	0.98	6.50	70.00	133.60	4.59	4
9	12	5.00	3.00	40.00	265.00	24.82	2
10	13	5.00	10.00	100.00	28.67	27.87	3
8	14	5.00	10.00	40.00	206.33	28.31	3
1	15	2.00	3.00	100.00	152.00	8.56	3
6	16	3.50	12.39	70.00	128.00	20.65	3

3.3.1. Análisis de la variable respuesta: turbidez

3.3.1.1. Análisis de varianza

En la Tabla 11, correspondiente al análisis de varianza (ANOVA), se observa que los factores A (dosis de lúpulo), B (dosis de ácido tánico), C (dosis de bentonita), así como los términos cuadráticos BB y CC, presentan valores de p menores a 0,05. Esto indica que dichos efectos son significativamente diferentes de cero al 95 % de confianza y, por lo tanto, ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre el grado de turbidez del mosto. Asimismo, la significancia de los términos cuadráticos respalda la adecuación de un modelo tipo polinómico de segundo orden para describir y predecir el comportamiento de la turbidez en función de los factores evaluados.

Tabla 11

Análisis de la varianza para turbidez- Central compuesto rotatable de 3 factores.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón F	Valor p
A: LUPULO	3511,4406	1	3511,4406	11,0048	0,0161
B: ACIDO TANICO	33329,2593	1	33329,2593	104,4531	< 0,0001
C: BENTONITA	116384,8972	1	116384,8972	364,7473	< 0,0001
AB	1596,4075	1	1596,4075	5,0031	0,0666
AC	120,2025	1	120,2025	0,3767	0,5619
BC	66,0675	1	66,0675	0,2071	0,6651
AA	56,6394	1	56,6394	0,1775	0,6882
BB	16132,0516	1	16132,0516	50,5574	0,0004
CC	6198,7666	1	6198,7666	19,4268	0,0045
Error total	38,3688	1	38,3688		
Total (Cor)	177633,8638	15			

R-cuadrado = 98,92%

R-cuadrado ajustado =97,31%

El coeficiente de determinación (R^2) muestra que el modelo ajustado explica el 97,31 % de la variabilidad observada en el grado de turbidez del mosto clarificado. Este valor, cercano a 1, evidencia una alta capacidad explicativa del modelo y una fuerte correlación entre los valores experimentales y los valores predichos

Con base en los resultados obtenidos, se confirma que existe evidencia estadística suficiente, al 5 % de nivel de significancia, para ajustar un modelo de regresión polinomial. En consecuencia, se presenta la ecuación cuadrática que describe la relación entre la turbidez (Y_1) y las concentraciones de lúpulo (A), ácido tánico (B) y bentonita (C):

$$\text{Turbidez (NTU)} = 101,36 - 16,03 \cdot A - 49,40 \cdot B - 92,32 \cdot C + 14,13 \cdot A \cdot B + 3,88 \cdot A \cdot C - 2,87 \cdot B \cdot C + 2,47 \cdot A^2 + 41,73 B^2 + 25,87 \cdot C^2$$

Donde:

A: concentración de Lúpulo (g/L)

B: dosis de Ácido tánico (g/hL)

C: dosis de Bentonita (g/hL)

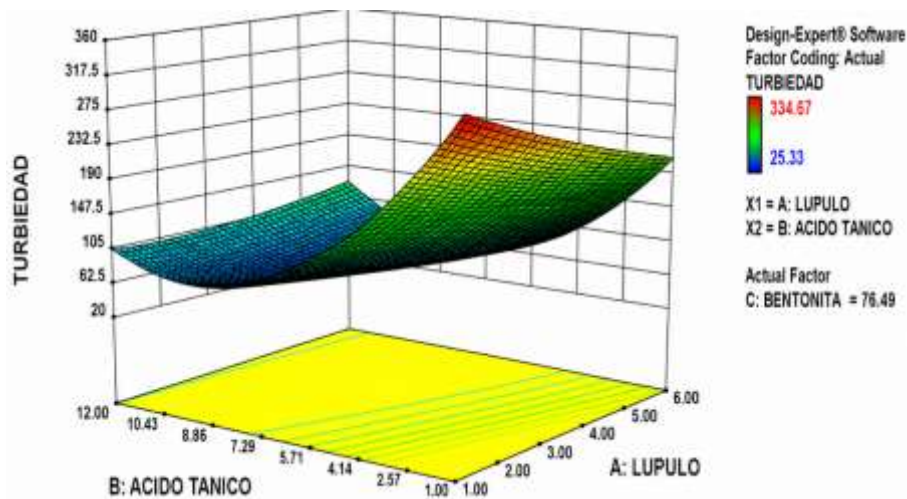
Según la ecuación la variable constante (101,36) no se vio afectada por ninguna variable independiente o combinación de variables. Los coeficientes negativos de los términos lineales indican que si se incrementa la concentración de A, B o C disminuye la turbidez, el efecto combinado AB y AC tienen un efecto combinado positivo, aumentando la turbidez, mientras que el efecto combinado BC tienen un efecto negativo, disminuyendo la turbidez ligeramente y el efecto cuadrático positivo de los coeficientes A^2 , B^2 y C^2 indica que a niveles altos la turbidez vuelva a aumentar. Esto indica que hay un punto óptimo (mínimo) de turbidez respecto a cada factor.

3.3.1.2. Superficie de respuesta estimada

En la figura 18 se muestra la superficie de respuesta del efecto del ácido tánico y lúpulo sobre la turbidez del mosto, esta disminuye inicialmente conforme aumentan las concentraciones de lúpulo (A) en el rango de 3-4 g/L y de ácido tánico (B) entre 7-8 g/hL.

Figura 18

Superficie de respuesta 3D del efecto del lúpulo y ácido tánico sobre la turbidez.



Los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado por Taylor et al. (2015), quienes demostraron que la aplicación de ácido tánico en dosis moderadas (< 10 g/hL) permite reducir significativamente el contenido redujo el nivel de proteínas activas de la turbidez sin afectar la calidad sensorial. En este sentido, las

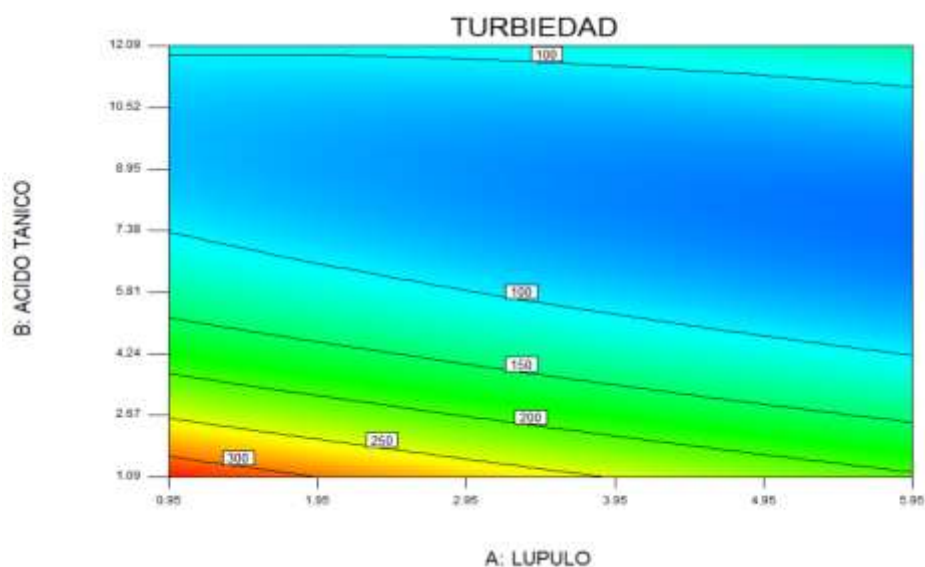
concentraciones evaluadas en el presente estudio (7-8 g/hL) se encuentran dentro de este rango, lo que explicaría la disminución de la turbidez observada. Ya que según He, Shi y Yao (2006) el ácido tánico interactúa de forma más general con las proteínas mediante enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofílicas favoreciendo su coagulación y posterior precipitación, esto mejora la estabilidad del mosto durante el proceso de clarificación. Por otro lado, aunque el lúpulo también contribuye a la clarificación tiene un efecto secundario leve frente al ácido tánico.

La superficie de respuesta evidenció que la optimización del proceso de clarificación depende principalmente del control adecuado de la concentración de ácido tánico ya que las dosis moderadas de ácido tánico representan una alternativa eficiente para mejorar la claridad del mosto sin comprometer las características sensoriales.

La Figura 19 de contorno muestra que la región superior derecha del gráfico, representada por tonalidades azules, corresponde a combinaciones de concentraciones elevadas de lúpulo (4-6 g/L) y ácido tánico (8-12 g/hL). En esta zona se observan los valores mínimos de turbidez, inferiores a 100 NTU. Esto indica que, a medida que aumentan los niveles de ambos factores, la turbidez disminuye.

Figura 19

Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del lúpulo y ácido tánico sobre la turbidez.



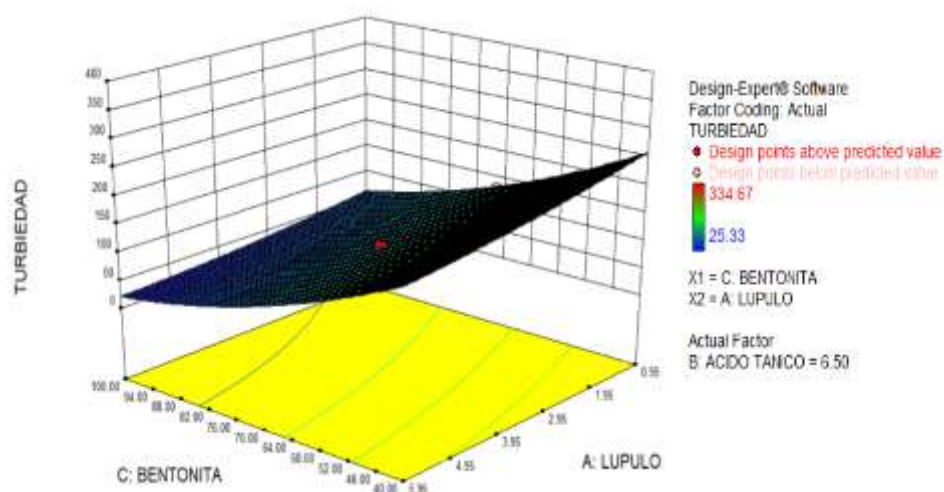
Este comportamiento sugiere la presencia de un efecto combinado que potencia la remoción de proteínas responsables de la turbidez presentes en el mosto, ya que ambos tanto el ácido tánico y el lúpulo están compuestos por polifenoles que favorecería la formación de complejos insolubles proteína-polifenol, promoviendo una mayor coagulación y sedimentación de partículas coloidales (Bamforth, 2006). generando una acción complementaria en la clarificación. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Aleixandre (1999), quien indica que los agentes clarificantes pueden emplearse de manera conjunta, permitiendo mejorar la eficiencia del proceso y acelerar la sedimentación.

El uso combinado de clarificantes representa una alternativa eficiente para optimizar la estabilidad coloidal y mejorar la claridad del mosto, reduciendo el tiempo de sedimentación y favoreciendo procesos posteriores como el trasiego y la filtración.

La Figura 20 muestra la superficie de respuesta del efecto del lúpulo y bentonita sobre la turbidez del mosto, se aprecia que esta disminuye de manera significativa a medida que aumenta la concentración de bentonita, especialmente en el rango de 80-100 g/hL, donde se obtienen valores cercanos a 0-50 NTU. Por otro lado, el incremento en la concentración de lúpulo (4-6 g/L) también contribuye a una ligera reducción de la turbidez

Figura 20

Superficie de respuesta 3D del efecto del lúpulo y bentonita sobre la turbidez.



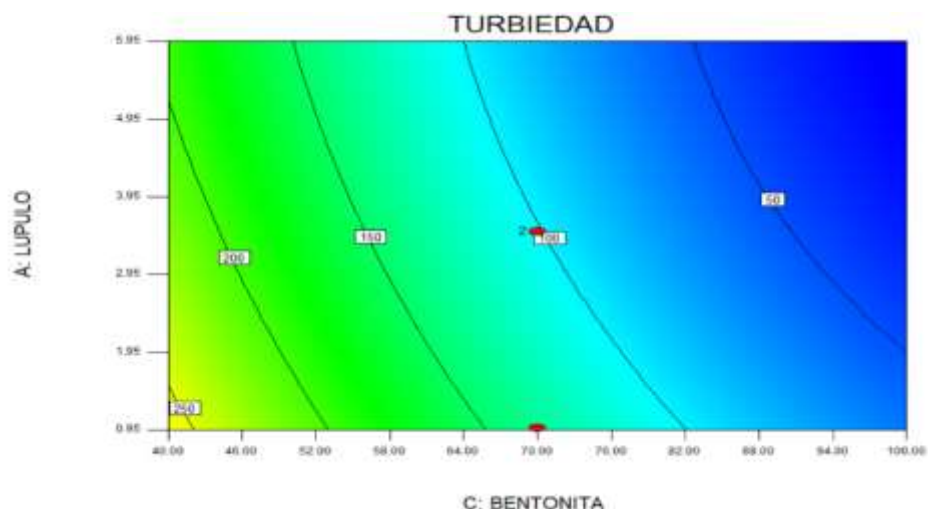
Estos resultados evidencian que la bentonita en dosis de entre 80 a 100 g/hL tiene un efecto más marcado en la reducción de la turbidez en comparación con el lúpulo y esto concuerda con lo reportado por Lambri et al. (2012), quienes demostraron que la aplicación de 100 g/hL de bentonita en mostos constituye uno de los tratamientos más eficientes para reducir el contenido proteico y mejorar la estabilidad coloidal ya que según Lagori et al. (2025) las proteínas que tienen carga positiva al pH en el mosto, se adsorben en la superficie de la arcilla con carga negativa lo que resulta en adsorción y posterior eliminación. Lo que refuerza la validez de la bentonita como un clarificante altamente efectivo y esto debido a sus propiedades de adsorción y coagulación.

El uso de bentonita en concentraciones adecuadas contribuye a mejorar la claridad y estabilidad del producto final, optimizando además los procesos de sedimentación y filtración durante la producción cervecera.

La figura 21 de contorno nos muestra la región superior derecha del gráfico de color azul donde se encuentran los valores mínimos de turbidez (menores a 100 NTU). Que representa concentraciones elevadas de bentonita (82-100 g/hL), lo que disminuye fuertemente la turbidez, manteniendo una concentración de lúpulo (3,5-6 g/L), la interacción entre lúpulo y bentonita favorece la disminución de la turbidez, siendo más efectiva en la región donde la bentonita tiene dosis alta.

Figura 21

Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del lúpulo y bentonita sobre la turbidez.



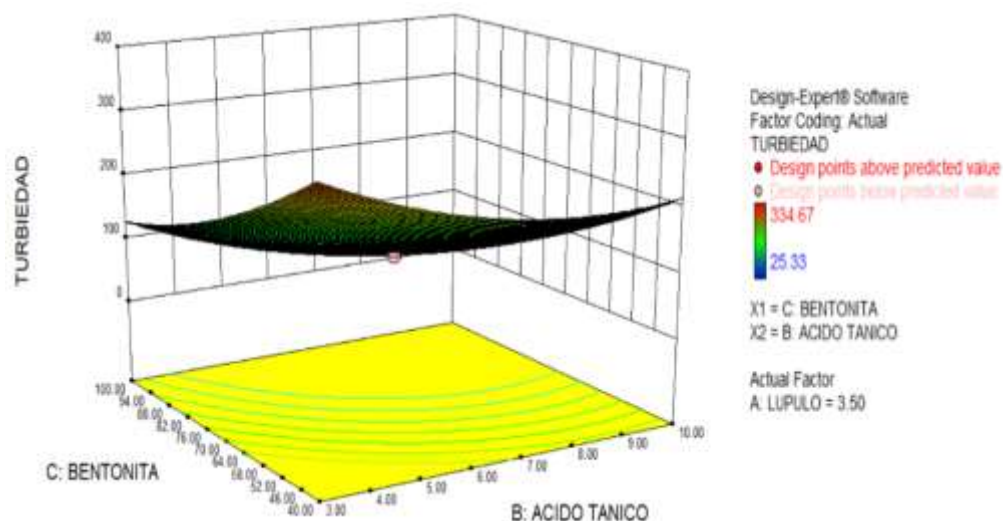
Estos resultados evidencian que el mosto elaborado a partir de malta de maíz morocho requiere altas dosis de bentonita (82-100 g/hL), y que al mantener la dosis de lúpulo constante entre (3,5-6 g/L) logra una reducción significativa de la turbidez. El rango de la dosis de bentonita de la presente investigación coincide con lo reportado por Lambri et al. (2012), quienes demostraron que la aplicación de 100 g/hL de bentonita en mostos constituye uno de los tratamientos más eficientes para reducir el contenido proteico y mejorar la estabilidad coloidal debido a su alta capacidad de absorción y coagulación.

Los resultados del presente estudio confirman que las dosis altas de bentonita son significativamente más eficientes para disminuir la turbidez y mejorar la claridad coloidal del mosto, el empleo de concentraciones adecuadas de bentonita permite optimizar los procesos de clarificación y estabilidad del producto final.

La figura 22 muestra la superficie de respuesta del efecto del ácido tánico y bentonita sobre la turbidez del mosto. Se observa que la turbidez disminuye progresivamente conforme se incrementan las dosis de ácido tánico (7-9 g/hL) y, de manera más marcada, las de bentonita (90-100 g/hL).

Figura 22

Superficie de respuesta 3D del efecto del ácido tánico y bentonita sobre la turbidez



Como muestran los resultados, la bentonita presentó un efecto clarificante más significativo que el ácido tánico. Este comportamiento coincide con lo señalado por Hidalgo (2003), quien destaca que cada clarificante actúa de manera distinta

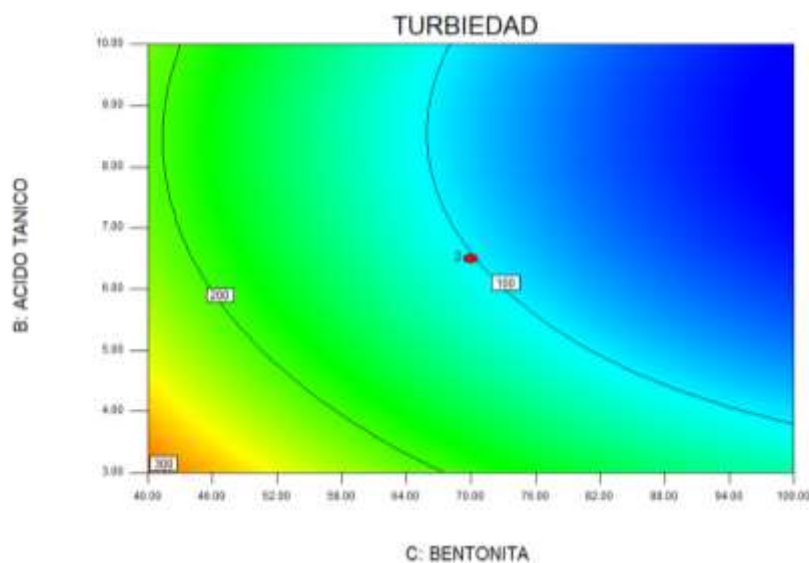
según las características intrínsecas del mosto, particularmente de su composición proteica estructura y la naturaleza de las partículas en suspensión, por lo que su eficiencia no solo depende de la dosis aplicada Lubbers et al. (1996). En este sentido, la efectividad del ácido tánico podría ser menor debido a diferencias en la interacción proteína-polifenol presentes en el mosto de maíz morocho ya que en una matriz proveniente de cebada como reportaron Taylor et al. (2015), demostraron que la cerveza estabilizada con dosis altas de ácido tánico presentó una gran reducción en el contenido de hordeína. Estas diferencias sugieren que la bentonita favorece la adsorción y sedimentación de proteínas promotoras de turbidez con mayor eficacia que el ácido tánico en este tipo de matriz.

La mayor eficiencia de la bentonita representa una ventaja para mejorar la claridad y estabilidad coloidal del mosto, optimizando los procesos de sedimentación y facilitando etapas posteriores como el trasiego.

La Figura 23, permite observar que al incrementar la concentración de bentonita hasta 100 g/hL la turbidez disminuye de manera considerable, lo que se refleja en la zona azul del gráfico. Asimismo, el aumento en la concentración de ácido tánico también contribuye a la reducción de la turbidez, aunque su efecto resulta secundario. En conjunto, el incremento progresivo de las concentraciones de ambos factores permite alcanzar los valores mínimos de turbidez (≤ 100 NTU).

Figura 23

Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del ácido tánico y bentonita



Diversos estudios respaldan el efecto clarificante de la bentonita en mostos con elevada turbidez. En este sentido, Lambri et al. (2012) reportaron que la aplicación de 100 g/hL de bentonita en mostos de uvas Moscatel de Chambave permitió alcanzar una clarificación significativa, equivalente al 40,3 %. De manera complementaria, Marchal et al. (2002) observaron que el tratamiento de mostos destinados a vinos blancos con 60 g/hL de bentonita redujo la turbidez entre un 50 % y 60 % en comparación con muestras sin tratamiento. Estos antecedentes evidencian la alta eficacia de la bentonita en la remoción de proteínas en mostos.

Además, es relevante considerar las características individuales de las proteínas asociadas a la turbidez y la variabilidad en la respuesta a la bentonita está estrechamente relacionada con el peso molecular de las proteínas: proteínas de mayor tamaño entre 40 000 a 100 000 Da requieren concentraciones superiores a 80 g/hL para su eliminación (Hidalgo, 2011). Aunque el uso de bentonita ha sido ampliamente documentado en la industria vitivinícola, los resultados del presente estudio evidencian un comportamiento similar en el mosto elaborado a partir de malta de maíz morocho, observándose una significativa disminución de la turbidez al emplear concentraciones elevadas (100 g/hL). Esto sugiere la presencia de fracciones proteicas de mayor peso molecular en el mosto de maíz morocho.

El efecto del ácido tánico sobre la reducción de la turbidez fue menor a lo reportado en la literatura, posiblemente debido a las características del mosto de malta de maíz morocho, cuya composición proteica y contenido de polifenoles difieren del mosto de cebada tradicional y esto concuerda Zoecklein et al. (2005) que señalan que es relevante considerar las características individuales de las proteínas asociadas a la turbidez en el mosto, ya que no todas se eliminan con la misma eficacia por los diferentes clarificantes.

El uso combinado de dosis moderadas de ácido tánico junto a dosis altas de bentonita representa una alternativa eficiente para optimizar la estabilidad y claridad del mosto, esto posteriormente se traduce en mejores características sensoriales de la cerveza de maíz.

3.3.2. Análisis de la variable respuesta: amargor

3.3.2.1. Análisis de varianza

En la tabla 12 que presenta análisis de varianza muestra que el factor lúpulo fue el más influyente ($p < 0,0001$), seguido por el ácido tánico ($p = 0,0022$), mientras que la bentonita no presentó efecto significativo sobre esta respuesta ($p = 0,8669$). No se encontraron interacciones significativas entre los factores. El término cuadrático del ácido tánico (B^2) resultó significativo ($p = 0,0498$), evidenciando un comportamiento no lineal para este factor. En conjunto, los resultados indican que el amargor está determinado principalmente por la concentración de lúpulo.

Tabla 12

Análisis de la varianza para amargor- Central compuesto rotatable de 3 factores.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A-LUPULO	824,53	1	824,53	252,3	< 0,0001
B-ACIDO TANICO	84,93	1	84,93	25,99	0,0022
C-BENTONITA	0,1	1	0,1	0,031	0,8669
AB	0,27	1	0,27	0,083	0,7834
AC	0,05	1	0,05	0,015	0,9060
BC	0,019	1	0,019	5,82E-03	0,9417
AA	0,17	1	0,17	0,051	0,8284
BB	19,6	1	19,6	6	0,0498
CC	4,44E-04	1	4,44E-04	1,36E-04	0,9911
Error	3,20E-03	1	3,20E-03		
Cor Total	957,21	15			

R-cuadrado = 97,95%

R-cuadrado ajustado =94,88%

El coeficiente de determinación del modelo ($R^2 = 97,95 \%$) indica que la función ajustada explica casi la totalidad de la variabilidad observada en el amargor de la cerveza. Asimismo, el R^2 ajustado (94,88 %) confirma la buena capacidad explicativa del modelo, considerando el número de variables incluidas.

Con base en estos resultados, se puede afirmar que existe suficiente evidencia estadística al 5 % de nivel de significancia para establecer una regresión polinomial ácido tánico (B^2) resultó significativo ($p = 0,0498$). A continuación, se presenta la ecuación cuadrática que expresa la relación entre amargor (Y_2) y la concentración de lúpulo (A), ácido tánico (B) y bentonita (C):

$$\text{AMARGOR} = 17,12 + 7,77 \cdot A + 2,49 \cdot B - 0,086 \cdot C + 0,18 \cdot A \cdot B + 0,079 \cdot A \cdot C - 0,049 \cdot B \cdot C - 0,13 \cdot A^2 + 1,45 \cdot B^2 + 0,00692 \cdot C^2$$

Donde:

A: Lúpulo (g/L)

B: Ácido tánico (g/hL)

C: Bentonita (g/hL)

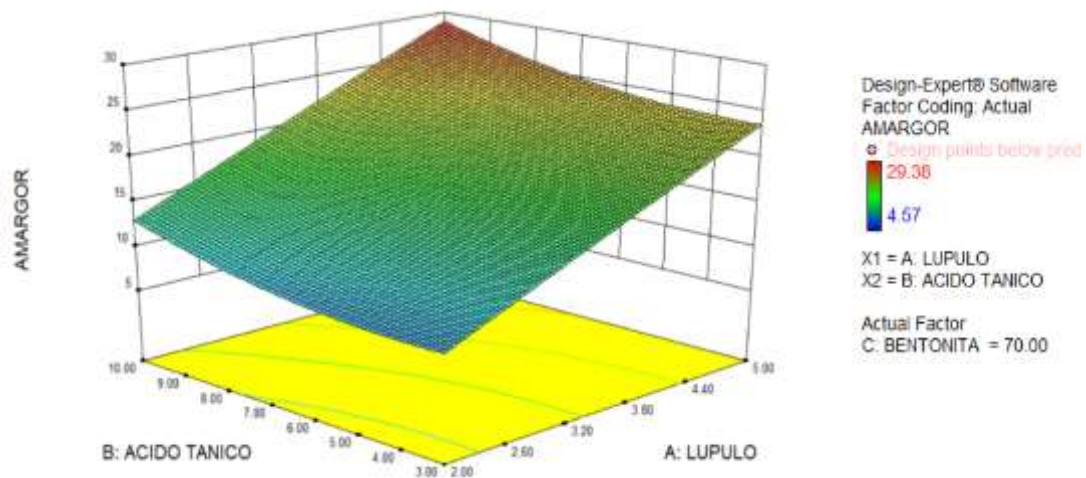
La ecuación del modelo indica que el amargor está determinado principalmente por el coeficiente lineal de lúpulo (A), cuyo coeficiente positivo, evidencia un efecto directo y dominante en el incremento del amargor, el coeficiente lineal del ácido tánico también contribuye al amargor, aunque con menor intensidad, en cambio, la bentonita presenta un coeficiente lineal negativo cercano al 0, lo que confirma que no tiene efecto sobre el amargor. Los coeficientes de las interacciones (AB, AC y BC) son pequeños por lo que no influyen en el amargor, en el caso de los coeficientes cuadráticos solo el término cuadrático del ácido tánico (B^2) muestra efecto, si la concentración se lleva a altas dosis, el amargor se eleva. Esto indica un óptimo donde el ácido tánico genera el mínimo amargor.

3.3.2.2. Superficie de respuesta estimada

En la figura 24, el amargor de la cerveza se intensifica a medida que se incrementa la dosis de lúpulo (A), siendo el principal efecto, como se aprecia tiene tendencia lineal, el ácido tánico (B) incrementa ligeramente el amargor, se aprecia que valores más altos de amargor ocurren cuando A y B están en sus niveles máximos. La superficie muestra un comportamiento mayormente lineal, con una ligera curvatura.

Figura 24

Superficie de respuesta 3D del efecto del lúpulo - ácido tánico sobre el amargor.



El incremento del amargor observado a medida que aumentó la dosis de lúpulo concuerda con lo señalado por Carrillo (2011), quien indica que durante la ebullición ocurre la isomerización de los α -ácidos en iso- α -ácidos (formas cis y trans), compuestos responsables del amargor característico de la cerveza. En este sentido, el comportamiento lineal observado en la superficie de respuesta evidencia que, a mayores concentraciones de lúpulo, se produjo una adecuada isomerización. Asimismo, el ácido tánico presentó un ligero efecto sobre el incremento del amargor ya que contiene una estructura similar a la de otros polifenoles (Bamforth, 2006). Sugiriendo una posible interacción con compuestos fenólicos y sustancias amargas presentes en las muestras de cerveza. La ligera curvatura observada sugiere que, aunque el lúpulo fue el principal responsable del amargor, la combinación de ambos factores influyó parcialmente en su percepción final.

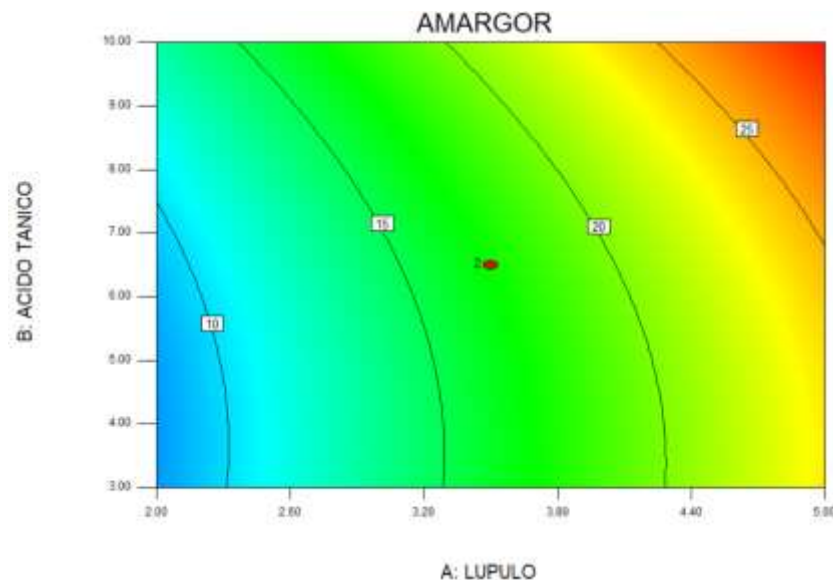
El amargor debido a las distintas dosis se encuentra en un rango de 4,59 a 29,39 IBU estos se encuentran dentro de los rangos reportados para diferentes estilos de cerveza tipo lager. Que según Huxley (2011) establece intervalos de 5–15 IBU para American Light Lager y de 13–23 IBU para American Premium Lager, mientras que Rodríguez (2003) señala que el amargor en cerveza puede variar entre 10 y 60 IBU según el estilo y formulación. En este sentido, los resultados obtenidos evidencian que los tratamientos evaluados se encuentran dentro de rangos adecuados para cervezas lager.

El control de la concentración de lúpulo resulta fundamental para regular la intensidad del amargor y mantener el perfil sensorial deseado en la cerveza. Además, la adecuada dosificación permite estandarizar la calidad del producto y mejorar su aceptación por parte del consumidor.

En la figura 25 de contorno se muestra el efecto de añadir distintas dosis de lúpulo Cascade, incremento progresivo del amargor debido a la concentración de lúpulo llegando a la zona (roja) con lúpulo a 5 g/L, que representa un amargor alto, el ácido tánico a 10 g/hL incrementa el amargor, pero su efecto es menor que el del lúpulo.

Figura 25

Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada efecto del lúpulo y ácido tánico.



Los resultados mostrados evidencian que el incremento de la dosis de lúpulo Cascade produjo un aumento progresivo del amargor, alcanzando los valores más altos en la zona correspondiente a 5 g/L de lúpulo. Esta dosis se encuentra dentro de lo recomendado por Suárez (2013) ya que la eficiencia de extracción disminuye a concentraciones elevadas, por lo que rangos entre 1 y 6 g/L son considerados adecuados para lograr un balance entre intensidad de amargor y aprovechamiento del lúpulo por la isomerización de alfa-ácidos en iso-alfa-ácidos durante la ebullición, que aportan amargor a la cerveza (Krottenthaler et al., 2007). Asimismo, el ácido tánico a 10 g/hL presentó un ligero incremento del amargor debido a los polifenoles

que este contiene Bamforth (2006). Tanto el ácido tánico como el lúpulo comparten la presencia de compuestos fenólicos que pueden contribuir al amargor, aunque mediante mecanismos y magnitudes diferentes.

Desde el punto de vista tecnológico, el control de la dosis de lúpulo Cascade permite optimizar el perfil sensorial y obtener niveles de amargor adecuados para cervezas tipo lager, favoreciendo la calidad y aceptación del producto final.

3.3.3. Análisis de la variable respuesta: aceptabilidad

3.3.3.1. Análisis de varianza

En la tabla 13 que presenta análisis de varianza se observa que la relación A, B, C, p inferiores a 0.05, estos resultados nos indica que son significativamente diferentes de cero al 95% por lo tanto influyen en la aceptabilidad sensorial. Las interacciones AB, AC y BC no fueron significativas, sin embargo, el término cuadrático B² fue significativo porque el valor de p fue iguala a 0,0231, esto indica curvatura y un punto óptimo.

Tabla 12

Análisis de la varianza para aceptabilidad- Central compuesto rotatable de 3 factores.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A-LUPULO	2,36	1	2,36	114,85	< 0,0001
B-ACIDO TANICO	0,57	1	0,57	27,89	0,0019
C-BENTONITA	2,9	1	2,9	141,34	< 0,0001
AB	0,025	1	0,025	1,23	0,3092
AC	2,81E-03	1	2,81E-03	0,14	0,7239
BC	0,09	1	0,09	4,4	0,0807
AA	3,28E-03	1	3,28E-03	0,16	0,703
BB	0,19	1	0,19	9,18	0,0231
CC	7,09E-03	1	7,09E-03	0,35	0,5781
Error	0,031	1	0,031		
Total	6,28	15			

R-cuadrado = 98,04%

R-cuadrado ajustado =95,10%

Asimismo, el coeficiente de determinación (R^2) muestra que el modelo explica el 98,04 % de la variabilidad total de la aceptabilidad, lo que refleja un excelente nivel de ajuste entre los valores experimentales y los predichos.

La función polinómica que ajusta los valores del comportamiento de la aceptabilidad en función de los coeficientes estimados es el modelo polinómico de segundo orden que es adecuado para describir los datos experimentales.

$$\text{Aceptabilidad} = 2,59 + 0,42*A - 0,20*B - 0,4*C + 0,056*A*B + 0,019*A*C - 0,11*B*C + 0,019*A^2 + 0,14*B^2 + 0,028*C^2$$

Donde:

A: Lúpulo (g/L)

B: Ácido tánico (g/hL)

C: Bentonita (g/hL)

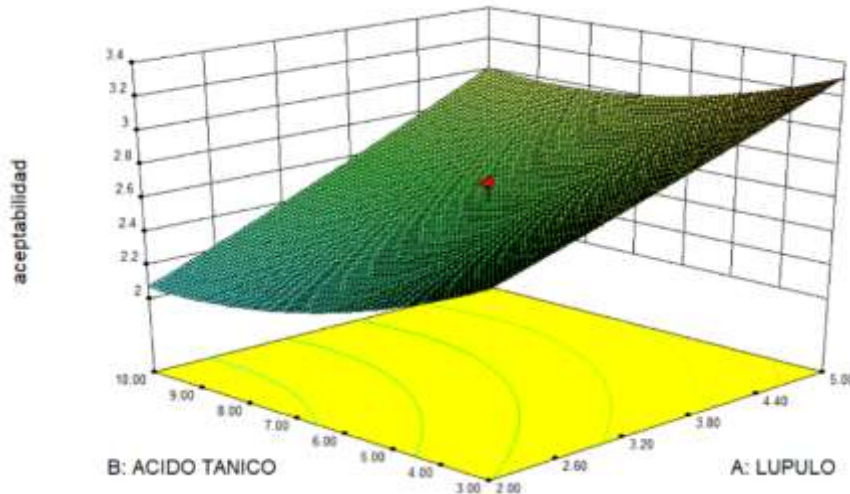
La ecuación del modelo indica que la aceptabilidad sensorial de la cerveza de maíz morocho, se ve afectado por el coeficiente positivo del lúpulo (A), mayor concentración de lúpulo, mayor aceptabilidad, conforme aumenta el ácido tánico (B), disminuye la aceptabilidad, La bentonita (C) disminuye la aceptabilidad, de los coeficientes de las interacciones de los factores AB presenta una interacción positiva, AC una interacción débil y BC disminuye la aceptabilidad, de los coeficientes cuadráticos solo B muestra una ligera curvatura en la respuesta.

3.3.3.2. Superficie de respuesta estimada

La figura 26 muestra la superficie de respuesta que muestra el efecto combinado del lúpulo (A) y el ácido tánico (B) sobre la aceptabilidad de la cerveza. Se observa que la aceptabilidad aumenta progresivamente a medida que se incrementa la concentración de lúpulo, alcanzando los valores más altos cuando el lúpulo se encuentra cerca de 5 g/L. Este comportamiento indica que el lúpulo fue el factor con mayor influencia sobre la aceptabilidad sensorial del producto.

Figura 26

Superficie de respuesta 3D del efecto de las variables independientes sobre la aceptabilidad



Los resultados evidencian que el lúpulo ejerció un efecto positivo sobre la aceptabilidad sensorial de la cerveza de maíz morocho, probablemente debido a su contribución al perfil aromático y al amargor equilibrado (Carvajal y Insuasti, 2010). Este efecto se relaciona con la presencia de aceites esenciales y la formación de iso- α -ácidos durante la ebullición, compuestos que influyen directamente en la percepción sensorial y el equilibrio del sabor.

Por otro lado, el ácido tánico presentó un efecto menos marcado sobre la aceptabilidad, observándose que concentraciones altas tendieron a disminuir ligeramente la valoración sensorial. Este resultado coincide con lo reportado por Taylor et al. (2015), quienes señalan que, aunque dosis altas de ácido tánico (10–20 g/hL) son efectivas para reducir compuestos proteicos, pero pueden deteriorar significativamente la calidad sensorial de la cerveza que posiblemente asociados al incremento de sensaciones de astringencia o alteraciones en el balance de sabor.

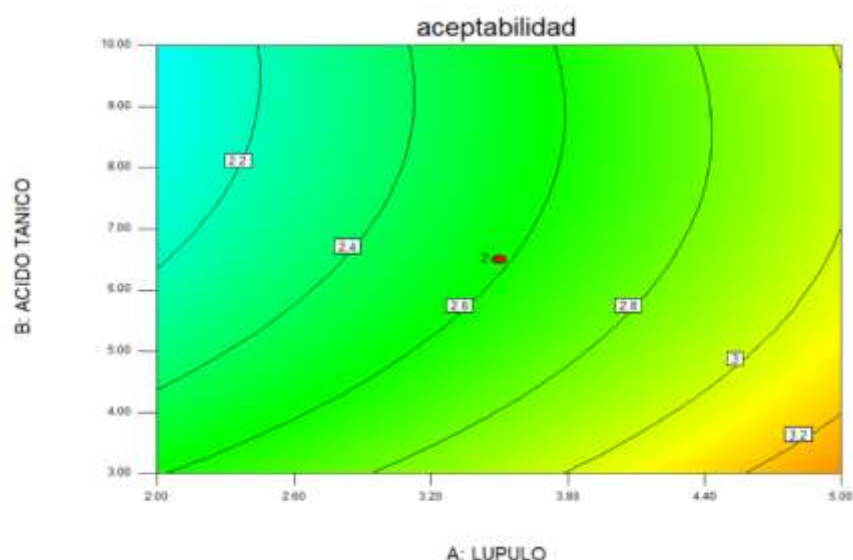
Estos resultados evidencian la importancia de optimizar la dosis de ácido tánico para lograr un equilibrio entre eficiencia de clarificación y aceptabilidad sensorial del producto final.

En la figura 27 de contorno permite observar que, al aumentar la dosis de lúpulo se consigue mayores valores de aceptabilidad, en cambio se incrementa la

dosis de ácido tánico se ve disminuida la aceptabilidad. Este comportamiento confirma que el lúpulo tiene un efecto positivo sobre la aceptación del producto final.

Figura 27

Contornos de Superficie de la Respuesta Estimada.



Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Carvajal e Insuasti (2010), quienes señalan que el lúpulo aporta el amargor y los aromas característicos de la cerveza, influyendo directamente en su calidad sensorial y nivel de aceptabilidad. Debido a la presencia de iso- α -ácidos y compuestos aromáticos provenientes de los aceites esenciales del lúpulo, los cuales contribuyen al equilibrio del sabor y aroma de la cerveza (Roberts, 2016).

Por otro lado, la aceptabilidad disminuye al incrementar las dosis concordando con Taylor et al. (2015), quienes señalan que, aunque dosis altas de ácido tánico (10–20 g/hL) son efectivas para reducir compuestos proteicos, pero pueden deteriorar significativamente la calidad sensorial de la cerveza que posiblemente asociados al incremento de sensaciones de astringencia.

La optimización de estas concentraciones resulta fundamental para obtener niveles de amargor adecuados para cervezas tipo lager, mejorar la aceptabilidad del consumidor y garantizar la calidad sensorial del producto final.

3.4. Concentraciones adecuadas para la elaboración de cerveza de maíz.

Según el Diseño de Central Compuesto, los valores óptimos de la concentración de lúpulo, concentración de ácido tánico, bentonita y las variables respuesta (turbidez, amargor y aceptabilidad).

En la tabla 13, se muestra los valores óptimos, destacando una turbidez mínima de 25 NTU en el mosto clarificado, un valor maximizado de amargor de 15 IBU y una maximización en el puntaje del nivel de aceptabilidad de la cerveza.

Tabla 13

Valores óptimos

Factor	óptimo
A: Lúpulo g/L	2,73
B: Acido tánico g/hL	4,90
C: Bentonita g/hL	96,33
Turbidez NTU	25
Amargor IBU	15
aceptabilidad	3

La dosis óptima de ácido tánico obtenida (4,90 g/gL) se encuentra dentro de dentro de lo recomendado por Taylor et al. (2015) quienes demostraron que el ácido tánico, aplicado en concentraciones moderadas, inferiores a 10 g/hL, reduce el contenido de proteína en el mosto, sin afectar la calidad del producto final. La dosis adecuada de ácido tánico forma complejos insolubles con las proteínas del mosto, favoreciendo su precipitación y mejorando la estabilidad coloidal sin afectar la calidad sensorial de la cerveza.

La dosis óptima de bentonita obtenida (96,33 g/hL) evidencia que el mosto elaborado a partir de malta de maíz morocho requiere concentraciones elevadas de bentonita para reducir significativamente la turbidez debido a su capacidad adsorbente de proteínas. Estos resultados coinciden con Lambri et al. (2012), quienes reportaron una clarificación significativa utilizando 100 g/hL de bentonita en mostos. Asimismo, Hidalgo (2011) señala que proteínas de alto peso molecular

requieren dosis superiores a 80 g/hL para su eliminación, lo que sugiere que el mosto de maíz morocho presenta fracciones proteicas de alta estabilidad coloidal, por ello requiere de alta dosis.

La dosis óptima de lúpulo Cascade obtenida en el presente estudio (2,73 g/L) se encuentra dentro del rango recomendado por Suárez (2013), quien señala que concentraciones entre 1 y 6 g/L permiten alcanzar un balance adecuado entre intensidad de amargor y eficiencia de extracción del lúpulo. Los resultados obtenidos permitieron alcanzar un valor de 15 IBU, el cual se encuentra dentro del rango establecido por Huxley (2011) para cervezas tipo lager (5–15 IBU). Esto se explica por la adecuada isomerización de α -ácidos en iso- α -ácidos durante la ebullición, compuestos responsables del amargor característico de la cerveza. La dosis adecuada del lúpulo favorece la obtención de cervezas tipo lager con características sensoriales equilibradas sin generar un exceso de amargor que pudiera afectar la aceptabilidad del producto.

El nivel de aceptabilidad de la cerveza estuvo influenciado por la dosis de lúpulo Cascade, debido a que este aporta características aromáticas y de amargor que mejoran el perfil sensorial de la cerveza, tal como señalan Carvajal y Insuasti (2010). Así mismo el uso de concentraciones moderadas de ácido tánico representa una alternativa para la clarificación y un perfil sensorial aceptable para el consumidor. Desde el punto de vista sensorial, estas características contribuyen a una mayor aceptación por parte de los consumidores.

3.5. Evaluación de las características fisicoquímicas de la cerveza

Una vez finalizada la fermentación lager (12-18°C) por 12 días, se evaluó las características fisicoquímicas de las muestras de la cerveza de maíz.

3.5.1. Comportamiento de la densidad

En la Tabla 14 se muestra la densidad del mosto clarificado, la cual presentó valores promedio entre 1,054 y 1,058 g/mL mientras que en la cerveza presentó valores promedio entre 1,010 y 1,013 g/mL.

Tabla 14*Comportamiento de la densidad en las unidades experimentales.*

N° Trat.	Densidad promedio	
	Mosto clarificado	Cerveza
T1	1,056±0,001	1,011±0,002
T2	1,054±0,000	1,012±0,001
T3	1,058±0,001	1,012±0,002
T4	1,055±0,002	1,010±0,002
T5	1,058±0,002	1,012±0,003
T6	1,054±0,003	1,011±0,001
T7	1,054±0,003	1,012±0,001
T8	1,056±0,001	1,011±0,003
T9	1,056±0,001	1,012±0,003
T10	1,054±0,003	1,013±0,001
T11	1,055±0,001	1,012±0,001
T12	1,057±0,001	1,010±0,001
T13	1,055±0,003	1,013±0,001
T14	1,054±0,002	1,012±0,003
T15	1,057±0,002	1,010±0,001
T16	1,056±0,001	1,013±0,002

Los resultados obtenidos son comparables con los reportados por Noa (2024), quien registró densidades entre 1,045 y 1,057 g/mL en mostos elaborados a partir de maíz morocho. Esta similitud evidencia que los agentes clarificantes empleados no modificaron significativamente la densidad del mosto, indicando que el contenido de azúcares solubles se mantuvo estable durante el proceso de clarificación. Este comportamiento sugiere que los clarificantes actuaron principalmente sobre proteínas y compuestos coloidales responsables de la turbidez, sin afectar la fracción de azúcares fermentables relacionada con la densidad del mosto. Esto concuerda con, Lambri et al. (2012) que demostraron que la adición de bentonita favorece la precipitación de proteínas y mejora la estabilidad coloidal sin alterar significativamente otros componentes del sistema.

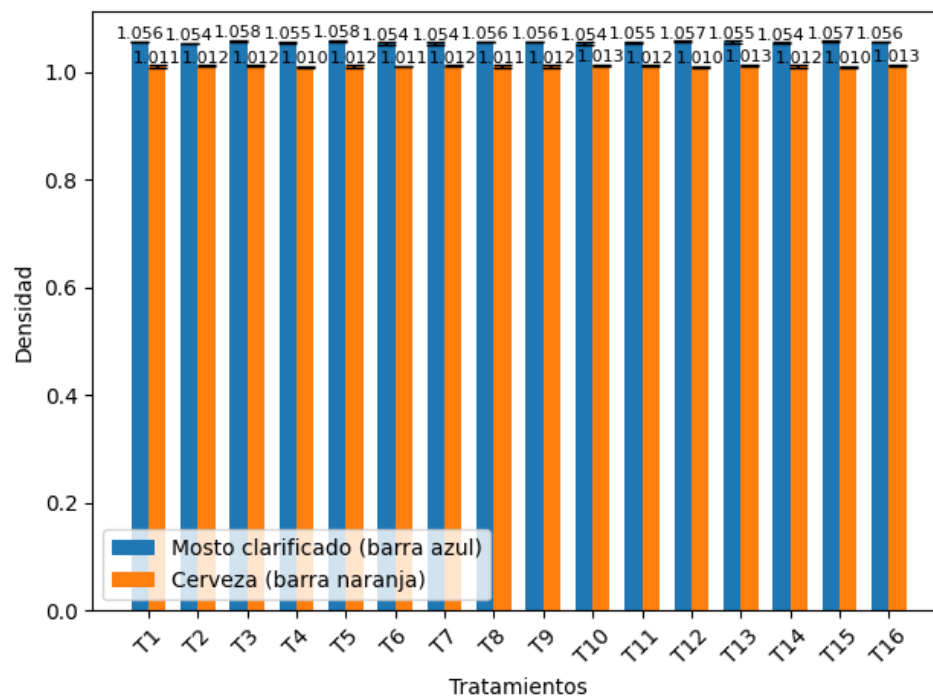
Estos resultados evidencian que la clarificación del mosto antes de la fermentación constituye una alternativa adecuada para mejorar la estabilidad y

claridad del producto, sin afectar la concentración de sólidos solubles necesarios para el proceso fermentativo

La Figura 28 muestra la variación de la densidad en las muestras de mosto clarificado y en la cerveza.

Figura 28

Comportamiento de la densidad



Finalmente, la cerveza presentó una densidad final entre 1,010 y 1,013 g/mL, valores cercanos a los establecidos por la guía BJCP (2021) para cervezas tipo lager, cuyo intervalo recomendado se encuentra entre 0,998 y 1,008 g/mL. Estos resultados evidencian que durante la fermentación los azúcares solubles del mosto fueron metabolizados eficientemente por la levadura *Saccharomyces pastorianus*. La disminución de la densidad se explica por la conversión de azúcares fermentables en etanol, CO₂ y otros compuestos secundarios del metabolismo fermentativo. La proximidad de los valores obtenidos respecto a los rangos de referencia sugiere un adecuado desarrollo de la fermentación y una eficiente utilización de los sustratos fermentables presentes en el mosto.

Estos resultados indican que el proceso fermentativo permitió obtener una cerveza con características compatibles con el estilo lager, contribuyendo a la estabilidad y calidad final del producto.

3.5.2. Comportamiento del pH

En la Tabla 15 los valores de pH obtenido, la extracción del mosto dulce finalizó con un pH promedio de 5,56, valor adecuado para el proceso de maceración. Posteriormente, el mosto lupulado tuvo un pH promedio de 5,0 a 5,1 y en la cerveza 4,6 a 4,8.

Tabla 15

pH de las unidades experimentales del mosto clarificado y de la cerveza.

N° Trat.	pH promedio	
	Mosto lupulado	Cerveza
T1	5.04±0,02	4.64±0,04
T2	5.01±0,04	4.70±0,03
T3	5.06±0,02	4.68±0,06
T4	5.02±0,04	4.68±0,02
T5	5.08±0,03	4.74±0,04
T6	5.06±0,03	4.78±0,05
T7	5.06±0,02	4.76±0,02
T8	5.06±0,04	4.68±0,02
T9	5.04±0,04	4.68±0,04
T10	5.12±0,02	4.62±0,02
T11	5.04±0,03	4.69±0,04
T12	5.06±0,04	4.64±0,05
T13	5.02±0,03	4.65±0,02
T14	5.08±0,05	4.63±0,04
T15	5.05±0,04	4.78±0,04
T16	5.06±0,02	4.72±0,05

La ligera variación del pH observada entre tratamientos puede atribuirse principalmente a las diferentes concentraciones de lúpulo Cascade incorporadas durante la ebullición, durante este proceso ocurre la isomerización de los α -ácidos, generándose compuestos de naturaleza ácida, específicamente cis y trans iso- α -

ácidos, responsables del amargor característico de la cerveza, tal como señala Carrillo (2011). En consecuencia, a mayores dosis de lúpulo, mayor es la formación de estos compuestos y, por tanto, su influencia sobre el pH del sistema.

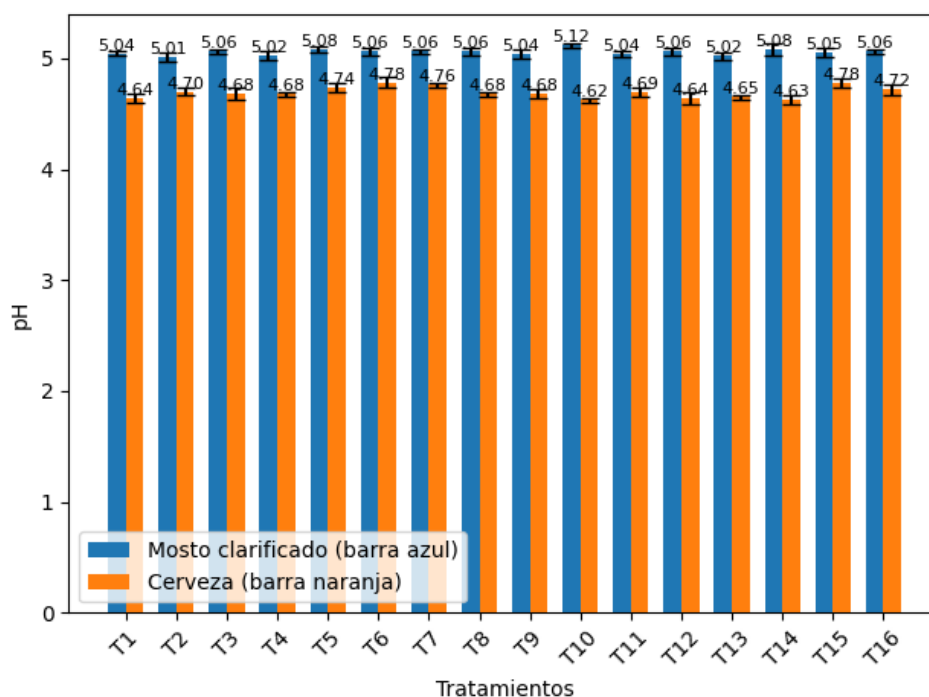
Finalizada la fermentación, la cerveza presentó valores de pH entre 4,60 y 4,78, los cuales cumplen con la Norma Técnica Peruana NTP 213.014:2016, que establece un rango permitido entre 3,0 y 4,8 para cervezas. Asimismo, estos resultados concuerdan con lo reportado por Suárez (2013), quien indica que el rango óptimo de pH para el crecimiento y metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* se encuentra entre 4,4 y 5,0.

Estos resultados evidencian que las condiciones de pH registradas favorecieron un adecuado desarrollo metabólico de la levadura y un proceso fermentativo estable, al mantener el pH dentro de estos rangos contribuye a la estabilidad microbiológica, calidad sensorial y conservación de la cerveza final.

La Figura 29 muestra la variación del pH entre el mosto lupulado y la cerveza final tras la fermentación.

Figura 29

Comportamiento del pH



Se observó que el pH desde el mosto lupulado disminuyó tras la fermentación lo que coincide con lo señalado por Suárez (2013), quien indica que durante la fermentación *Saccharomyces cerevisiae* no solo produce etanol como metabolito principal, sino también ácidos orgánicos que contribuyen al descenso del pH, favoreciendo un medio más ácido durante la fermentación. La reducción del pH observada en el presente estudio evidencia un adecuado desarrollo metabólico de la levadura y confirma que el proceso fermentativo se llevó a cabo dentro de parámetros normales. Por lo que el control del pH en cada etapa del proceso es fundamental para obtener una cerveza consistente.

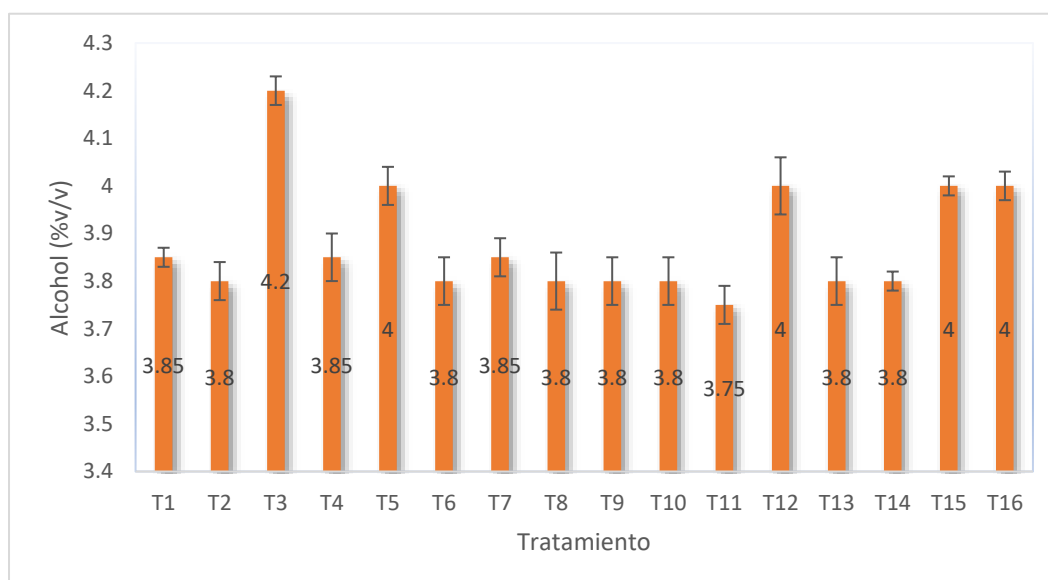
La disminución del pH contribuye a mejorar la estabilidad microbiológica, la conservación y la calidad sensorial de la cerveza obtenida.

3.5.3. Grado alcohólico

La figura 30 muestra el grado alcohólico obtenido a partir de los mostos clarificados, el cual se ubicó en un rango de 3,80 a 4,20 % v/v.

Figura 30

Contenido de alcohol.



Si bien los valores de alcohol obtenidos fueron menores en comparación con los valores teóricos establecidos en la tabla de correspondencia Laffort del Anexo O, este comportamiento puede explicarse por el limitado poder diastático del maíz en comparación con cereales como la cebada, caracterizada por su alta actividad enzimática (Chaudhary et al., 2014). Desde el punto de vista fisicoquímico, un menor

poder diastático reduce la hidrólisis de almidones y, en consecuencia, disminuye la cantidad de azúcares fermentables disponibles para la producción de etanol durante la fermentación.

A pesar de ello, los valores de alcohol obtenidos cumplen con la Norma Técnica Peruana NTP 213.014:2016, que define como cerveza a toda bebida con un contenido alcohólico superior a 0,5 % v/v. Asimismo, los resultados se encuentran dentro del rango establecido por la guía BJCP (2021) para el estilo American Lager, el cual presenta contenidos alcohólicos entre 2,8 y 4,2 % v/v.

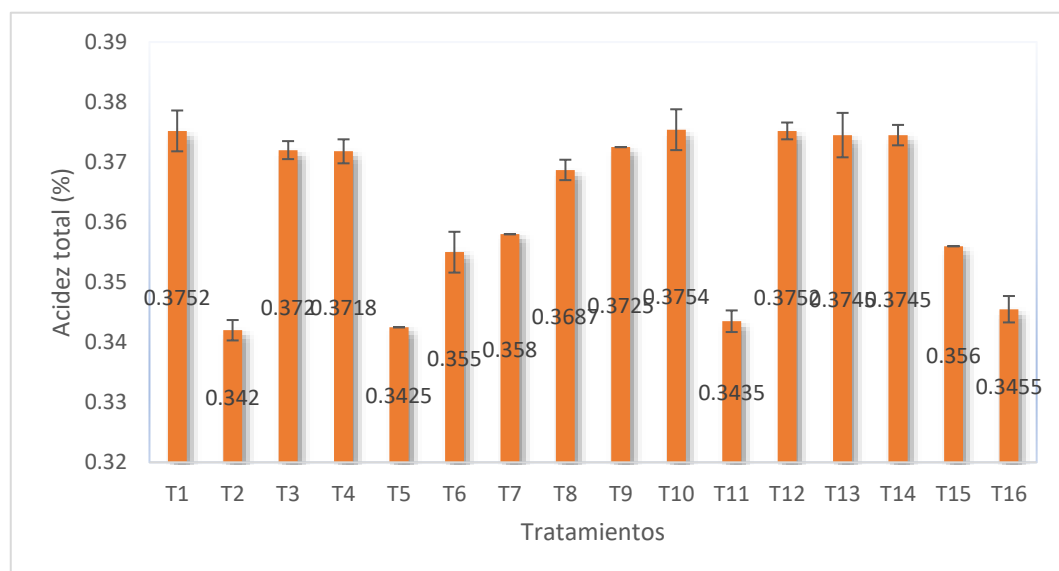
Estos resultados evidencian que el maíz morocho puede emplearse como materia prima para la elaboración de cerveza tipo lager.

3.5.4. Acidez Total

La figura 31 muestra que, tras la fermentación, la acidez total de la cerveza clarificada alcanzó valores entre 0,342 % y 0,3752 %, con un promedio de 0,3626 %. La variación entre tratamientos es mínima, lo cual era esperable debido a que las condiciones de maceración y fermentación fueron uniformes en todos los ensayos.

Figura 31

Contenido de Acidez total (%).



La acidez total determinada en el presente estudio fue consecuencia del proceso fermentativo, lo cual concuerda con Hernández et al. (2003), quienes indican que durante la fermentación se generan principalmente ácido láctico y ácido acético,

compuestos responsables de la acidez característica de la cerveza. Estos ácidos orgánicos se producen como metabolitos secundarios del metabolismo de las levaduras, contribuyendo a la disminución del pH y al perfil sensorial del producto final.

En relación con los parámetros normativos, la norma INEN 2262 (2013) establece que la acidez titulable de la cerveza en base a malta de cebada debe ser menor a 0,3 %, expresada como ácido láctico. En el presente estudio, los valores obtenidos superaron dicho límite; sin embargo, estos resultados coinciden con los reportados por Noa (2024), quien encontró valores entre 0,300 % y 0,5475 % en bebidas fermentadas elaboradas a partir de maíz morocho. De manera similar, Aguirre (2019) registró una acidez de 0,34 % en cerveza artesanal elaborada con malta de maíz morado, por lo tanto, acidez total podría estar influenciado por el tipo de malta.

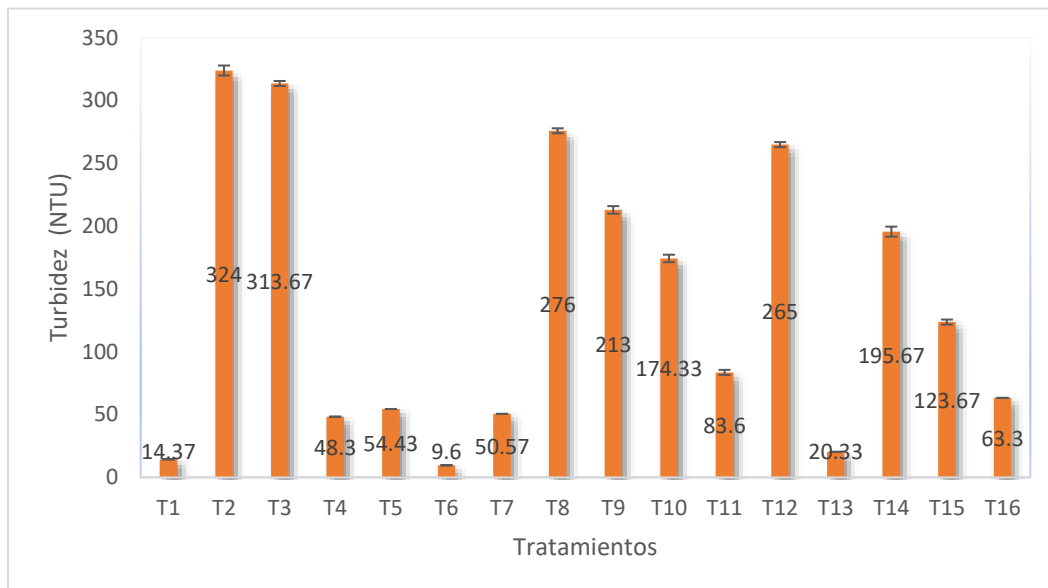
Estas similitudes sugieren que las materias primas derivadas del maíz podrían favorecer una mayor producción de compuestos ácidos durante la fermentación, pero sin que estos niveles de acidez afecten la aceptación del producto por el consumidor.

3.5.5. Turbidez

En Figura 32 se muestra el color resultante en las nuestra los resultados de la turbidez final con respecto a los tratamientos. La turbidez final como se muestra en la figura se redujo considerablemente en los tratamientos 1, 6 y 13. Pero en los tratamientos 2, 3, 8, 12 y 4 la turbidez se mantuvo elevada que corresponden a las distintas dosis de ácido tánico y bentonita usados según se vio en la Tabla 8.

Figura 32

Turbidez final en las cervezas obtenidas.



La disminución de la turbidez observada después de la fermentación evidencia el efecto de este proceso sobre la estabilidad coloidal de la cerveza. Marangon et al. (2010) señalan que durante la fermentación alcohólica las proteínas experimentan modificaciones debido a la actividad proteolítica de la levadura y a los cambios de pH, favoreciendo su agregación y sedimentación. Estos mecanismos reducen la cantidad de compuestos proteicos suspendidos en el medio, lo que explica la disminución de la turbidez observada en el presente estudio.

Asimismo, los menores valores de turbidez se registraron en los tratamientos con altas concentraciones de bentonita (100–120 g/hL), como ocurrió en los tratamientos 1, 6 y 13. Estos resultados coinciden con Lambri et al. (2010), quienes demostraron que existe una relación directa entre la dosis de bentonita y la eliminación de proteínas, observando que mayores concentraciones del clarificante incrementan la remoción de compuestos proteicos en mostos y bebidas fermentadas.

En este sentido, la acción combinada de la fermentación y la bentonita favoreció una mayor clarificación del producto final permitiendo mejorar la estabilidad coloidal y reducir la turbidez de la cerveza elaborada a partir de maíz morocho.

3.5.6.Color

En la tabla 17 se muestra el color resultante en las nuestra los resultados de color respecto a los tratamientos.

Tabla 18

Los colores obtenidos

N° Trat.	Lúpulo g/L	Ácido Tánico g/hL	Bentonita g/hL	Color ° EBC Obtenido	Color según la escala EBC
1	2,0	10,0	100,0	7,86	
2	3,5	6,5	19,55	9,80	
3	3,5	6,5	70,0	11,80	
4	3,5	6,5	70,0	11,80	
5	3,5	6,5	120,45	9,53	
6	5,0	10,0	100,0	12,60	
7	0,97	6,5	70,0	12,7	
8	3,5	12,38	70,0	8,60	
9	2,0	3,0	100,0	14,60	
10	5,0	3,0	40,0	10,20	
11	5,0	3,0	100,0	12,30	
12	3,5	0,61	70,0	10,48	
13	2,0	3,0	40,0	9,62	
14	6,02	6,5	70,0	8,40	
15	5,0	10,0	40,0	14,30	
16	2,0	10,0	40,0	8,37	

Los tratamientos 16, 14, 10, 1 y 8 presentaron valores de color dentro del rango recomendado por la EBC (1975) para cervezas claras tipo lager (8–10 EBC). Asimismo, la Norma Técnica Peruana NTP 213.014 (2016) establece que las cervezas claras deben presentar valores menores a 30 EBC, por lo que las muestras evaluadas cumplieron con los parámetros de calidad establecidos.

El color amarillo característico de las cervezas obtenidas puede atribuirse a los pigmentos naturales presentes en el maíz morocho, principalmente β -caroteno y

β -criptoxantina, compuestos relacionados con la coloración amarilla del grano (Grossmann et al., 1998). Sin embargo, durante el almacenamiento se observó una evolución hacia tonalidades más oscuras, evidenciando reacciones de pardeamiento que afectaron negativamente la estabilidad del color, este comportamiento podría relacionarse con procesos de oxidación y cambios en la estabilidad de compuestos fenólicos y proteicos presentes en la cerveza. En este sentido, Türkyılmaz, Yemiş y Özkan (2012) señalan que ciertas proteínas responsables de la turbidez pueden actuar como copigmentos, contribuyendo a la estabilidad e intensidad del color. Por ello, una eliminación excesiva de proteínas durante la clarificación podría afectar negativamente la estabilidad cromática de la cerveza.

Desde una perspectiva tecnológica, estos resultados evidencian la importancia de optimizar el proceso de clarificación, buscando un equilibrio entre reducción de turbidez y que proporcione la máxima estabilidad de color.

3.6. Análisis sensorial de la cerveza

3.6.1. Análisis sensorial de la fase visual

Esta fase evaluó dos atributos: transparencia, relacionada con la limpidez visual, y vivacidad, asociada al desprendimiento del CO₂ disuelto en la cerveza servida en el vaso.

3.6.1.1. Evaluación estadística del atributo: transparencia

Los resultados del análisis de varianza (tabla 19) evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos para el atributo transparencia ($p=0,00$), lo que demuestra que las distintas concentraciones de clarificantes influyeron directamente en la apariencia visual de la cerveza. Asimismo, se observaron diferencias significativas entre panelistas ($p=0,040$), lo que sugiere variabilidad en la sensibilidad visual y en la percepción individual de la turbidez, aspecto común en evaluaciones sensoriales donde la apreciación visual depende de criterios subjetivos del consumidor.

Tabla 19

Análisis de la varianza para el atributo: transparencia.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	15	103,29	6,8862	10,06	0
Panelistas	9	12,51	1,3896	2,03	0,040
Error	135	92,39	0,6844		
Total	159	208,19			

En la tabla 20 se muestra la prueba de Tukey que permitió identificar los tratamientos que difirieron significativamente entre sí. Los tratamientos 3, 8 y 2 integraron el grupo superior (A), que contienen mayor turbidez por el uso de bajas dosis de clarificantes. En cambio, los tratamientos 1, 6 y 13 conformaron el grupo inferior (D), con mayor claridad visual asociado al empleo de altas dosis de clarificantes.

Tabla 20

Prueba de comparación múltiple de Tukey para transparencia.

Tratamiento	N	Media	Agrupación			
3	10	4,2	A			
8	10	4,0	A			
2	10	3,9	A			
9	10	3,4	A	B		
14	10	3,1	A	B	C	
12	10	3,0	A	B	C	
16	10	3,0	A	B	C	
15	10	3,0	A	B	C	
4	10	2,6		B	C	D
10	10	2,6		B	C	D
11	10	2,6		B	C	D
5	10	2,4		B	C	D
7	10	2,1			C	D
6	10	1,7				D
13	10	1,7				D
1	10	1,4				D

La prueba de Tukey mostró que los tratamientos 3, 8 y 2 conformaron el grupo con mayor puntuación de turbidez, asociado al empleo de bajas dosis de clarificantes. En contraste, los tratamientos 1, 6 y 13 presentaron mayor transparencia, debido al efecto de las dosis altas de bentonita y ácido tánico, por la capacidad de estos clarificantes para remover proteínas responsables de la turbidez.

Según la perspectiva de los panelistas, la transparencia constituye un atributo visual asociado a frescura, estabilidad y calidad en cerveza. Por ello, tratamientos con mayor claridad visual podrían generar una mejor percepción inicial del producto y favorecer su aceptación comercial.

3.6.1.2. Evaluación estadística del atributo: vivacidad

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 21) evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos para el atributo vivacidad ($p = 0,000$), lo que indica que las formulaciones evaluadas influyeron directamente en la percepción visual y sensorial de este atributo. En contraste, las diferencias entre panelistas no fueron estadísticamente significativas ($p = 0,113$), lo que sugiere una mayor uniformidad en los criterios de evaluación y una percepción relativamente consistente de la vivacidad entre los consumidores.

Tabla 21

Análisis de la varianza para el atributo: vivacidad

Fuente	GL	SC	MC	Valor	Valor
		Ajust.	Ajust.	F	p
Tratamiento	15	21,975	1,4650	3,30	0,000
Panelistas	9	6,500	0,7222	1,63	0,113
Error	135	59,900	0,4437		
Total	159	88,375			

En la tabla 22, la prueba de Tukey mostró que los tratamientos 7, 9, 10 y 11 conformaron el grupo con mayor puntuación de vivacidad, mientras que el tratamiento 2 presentó la menor valoración. Este comportamiento puede relacionarse con diferencias en la estabilidad de espuma, liberación de CO₂ y apariencia visual de la cerveza, factores que influyen directamente en la percepción de frescura y calidad del producto.

Tabla 22*Prueba de comparación múltiple de Tukey para vivacidad*

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
7	10	2.6	A	
9	10	2.6	A	
10	10	2.6	A	
11	10	2.6	A	
12	10	2.5	A	B
14	10	2.4	A	B
5	10	2.4	A	B
8	10	2.2	A	B
1	10	2.2	A	B
3	10	2.2	A	B
4	10	2.2	A	B
15	10	2.0	A	B
16	10	1.7	A	B
13	10	1.7	A	B
6	10	1.6	A	B
2	10	1.5		B

La prueba de Tukey mostró que la mayoría de los tratamientos compartieron agrupaciones intermedias (A B), lo que evidencia que las diferencias entre ellos no fueron marcadamente amplias a pesar que algunos tratamientos presentaron una ligera mayor vivacidad. Esto podría estar relacionado a la eliminación de proteínas, una remoción excesiva podría afectar compuestos relacionados con la estabilidad de espuma y la percepción de cuerpo de la cerveza, ya que ciertas proteínas hidrofóbicas participan en la formación y estabilidad de espuma (Briggs et al., 2004). Atributo estrechamente relacionado con la percepción de vivacidad en cerveza.

Según la perspectiva de los panelistas, la vivacidad constituye un atributo importante porque se asocia con frescura, carbonatación y calidad sensorial. Por ello, los tratamientos con mayores puntuaciones podrían generar una mejor aceptación comercial.

3.6.2. Análisis sensorial de la fase olfativa

Se evaluaron dos atributos sensoriales relacionados con el aroma de la cerveza: el primero fue el aroma a malta de maíz, asociado a notas dulces y características de la malta de maíz; y el segundo fue el aroma a lúpulo, vinculado a notas herbales, florales y amargas propias de este ingrediente.

3.6.2.1. Evaluación estadística del atributo: aroma a malta de maíz.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 16) evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos para el atributo aroma a malta de maíz ($p = 0,001$), lo que indica que las formulaciones evaluadas influyeron directamente en la percepción aromática de la cerveza. En contraste, las diferencias entre panelistas no fueron estadísticamente significativas ($p = 0,260$), lo que sugiere una percepción relativamente homogénea del atributo entre los evaluadores y una adecuada consistencia en la evaluación sensorial.

Tabla 16

Análisis de la varianza para el atributo: aroma de malta de maíz

Fuente	GL	SC	MC	Valor	Valor
		Ajust.	Ajust.	F	p
Tratamiento	15	12,300	0,8200	2,75	0,001
Panelistas	9	3,400	0,3778	1,27	0,260
Error	135	40,200	0,2978		
Total	159	55,900			

En la Tabla 24, la prueba de Tukey mostró que el tratamiento 12 presentó la mayor puntuación promedio para aroma a malta de maíz, conformando el grupo estadísticamente superior (A), mientras que los tratamientos 5, 4, 6, 14 y 16 registraron las menores valoraciones. Los demás tratamientos se ubicaron en grupos intermedios, sin diferencias significativas entre sí. Este comportamiento sugiere que las condiciones de formulación y clarificación influyeron sobre la intensidad y percepción de los compuestos aromáticos característicos de la malta de maíz.

Tabla 24*Prueba de comparación múltiple de Tukey para aroma a malta*

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
12	10	2,4	A	
10	10	2,0	A	B
3	10	1,9	A	B
8	10	1,9	A	B
11	10	1,9	A	B
13	10	1,9	A	B
7	10	1,8	A	B
9	10	1,8	A	B
2	10	1,7	A	B
15	10	1,7	A	B
1	10	1,6	A	B
5	10	1,5		B
4	10	1,4		B
6	10	1,4		B
14	10	1,4		B
16	10	1,3		B

Estos resultados sugieren que el tratamiento 12 de mayor puntuación permitió conservar en mayor medida los compuestos aromáticos característicos de la malta de maíz, debido a los compuestos volátiles generados durante el malteado y la ebullición, como aldehídos y compuestos fenólicos. Asimismo, las menores puntuaciones observadas en algunos tratamientos podrían atribuirse a una mayor remoción de algunos compuestos aromáticos asociados a proteínas en el proceso de clarificación, esto debido a que la bentonita puede eliminar indirectamente compuestos aromáticos durante la desproteínización (Lambri et al. , 2010). Esto evidencia que la clarificación, aunque mejora la transparencia de la cerveza, también puede modificar parcialmente su perfil aromático.

Según la perspectiva de los panelistas, un aroma a malta moderadamente perceptible puede contribuir a una mayor identidad sensorial y diferenciación del producto, especialmente en cervezas elaboradas a partir de maíz morocho. Sin

embargo, intensidades muy bajas podrían disminuir la percepción del carácter propio de la cerveza, afectando su aceptación sensorial.

3.6.2.2. Evaluación estadística del atributo: aroma a lúpulo

En la tabla 25 se observa la respuesta estadística para el atributo: aroma a lúpulo, para esto se los datos del Anexo I, vemos que hay diferencia significativa entre los tratamientos ($p=0,00$) en el análisis de varianza, estas diferencias significativas entre los tratamientos se generan por las distintas dosis de lúpulo que se usó. Aunque se observaron algunas variaciones en las calificaciones sobre la percepción del aroma de malta de maíz entre los panelistas ($p = 0,420$), estas no fueron estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95%.

Tabla 25

Análisis de la varianza para el atributo: aroma a lúpulo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	15	107,994	7,1996	20,49	0,000
Panelistas	9	3,256	0,3618	1,03	0,420
Error	135	47,444	0,3514		
Total	159	158,694			

En la Tabla 26, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey confirmó estas diferencias, mostrando que el tratamiento 13 presentó la mayor puntuación promedio (3,6), ubicándose en el grupo estadísticamente superior (A), mientras que el tratamiento 11 registró la menor valoración (1,2), conformando el grupo G. Este comportamiento evidencia que el incremento de la dosis de lúpulo favoreció una mayor intensidad aromática en la cerveza.

Tabla 26*Prueba de comparación múltiple de Tukey para aroma a lúpulo*

Tratamiento	N	Media	Agrupación			
13	10	3,6	A			
14	10	3,5	A	B		
6	10	3,4	A	B	C	
4	10	3,1	A	B	C	D
12	10	3,0	A	B	C	D
7	10	2,7	A	B	C	D
5	10	2,6		B	C	D E
10	10	2,6		B	C	D E
8	10	2,5			C	D E
16	10	2,3			D	E F
2	10	1,7				E F G
15	10	1,4				F G
3	10	1,4				F G
9	10	1,4				F G
1	10	1,3				G
11	10	1,2				G

La prueba de Tukey evidencia que el incremento de la dosis de lúpulo favoreció una mayor intensidad del aroma en la cerveza, debido a la mayor extracción de aceites esenciales y compuestos volátiles responsables de las notas herbales y florales características, cuya concentración en el producto final depende de la dosis incorporada y de la eficiencia de extracción durante la ebullición.

Según la perspectiva de los panelistas, los tratamientos con intensidades aromáticas moderadas y equilibradas podrían presentar mayor aceptabilidad, ya que el aroma a lúpulo se asocia con frescura y calidad sensorial. Por el contrario, intensidades muy bajas pueden disminuir la percepción del carácter cervecero, mientras que aromas excesivamente intensos podrían no ser adecuados para consumidores habituados a estilos lager suaves.

3.6.3. Análisis sensorial de la fase gustativa

Esta fase comprendió la evaluación de tres atributos, la primera fue sabor a malta, en este caso del maíz morocho, el segundo sabor a lúpulo y sabor a amargor.

3.6.3.1. Evaluación estadística del atributo: gusto a malta de maíz.

En la tabla 27 se observa la respuesta estadística para el atributo: gusto a malta de maíz, para esto se los datos del Anexo J, vemos que hay diferencia significativa entre los tratamientos ($p=0,000$) en el análisis de varianza. Aunque se observaron algunas variaciones en las calificaciones sobre la percepción del gusto a malta de maíz entre los panelistas ($p = 0,572$), estas no fueron estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95%.

Tabla 17

Análisis de la varianza para el atributo: gusto a malta de maíz.

Fuente	GL	SC	MC	Valor	Valor
		Ajust.	Ajust.	F	p
Tratamiento	15	48,444	3,2296	8,88	0,000
Panelistas	9	2,781	0,3090	0,85	0,572
Error	135	49,119	0,3638		
Total	159	100,344			

En la Tabla 28, de comparaciones múltiples de Tukey (95 % de confianza) muestra la existencia de diferencias significativas entre tratamientos para el atributo gusto de la malta de maíz. El tratamiento 6 registró la mayor puntuación promedio (3,5), integrando el grupo estadísticamente superior (A) en contraste, el tratamiento 8 formo el grupo (E), con la puntuación promedio más bajo (1,6). A pesar de usar la misma proporción de malta en los 16 tratamientos se obtuvo diferentes puntajes, esto podría explicarse en el efecto de las distintas dosis de lúpulo, ácido tánico y bentonita.

Tabla 28*Prueba de comparación múltiple de Tukey para gusto a malta de maíz.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
6	10	3,5	A
7	10	3,5	A
3	10	3,4	A B
14	10	3,2	A B
1	10	3,0	A B
16	10	3,0	A B
12	10	2,9	A B C
11	10	2,7	A B C D
13	10	2,7	A B C D
2	10	2,6	A B C D
9	10	2,6	A B C D
5	10	2,5	B C D E
15	10	2,5	B C D E
4	10	2,0	C D E
10	10	1,8	D E
8	10	1,6	E

A pesar de que todos los tratamientos utilizaron la misma proporción de malta, las diferencias observadas sugieren que las distintas dosis de lúpulo, ácido tánico y bentonita influyeron indirectamente en la percepción sensorial del gusto a malta, los cuales pudieron afectar la intensidad y persistencia del sabor característico del maíz malteado. Según la perspectiva de los panelistas, los tratamientos con puntuaciones intermedias y altas reflejan una mejor aceptación del perfil sensorial, debido a que un gusto equilibrado a malta de maíz. Por el contrario, intensidades disminuyen la percepción del carácter propio de la cerveza elaborada a partir de maíz morocho.

3.6.3.2. Evaluación estadística del atributo: gusto a lúpulo

En la tabla 29 se observa la respuesta estadística para el atributo: gusto a lúpulo, para esto se los datos del Anexo K, vemos que hay diferencia significativa entre los tratamientos ($p=0,000$) en el análisis de varianza. Aunque se observaron algunas variaciones en las calificaciones sobre la percepción del gusto a malta de maíz entre los panelistas ($p = 0,107$) estas no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 29*Análisis de la varianza para el atributo: gusto a lúpulo.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	15	157,000	10,4667	29,59	0,000
Panelistas	9	5,250	0,5833	1,65	0,107
Error	135	47,750	0,3537		
Total	159	210,000			

Tabla 30 muestra la existencia de diferencias significativas entre tratamientos para el atributo gusto a lúpulo. Los tratamientos 4, 14, 13, 10 y 12 registró la mayor puntuación promedio, integrando el grupo (A). En contraste, el tratamiento 11 formó el grupo D, con la puntuación promedio más bajo (1,2).

Tabla 30*Prueba de comparación múltiple de Tukey para gusto a lúpulo.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
4	10	4,3	A
14	10	3,9	A
13	10	3,9	A
10	10	3,7	A
12	10	3,6	A
16	10	2,4	B
5	10	2,3	B
6	10	2,2	B C
2	10	2,1	B C D
8	10	2,0	B C D
7	10	1,9	B C D
15	10	1,9	B C D
3	10	1,8	B C D
1	10	1,5	B C D
9	10	1,3	C D
11	10	1,2	D

Los resultados evidenciaron distintos niveles de percepción del gusto a lúpulo, este comportamiento se relaciona principalmente con la isomerización de los α -ácidos del lúpulo durante la ebullición, formando iso- α -ácidos responsables del amargor, en consecuencia, a mayores dosis de lúpulo, mayor es la concentración de estos compuestos y más intensa la percepción sensorial del gusto a lúpulo.

Según la perspectiva de los panelistas, los tratamientos con intensidades moderadas de gusto a lúpulo podrían presentar mayor aceptabilidad, caracterizadas por un amargor suave y equilibrado. En cambio, intensidades muy bajas pueden disminuir la percepción del gusto a lúpulo.

3.6.3.3. Evaluación estadística del atributo: amargor

En la tabla 31 se observa la respuesta estadística para el atributo: amargor, para esto se los datos del Anexo L, vemos que hay diferencia significativa entre los tratamientos ($p=0,000$) en el análisis de varianza. Aunque se observaron algunas variaciones en las calificaciones sobre la percepción del gusto a malta de maíz entre los panelistas ($p = 0,728$), estas no fueron estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95%.

Tabla 31

Análisis de la varianza para el atributo: amargor.

Fuente	GL	SC	MC Ajust.	Valor F	Valor p
		Ajust.			
Tratamiento	15	127,293	8,4862	17,26	0,000
Panelistas	9	2,999	0,3332	0,68	0,728
Error	134	65,890	0,4917		
Total	158	196,226			

La prueba de Tukey (95 % de confianza) mostró diferencias significativas entre tratamientos en el atributo gusto a lúpulo. El tratamiento 4 obtuvo la mayor puntuación promedio (4,50), ubicándose en el grupo superior (A), mientras que el tratamiento 11 registró la menor (1,10), formando el grupo (F). Estas diferencias se relacionan con las distintas dosis de lúpulo aplicadas.

Tabla 32*Prueba de comparación múltiple de Tukey para amargor.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación			
4	10	4,5	A			
12	10	3,9	A	B		
14	10	3,9	A	B		
13	10	3,8	A	B	C	
10	10	3,6	A	B	C	
5	10	3,0		B	C	D
6	10	3,0		B	C	D
2	10	3,0		B	C	D
8	10	2,9		B	C	D E
7	10	2,8			C	D E
16	10	2,5				D E
15	10	2,0				D E F
1	10	1,9				E F
3	10	1,9				E F
9	10	1,9				E F
11	9	1,1				F

Los resultados reflejan distintos niveles de percepción del amargor en función de las dosis de lúpulo aplicadas ya que, a mayores concentraciones de lúpulo, mayor es la formación de iso- α -ácidos y, por tanto, más intensa la percepción sensorial del amargor. Asimismo, las diferencias observadas entre tratamientos sugieren que la percepción del amargor no dependió únicamente de la cantidad de lúpulo incorporado, como se ve en los tratamientos 1 y 11, con concentraciones elevadas de ácido tánico, que afectaron negativamente la aceptabilidad, lo que reafirma la importancia de su uso en niveles moderados.

Según la perspectiva de los panelistas, los tratamientos con niveles moderados de amargor podrían presentar mayor aceptación, ya que presentan perfiles suaves y equilibrados. En contraste, intensidades muy bajas pueden percibirse como cervezas poco características, mientras que amargores excesivos podrían reducir la aceptación en consumidores no familiarizados con perfiles intensos.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de lúpulo Cascade, ácido tánico y bentonita influyeron significativamente en las características fisicoquímicas del mosto y de la cerveza de maíz morocho. El mosto presentó valores adecuados de densidad (1,056–1,058 g/mL), °Brix (14,60–15,00) y pH (5,7–5,8), evidenciando condiciones favorables para la fermentación y la obtención de una cerveza tipo lager. El uso de ácido tánico y bentonita permitió reducir la turbidez del mosto, alcanzando valores mínimos de 25,37 NTU con altas dosis de bentonita (100–120 g/hL), debido a la eliminación de proteínas responsables de la inestabilidad coloidal. Asimismo, la cerveza final presentó densidades entre 1,010 y 1,013 g/mL, pH entre 4,60 y 4,78 y contenido alcohólico de 3,80–4,20 % v/v, parámetros compatibles con los estándares de cervezas. Estos resultados evidencian el potencial del maíz morocho como materia prima cervecera y demuestran que el uso combinado de ácido tánico y bentonita constituye una alternativa tecnológica viable para mejorar la clarificación, estabilidad y calidad de la cerveza, con aplicación en la industria cervecera artesanal y semiindustrial.
- Se determinó que las concentraciones adecuadas de 2,73 g/L de lúpulo Cascade, 4,90 g/hL de ácido tánico y 96,33 g/hL de bentonita permitieron obtener una cerveza de maíz morocho con mejores características de clarificación, amargor y aceptabilidad sensorial, alcanzando una turbidez mínima de 25 NTU y un amargor de 15 IBU. El estudio demostró que el ácido tánico y la bentonita mejoraron significativamente la clarificación del mosto y la concentración adecuada de lúpulo Cascade permitió lograr un equilibrio adecuado entre aroma y amargor, favoreciendo la aceptabilidad del producto. Esta investigación demuestra la viabilidad del uso de maíz morocho como materia prima para la elaboración de cerveza tipo lager, optimizando el proceso de clarificación mediante el empleo combinado de agentes clarificantes y lúpulo que aportan una alternativa con aplicabilidad en la industria cervecera, contribuyendo a la diversificación de materias primas en la industria.
- La evaluación sensorial evidenció diferencias significativas entre tratamientos en todos los atributos evaluados ($p \leq 0,001$), demostrando que las concentraciones de lúpulo, ácido tánico y bentonita influyeron directamente

en las características visuales, olfativas y gustativas de la cerveza de maíz morocho. Los resultados sensoriales mostraron que los panelistas presentaron mayor aceptación a la hacía tratamientos que presentaron mayor claridad visual y con niveles moderados de amargor, suaves y equilibradas. Esto demuestra la viabilidad tecnológica del maíz morocho como materia prima para la elaboración de cervezas

RECOMENDACIONES

- Se recomienda replicar el presente estudio utilizando otras variedades de maíz producidas en la región, tales como pillpi, chullpi y maíz morado (*Zea mays*), con la finalidad de comparar su comportamiento tecnológico durante el proceso cervecero y evaluar su influencia sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y de aceptación del producto final. Estas variedades presentan diferencias significativas en su composición química, particularmente en el contenido de almidón, proteínas, pigmentos y compuestos fenólicos, lo que podría incidir en la eficiencia de la maceración, la fermentación alcohólica y la estabilidad coloidal del mosto y la cerveza.
- Se recomienda evaluar el uso de alternativas locales al lúpulo (*Humulus lupulus* L.), como las semillas de molle (*Schinus molle*) o la hoja de coca (*Erythroxylum coca*), con el propósito de analizar su viabilidad tecnológica y sensorial en la elaboración de cerveza artesanal. Esta evaluación debería considerar su capacidad para aportar amargor, aroma y propiedades funcionales, así como su efecto sobre las características fisicoquímicas del mosto y la cerveza.
- Se recomienda evaluar la estabilidad del color de la cerveza de maíz morocho durante el almacenamiento en refrigeración, analizando la influencia de las concentraciones de lúpulo, ácido tánico y bentonita, así como del oxígeno, el tipo de envase y la exposición a la luz, con el fin de optimizar las condiciones de formulación y conservación.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre. (2019). *Elaboración de cerveza artesanal a partir de malta de maíz morado*.
- Aleixandre, J. L., & Martínez, F. (1999). *Manual de enología*. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones.
- Almaguer, C., Schönberger, C., Gastl, M., Arendt, E. K., & Becker, T. (2014). *Humulus lupulus: Una historia que pide ser contada. Reseña. Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), 11–12. <https://doi.org/10.1002/jib.160>
- Apaza, J., & Atencio, L. (2017). *Tecnología para la elaboración de una cerveza artesanal tipo Ale, con sustitución parcial de malta (Hordeum vulgare) por guíñapo de maíz morado (Zea mays)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/b86352b1-f14b-4af6-ae81-d6ea43fc5cdb>
- Arana Carbajal, A. C. (2016). *Aplicación de la metodología DMAIC para la reducción del consumo de agente clarificante en el proceso de filtración de cerveza lager* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Facultad de Ingeniería Industrial, Lima, Perú.
- Armada, L., & Falqué, E. (2007). Repercusión de los agentes de tratamiento de clarificación previos a la fermentación alcohólica sobre la composición volátil de los vinos blancos. *European Food Research and Technology*, 225(4), 553–558. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0453-3>
- Bamforth, C. (2008). *Tap into the art and science of brewing*. Oxford University Press. 780 pp. <https://doi.org/10.1007/978-94-6300-103-8>
- Beer Judge Certification Program. (2021). *Guía de estilos de cerveza 2021*. https://www.bjcp.org/wpcontent/uploads/2024/03/2021_Guidelines_Beer_ES_1.0.pdf
- Blade, W. H., & Boulton, R. (1988). Adsorption of protein by bentonite in a model wine solution. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39(3), 193-199. <https://www.ajevonline.org/content/39/3/193.short>
- Briggs, D. E., Brookes, P. A., Stevens, R., & Boulton, C. A. (2004). *Lúpulo: Botánica. En Ciencia y práctica cervecera*.
- Cárdenas, H. A. R. (2003). *Determinación de Parámetros Físico-Químicos para la Caracterización de Cerveza Tipo Lager Elaborada por Compañía Cervecera Kunstmann SA. Universidad Austral de Chile, Valdivia Chile*.

- Careaga, M. G. J. (2014). Superficies de respuesta mediante un diseño central compuesto. *Revista Varianza*, 31-36.
- Carrillo, G. (2011). *Estudios analíticos por técnicas cromatográficas de la participación de los ácidos amargos derivados del lúpulo en la formación de los aldehídos de Strecker en la cerveza* (Tesis de posgrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. <http://hdl.handle.net/10872/1555>
- Carvajal, L.D. y Insuasti, M.A., 2010. "Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*Hordeum vulgare*) y yuca (*Manihot Esculenta Crantz*)" (Tesis previa a la obtención del Título Profesional): Universidad Técnica del Norte. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/558/1/03_AGI_256_TESIS.pdf.
- Castellano, H. (2017). *pH, cerveza y usted: La importancia del pH en la elaboración de cerveza*. Hanna Instruments. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/209/ph-cerveza-y-usted-la-importancia-del-ph-en-la-elaboracion-cerveza>
- Chaudhary, D., Kumar, D., Verma, R., Langyan, S., & Sangwan, S. (2014). Maiz Malting: Retrospect and Prospect. *Maiz: Nutrition Dynamics and Novel Uses*, 135-14. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-1623-0_11
- Chelladurai, S. J. S., Murugan, K., Ray, A. P., Upadhyaya, M., Narasimharaj, V., & Gnanasekaran, S. (2020). Optimization of process parameters using response surface methodology: A review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.466>
- Díaz, A. E. I., Brown, A., & de Cuyo, C. D. C. L. (2020). Cervezas artesanales: estudio comparativo de IBUS obtenidos por cálculo de tablas y los cuantificados por espectrofotometría. *CPA M* 5528 *HB*, 41-42. https://feminismo.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/15568/tesis-ibarzabal.pdf
- Eneje, L. O., Ogu, E. O., Aloh, C. U., Odibo, F. J. C., Agu, R. C., & Palmer, G. H. (2004). Effect of steeping and germination time on malting performance of Nigerian white and yellow maize varieties. *Process Biochemistry*, 39(8), 1013-1016. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00202-4)
- Esslinger, H. M. (Ed.). (2009). *Handbook of brewing: processes, technology, markets*. John Wiley & Sons. European Brewery Convention. (1975). *Analytica EBC*. European Brewery Convention. <https://vebriananggrya.wordpress.com/wp->

content/uploads/2013/09/handbook_of_brewing_processes_technology_markets.pdf

- Esteruelas, M., Poinaut, P., Sieczkowski, N., Manteau, S., Fort, M. F., Canals, J. M., & Zamora, F. (2009). Characterization of natural haze protein in sauvignon white wine. *Food Chemistry*, 113(1), 28-35.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.031>
- FAO. (1993). *El maiz en la nutrición humana*. Roma. Obtenido de <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents>
- Fix, G. (1999). *Principles of brewing science: a study of serious brewing issues*. Brewers Publications.
- Gil, A. Tratado de nutrición. Tomo II: *Composición y calidad nutritiva de los alimentos*. Segunda edición. Editorial
- Goldstein, H., Ting, P., Navarro, A., Ryder, D. (1999). Water soluble hop flavor precursors and their role in beer flavor. Proc. 27th Cong. Eur. Brew. Conv., Cannes, 53-62
- Gopalakannan, S., & Senthilvelan, T. (2013). Application of response surface method on machining of Al–SiC nano-composites. *Measurement*, 46(8), 2705-2715.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.04.036>
- Grobman, A., Salhuana, W., Sevilla, R., & Mangelsdorf, P. C. (1961). Races of maize in Peru; their origins, evolution and classification. Grossmann, M., Jose, M., & Yabu, M. (1998). Chemical Composition And Functional Properties of Malted Corn Flours. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 41(2), 1-7.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19631604469>
- Grossmann, M., Jose, M., & Yabu, M. (1998). Chemical Composition And Functional Properties of Malted Corn Flours. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 41(2), 1-7.
<https://doi.org/10.1590/S1516-89131998000200003>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3.ª ed., Vol. 46). McGraw-Hill.
- Habschied, K., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2022). *Evaluación de la calidad de la cerveza: un aspecto sensorial*. Bebidas, 8(1), 15.
<https://doi.org/10.3390/bebidas8010015>
- Hardwick, W. (1995). *Handbook of Brewing*. Texas: Marcel Dekker. Inc.
- Hidalgo, J. (2003). *Tratado de enología; tomos I y II*. Ediciones Mundi- Prensa: Madrid, España.

- Hough, J. S. (1990). *Biotecnología de la cerveza y de la malta*. Editorial ACRIBIA, S.A. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110639>
- <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-54-0234>
- Hughes, P. S., & Simpson, W. J. (1996). Bitterness of congeners and stereoisomers of hop-derived bitter acids found in beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 54(4), 234-237.
- Hughes, P., & Baxter, E. (2001). Beer Quality, Safety and Nutritional aspects. UK: The Royal Society of Chemistry, 40-60.
- Huxley, S. (2006). *La cerveza... poesía líquida: un manual para cervesiáfilos*. Ediciones Trea, SL.. Editorial Everest
- INACAL. (2016). *Norma Técnica Peruana NTP 213.014:2016. Bebidas alcohólicas: Cerveza*. El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe>
- Inaraja, C., & Soriano, J. (2010). *Método de catado de cerveza*. Cerveza y Malta, 47(3), 28–33. <https://aetcm.es/wp-content/uploads/2021/05/028-033-Metodo-catado-187.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Bebidas alcohólicas. Cerveza. Requisitos* (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2262). INEN.
- Iwouno, J. O., & Ojukwu, M. (2012). Effects of experimental variables on the malting quality of Nigerian yellow maize (*Zea mays*), farz 27 variety. *African journal of food science and technology*, 3(10), 252-259.
- Jiménez Careaga, M. G. (2015). Superficies de respuesta mediante un diseño central compuesto. *Revista Varianza*, 11, 31–36.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 1(88). 1863-1868. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>
- Kazemian, A., Khatibi, M., & Ma, T. (2021). Performance prediction and optimization of a photovoltaic thermal system integrated with phase change material using response surface method. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125748. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125748>
- Kenawy, I. M., Eldefrawy, M. M., Eltabey, R. M., & Zaki, E. G. (2019). Melamine grafted chitosan-montmorillonite nanocomposite for ferric ions adsorption: central composite design optimization study. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118189. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118189>

- Krottenthaler, M., Back, W., y Zarkow, M. (2007) Wort Production in Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets. Eßlinger, M. (ed.), Freiberg. Capítulo 7, p. 165, 168-171.
- Kunze, W., & Manger, H.-J. (2006). *Tecnología para Cerveceros y Malteros* (1. ed. en español ed.). (C. Bauer, Trad.) Berlin: VLB
- La Malterie du Château SA. (s. f.). *Cascade: Hop specification sheet*. Castle Malting.
- Lagori, M., Vincenzi, S., Marangon, M., Cattaneo, L., Río Segade, S., Giacosa, S., Bosso, A., & Rolle, L. (2025). *A comprehensive literature review on the role of bentonite in white wine protein stabilization*. *Foods*, 14(23), 3994. <https://doi.org/10.3390/foods14233994>
- Lambri, M., Dordoni, R., Silva, A., & De Faveri, D. M. (2010). Effect of bentonite fining on odor-active compounds in two different white wine styles. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(2), 225–233. <https://doi.org/10.5344/ajev.2010.61.2.225>
- Lambri, M., Dordoni, R., Silva, Á., & De Faveri, D. M. (2012). Comparación del impacto de la adición de bentonita tanto para la clarificación del mosto como para la afinación del vino en el perfil químico del vino de uvas Moscatel de Chambave. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 47(1), 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02800.x>
- Leiper, K. A., Stewart, G. G., & McKeown, I. P. (2003). Beer polypeptides and silica gel Part I. Polypeptides involved in haze formation. *Journal of the Institute of Brewing*, 109(1), 57-72. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-669201-3.00004-X>
- Lewis, M. J., & Young, T. W. (1995). *Brewing*. Chapman & Hall.
- Liñan Pérez, J. F. (2021). *Caracterización sensorial de seis cervezas artesanales peruanas empleando Napping®—Ultra Flash Profile y mapeo de preferencia externo* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Lima, Perú.
- López, E. y Ramírez, L. (2018). *Efecto del tiempo y temperatura del malteado de quinua (Chenopodium quinoa) en la calidad de una cerveza artesanal red alé*

- complementado con malta base pilsen y malta caramelo.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa. Peru.
- López, V. 2012. *Tesina para la obtención del grado de Especialización en Biotecnología. Sendechó, bebida prehispánica, estudio del malteado y propuesta tecnológica de elaboración.* Posgrado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
- Loviso, C. L., & Libkind, D. (2018). Síntesis y regulación de compuestos del aroma y el sabor derivados de la levadura en la cerveza: ésteres. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(4), 436–446.
- Lubbers, S., Charpentier, C. & Feuillat, M. (1996). Estudio de la unión de compuestos aromáticos por bentonita en mosto, vino y sistemas modelo. *Vitis*, 35, 59–62.
- Lukić, I., Horvat, I., Radeka, S., Delač Salopek, D., Markeš, M., Ivić, M., & Butorac, A. (2024). *Wine proteome after partial clarification during fermentation reveals differential efficiency of various bentonite types.* *Journal of Food Composition and Analysis*, 126, 105889. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105889>
- Marangon, M., Vincenzi, S., Lucchetta, M., & Curioni, A. (2010). Heating and reduction affect the reaction with tannins of wine protein fractions differing in hydrophobicity. *Analytica Chimica Acta*, 660(1-2), 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.10.038>
- Marchal, R., Marchal-Delahaut, L., Michels, F., Parmentier, M., Lallement, A. y Jeandet, P. (2002). Uso de gluten de trigo como agente clarificante de mostos y vinos blancos. *Revista estadounidense de enología y viticultura*, 53, 308–314.
- Meilgaard, M. (1977). *El Cerveceros en la práctica*. Segunda Edición. Asociación de Maestros cerveceros de las Américas, Madison, Wisconsin. 129 - 139 p.
- Minitab. (2019). “¿Qué son los diseños de superficie de respuesta, los diseños centrales compuestos y los diseños de Box-Behnken?”
- Moio, L., Chambellant, E., Lesschaeve, I., Issanchou, S., Schlich, P., & Etievant, P. X. (1995). Production of representative wine extracts for chemical and olfactory analysis. Montgomery, Douglas C. 2004. *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa, S. New York.
- Montgomery, Douglas C. 2004. *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa, S. New York.
- Mousavi, S. J., Parvini, M., & Ghorbani, M. (2018). Experimental design data for the zinc ions adsorption based on mesoporous modified chitosan using central

- composite design method. *Carbohydrate Polymers*, 188, 197–212.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.117>
- NIST (2013). “5.3.3.6.1. Central Composite Designs (CDD)”. en *Engineering Statistics Handbook*.
- Noa, Y. K. (2024). *Efecto de la temperatura y tiempo de hidrólisis en el contenido de azúcares reductores y determinación del porcentaje de etanol del mosto de la malta de maíz (Zea mays L.) de las variedades morocho, pillpe, chullpi y morado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Cristóbal de Humanga]
<https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/7602>
- Oreglia, F. (1978). *Enología teórico-práctica* (Tomo 1, 3.^a ed.).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1993). *El maíz*.
- Oscanoa, C., Sevilla, R., Requis, F., Jara, W., Nuñez, P., Nieves, V. & Rodríguez, C. O. (2010). Razas de maíz en la sierra central del Perú. *INIA. EEA Santa Ana. Perú*. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/942>
- Pretorius, I. S. (2000). Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancient art of winemaking. *Yeast*, 16(8), 675-729.
[https://doi.org/10.1002/1097-0061\(20000615\)16:8<675::AID-YEA585>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1097-0061(20000615)16:8<675::AID-YEA585>3.0.CO;2-B)
- Quispe Ramos, N. del R. (2009). *Evaluación de clarificantes en el desfangado de un mosto y su efecto en las características finales de un vino blanco abocado Italia (Vitis vinífera var. Italia)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Ramírez, E. de E. (1992). *Elaboración tradicional de chicha de jora*. Ciencia & Desarrollo, 1(15), 92–96.
- Rankine B. (1997), *Manual práctico de enología*, 2da. Edición. Editorial Medica Panamericana. España, 2010.
- Roberts, T. R. (2016). *Brewing Materials and Processes*. Elsevier Inc, 3:47-75
- Rodríguez, C. (2013). *Desarrollo de un vocabulario de evaluación sensorial para sende ché y cerveza de maíz* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa]. Universidad Autónoma Metropolitana.
<https://doi.org/10.24275/uami.ft848q783>
- Rodríguez, H. A. (2003). *Determinación de parámetros físico-químicos para la caracterización de cerveza tipo lager elaborada por la Compañía Cervecería*

- Kunstmann S. A. [Tesis de licenciatura en Ingeniería de Alimentos, Universidad Austral de Chile]. Universidad Austral de Chile.
- Rojas Quispe, L. A., & Valle Cárdenas, M. E. (2023). *Determinación de parámetros óptimos para el malteado de maíz amarillo para su utilización como adjunto en una cerveza tipo ale* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Universidad Católica de Santa María.
- Romero, M. A. (2013). Caracterización de cervezas de malta de maíz y de cebada basadas en su perfil sensorial, compuestos volátiles y capacidad antioxidante. *Universidad Autónoma Metropolitana*.
<https://doi.org/10.24275/uami.pk02c993w>
- Ros, J. L. (1980). *Estabilidad coloidal de la cerveza*. Laboratorio Industrial de Bioquímica.
- Siebert, K. J., Carrasco, A., & Lynn, P. Y. (1996). Formation of protein–polyphenol haze in beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(8), 1997–2005. <https://doi.org/10.1021/jf950716r>
- Suarez, M. (2013). *Cerveza componente y propiedades* (Tesis de maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo, España. <http://hdl.handle.net/10651/19093>
- Swistowicz, W. 1977. El Cerveceros en la práctica. Segunda Edición. Asociación de Maestros cerveceros de las Américas, Madison, Wisconsin. 413 p.
- Taylor, J. P., Jacob, F., & Arendt, E. K. (2015). *Fundamental study on the impact of silica gel and tannic acid on hordein levels in beer*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 177–184.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.07.007>
- Tinseth, G. (1993). Hop Aroma and Flavor. Brewing Techniques varieties. *Process Biochemistry*, 39(8), 1013-1016.
- Türkyılmaz, M., Yemiş, O., & Özkan, M. (2012). Effects of clarification and pasteurization on monomeric anthocyanins and percent polymeric color of black carrot (*Daucus carota* L.) juice. *Food Chemistry*, 134(2), 1052–1058.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.013>
- Varnam, A., & Sutherland, J. (1997). *Bebidas: Tecnología, química y microbiología* (Ed. en español). Editorial Acribia.
- Vera Candiotti, Luciana, María M. De Zan, María S. Cámara, y Héctor C. Goicoechea. 2014. “Experimental design and multiple response optimization. Using the desirability function in analytical methods development”.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.01.034>

- Walsh, A. (1998). The mark of nobility. An investigation into the purity of noble hop lineage. *Brewing Techniques*, 2:60-69.
- Wang, Y., & Ye, L. (2021). Haze formation in beer: Its formation and strategies for mitigation from the perspective of the protein–polyphenol complex. *Foods*, 10(12), 3114. <https://doi.org/10.3390/foods10123114>
- Wimalasiri, P. M., Rutan, T., & Tian, B. (2022). Effect of pre-fermentative bentonite addition on Pinot noir wine colour, tannin, and aroma profile. *Fermentation*, 8(11), 639. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110639>
- Yang, X., Lederer, C., McDaniel, M., & Deinzer, M. (1993). Hydrolysis products of caryophyllene oxide in hops and beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(11), 2082-2085. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf00035a049>
- Yange, X., Lederer, C. McDaniel, M. y Deinzer, M. (1993). Evaluation of hydrolysis products of humulene epoxides II and III. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41 (8): 1300-1304.
- Zbair, M., Anfar, Z., Ait Ahsaine, H., El Alem, N., & Ezahri, M. (2018). Acridine orange adsorption by zinc oxide/almond shell activated carbon composite: operational factors, mechanism and performance optimization using central composite design and surface modeling. *Journal of environmental management*, 206, 383-397. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.058> [Get rights and content](#)
- Zoecklein, B., Fugelsang, K. C., Gump, B. H., & Nury, F. S. (2013). *Wine analysis and production*. Springer Science & Business Media

ANEXOS

Anexo A

Secuencia fotográfica de la obtención de la malta.



1. Maíz hidratado, tendido en tarima para germinar



2. Desarrollo del brote embrionario durante la germinación.



3. Secado de malta a 55°C por 48 h.



4. Molienda de la malta.

Anexo B

Secuencia fotográfica de la cerveza elaborada.



1. Mosto turbio



2. Cerveza, producto de la fermentación de mosto clarificado.



3. Formación de espuma debido a la fermentación isóbarica



4. Lectura del contenido de alcohol (%v/v) en las muestras de cerveza

Anexo C

Tabla de altura de sedimento y turbidez del mosto clarificado con ácido tánico.

TRATAMIENTOS	ALTURA (cm)	TURBIDEZ NTU
T1	4.3	351.33
T2	4.6	423.33
T3	5.2	542.67
T4	4.8	431.33
T5	4.6	430.00
T6	4.9	426.33
T7	4.5	426.00
T8	5.8	642.67
T9	4.5	362.67
T10	5.3	536.33
T11	4.7	435.67
T12	5.6	542.33
T13	4.2	325.33
T14	4.5	357.00
T15	5.3	551.33
T16	4.3	346.33

Anexo D

Tabla de altura de sedimento y turbidez del mosto clarificado con bentonita.

TRATAMIENTOS	ALTURA (cm)	TURBIDEZ NTU
T1	3.2	25.37
T2	4.3	334.00
T3	4.2	333.67
T4	3.2	98.30
T5	3.2	104.43
T6	3	29.60
T7	3.4	95.57
T8	3.8	326.00
T9	4.3	233.00
T10	3.8	84.37
T11	3.4	133.60
T12	4	265.00
T13	3.2	28.67
T14	3.7	206.33
T15	3.6	152.00
T16	3.2	128.00

Anexo E

Ficha de evaluación sensorial

	FORMATO	CÓDIGO	
	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO	VERSIÓN	
		PAGINA	
		FECHA	
FICHA DEL CATADOR		Muestra	

		Intensidad (1) Baja-(5) alta				
Atributos de la cerveza (marca con una cruz el grado de intensidad según la escala descrita)	N° de muestra	1	2	3	4	5

FASE VISUAL

Transparencia 1. Cristalina 2. Poco transparente 3. Turbia 4. Semi opaca 5. Opaca						
Vivacidad 1. Casi sin gas 2. Poca 3. Equilibrada 4. Abundante 5. Gran cantidad						

FASE OLFATIVA

Aroma a malta 1. Inapreciable 2. Suave 3. Fuerte 4. Intenso 5. Muy intenso						
Aroma a lúpulo 1. Inapreciable 2. Suave 3. Fuerte 4. Intenso 5. Muy intenso)						

FASE GUSTATIVA

Gusto de la malta 1. Inexistente 2. Suave 3. Fuerte 4. Intenso 5. Muy intenso						
Gusto del lúpulo 1. inexistente 2. Suave 3. Fuerte 4. Intenso 5. Muy intenso						
Amargor 1. Inexistente 2. Suave 3. Fuerte 4. Intenso 5. muy intenso						

Vivacidad: Capacidad de desprendimiento del gas disuelto de la cerveza en el vaso.

Perfiles de malta (olor y sabor)

Anexo F

Tabla de resultado de la evaluación sensorial de fase visual: transparencia.

FASE VISUAL: TRANSPARENCIA																
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
1	3	1	3	2	2	1	2	2	2	2	1	3	1	4	3	2
2	1	5	4	2	3	1	1	4	3	2	2	3	2	3	2	2
3	1	4	5	2	2	1	2	5	4	2	3	4	2	3	3	2
4	1	4	3	3	3	1	2	4	4	3	4	3	1	4	4	3
5	2	5	5	2	2	3	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2
6	1	4	4	5	3	1	3	4	4	3	4	3	1	3	4	4
7	1	4	5	2	2	1	2	4	4	5	2	3	3	3	2	3
8	2	3	4	2	3	3	3	5	3	2	3	2	3	2	3	5
9	1	5	5	3	2	1	2	5	4	2	3	3	1	3	2	3
10	1	4	4	3	2	4	2	4	3	3	2	3	1	3	4	4

Anexo G

Tabla de resultado de la evaluación sensorial de fase visual: vivacidad

PANELISTAS	FASE VISUAL: VIVACIDAD															
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	1
2	1	2	4	3	1	1	3	1	2	3	4	2	1	3	1	2
3	2	1	1	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	3	2	1
4	2	2	2	1	2	2	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2
5	3	1	2	3	3	2	2	1	3	3	3	2	2	2	2	1
6	3	1	3	2	2	1	3	2	3	2	3	3	1	3	1	1
7	3	2	2	3	3	1	2	3	3	3	3	3	2	2	3	2
8	1	1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3
9	3	2	3	2	3	1	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
10	3	1	2	2	3	2	3	3	3	2	1	1	2	2	2	2

Anexo H*Tabla de resultado de la evaluación sensorial de fase olfativa: aroma a malta.*

PANELISTAS	FASE OLFATIVA: AROMA A MALTA															
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	3	3	2	1	2	1
2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	1	2	1
4	2	2	2	2	1	2	2	3	2	3	2	2	3	1	1	1
5	2	2	3	2	1	1	1	2	1	1	2	2	3	2	2	2
6	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
7	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1
8	1	2	3	2	2	1	2	2	1	2	2	3	2	2	2	2
9	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1
10	1	2	1	1	2	3	2	2	2	2	1	3	1	1	2	2

Anexo I*Tabla de resultado de la evaluación sensorial de fase olfativa: aroma a lúpulo.*

PANELISTAS	FASE OLFATIVA: AROMA A LUPULO															
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
1	1	2	1	3	2	4	3	2	1	3	1	3	3	3	1	2
2	1	1	2	3	3	3	3	3	1	3	2	3	4	4	2	2
3	1	2	1	4	2	3	2	3	1	2	1	2	5	3	1	2
4	1	1	1	3	2	4	2	3	2	2	1	3	3	4	1	3
5	2	2	1	3	2	3	2	2	1	3	2	3	3	3	1	2
6	1	2	2	3	3	4	2	2	2	3	1	4	3	3	1	2
7	2	2	1	3	2	3	3	3	1	2	1	3	4	4	1	3
8	1	2	1	4	3	3	3	3	1	3	1	4	4	3	1	2
9	2	1	2	3	3	3	3	1	2	3	1	3	4	3	2	3
10	1	2	2	2	4	4	4	3	2	2	1	2	3	5	3	2

Anexo J

Tabla de resultado de la evaluación sensorial de fase gustativa: gusto de la malta.

PANELISTAS	FASE GUSTATIVA: GUSTO DE LA MALTA															
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
1	2	2	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3
2	3	3	4	3	2	4	4	1	3	2	2	2	3	2	3	4
3	3	3	3	2	3	3	3	2	1	2	3	3	2	3	2	3
4	2	2	4	1	3	4	4	2	2	1	2	3	3	4	3	4
5	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3
6	3	3	3	2	2	4	4	2	2	2	2	3	4	4	3	3
7	4	3	3	1	3	3	3	1	3	1	3	3	3	3	3	2
8	3	2	4	2	2	4	4	2	3	2	4	4	3	3	3	2
9	4	2	3	2	3	4	4	1	3	2	3	3	2	4	2	2
10	3	3	4	3	3	3	3	1	3	2	2	2	3	3	2	4

Anexo K

Tabla de resultado de la evaluación sensorial de fase gustativa: gusto del lúpulo.

PANELISTAS	FASE OLFATIVA: GUSTO DEL LUPULO															
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
1	1	2	3	4	2	2	2	2	1	4	1	4	4	4	1	2
2	1	2	1	4	3	2	1	2	1	4	1	3	3	5	2	3
3	2	1	2	5	2	2	2	2	2	3	1	4	4	4	1	2
4	2	3	2	4	3	3	2	3	1	3	2	5	5	5	1	2
5	2	2	2	4	2	2	2	2	2	5	1	3	4	4	3	2
6	2	2	2	4	2	1	2	2	1	4	1	3	4	3	2	3
7	1	2	1	5	3	2	2	1	1	3	1	3	3	3	2	2
8	1	3	1	4	2	3	3	2	2	4	2	4	3	4	3	2
9	2	2	2	5	2	2	2	2	1	3	1	4	4	4	2	2
10	1	2	2	4	2	3	1	2	1	4	1	3	5	3	2	4

Anexo L

Tabla de resultado de la evaluación sensorial de fase gustativa: amargor.

PANELIST AS	FASE OLFATIVA: AROMA A LUPULO															
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T1 0	T1 1	T1 2	T1 3	T1 4	T1 5	T1 6
1	2	2	3	4	2	6	3	3	2	4	4	4	4	3	2	3
2	2	2	1	5	2	2	4	4	3	3	3	4	3	3	2	2
3	2	2	2	5	3	3	2	3	2	4	4	4	4	4	2	3
4	2	4	3	5	3	2	3	3	2	3	5	5	5	5	2	3
5	2	3	2	4	3	3	3	3	2	4	4	3	4	4	1	3
6	1	4	2	4	3	3	3	2	1	4	3	4	4	5	3	2
7	2	2	1	5	4	3	2	3	2	4	4	3	3	4	2	2
8	1	4	2	4	3	2	3	3	2	3	3	4	3	4	2	3
9	2	3	2	5	4	4	3	2	1	3	4	3	4	3	3	2
10	3	4	1	4	3	2	2	3	2	4	5	4	5	4	1	2

Anexo M

Tabla de resultado de la evaluación sensorial: aceptabilidad.

PANELISTAS	ACEPTABILIDAD															
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
1	2	2	1	2	2	5	4	2	4	2	4	1	2	2	3	2
2	1	3	3	3	2	3	4	1	4	3	3	3	4	2	3	2
3	2	3	2	2	2	3	4	1	4	2	3	2	3	3	3	3
4	2	3	2	2	3	4	3	1	4	3	4	1	4	3	3	3
5	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	4	3	3	2
6	2	3	3	3	2	3	4	1	3	3	4	1	4	2	3	3
7	2	3	2	2	3	3	3	1	3	3	4	3	4	3	3	3
8	1	3	2	3	3	5	4	2	4	3	3	1	3	3	2	3
9	2	3	3	3	3	3	5	2	4	3	4	2	4	2	3	4
10	2	3	2	2	3	3	4	1	3	3	4	3	4	3	3	4

Anexo N

NTP 213.014 2016. Requisitos fisicoquímicos para la cerveza.

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 213.014
6 de 11

4.2 Respetto al grado alcohólico

4.2.1 **Cerveza sin alcohol:** Se entiende a la cerveza cuyo contenido alcohólico es inferior o igual a 0,5 % en volumen.

4.2.2 **Cerveza con alcohol:** Es la cerveza cuyo contenido alcohólico es superior a 0,5 % en volumen.

4.3 Respetto al color

4.3.1 **Cervezas claras:** color < 30 unidades E.B.C.

4.3.2 **Cervezas oscuras:** color $\geq$ 30 unidades E.B.C.

4.4 Respetto a la proporción de materias primas

4.4.1 Cerveza

Es el producto elaborado a partir de un mosto cuyo contenido de cebada malteada es igual o mayor que 55 % en peso del total de la materia prima empleada.

4.4.2 Cerveza 100 % malta o de pura malta

Es la cerveza elaborada a partir de un mosto cuyo extracto original proviene exclusivamente de cebada malteada.

Tabla 1: Requisitos Fisicoquímicos de la Cerveza

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Contenido alcohólico a 20° C	% (v/v)	0,5	12	NTP 213.004
pH	-	3,5	4,8	NTP 213.036
Contenido de dióxido de carbono	Volúmenes de CO ₂	2,2	3,5	NTP 213.038
Plomo	mg/L	-	0,1	NTP 211.047 NTP 101.100
Hierro	mg/L	-	0,2	NTP 211.047 NTP 101.100
Cobre	mg/L	-	1,0	NTP 211.047 NTP 101.100
Zinc	mg/L	-	1,0	NTP 211.047 NTP 101.100
Arsénico	mg/L	-	0,1	NTP 211.047 NTP 101.100

Tabla 2: Requisitos Microbiológicos de la Cerveza

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Microorganismos Aerobios mesófilos	UFC/ml	---	10	ISO 4833-1
Mohos	UFC/ml	---	5	ISO 21527-1
Levaduras	UFC/ml	---	10	ISO 21527-1

7 Muestreo

Las muestras se extraerán de acuerdo a la NTP 213.013.

Anexo O

Tabla Lafort

15,8	1,0646	64,6	8,753	148,2	8,81	8,72	8,23
°Bx		°Oe	°B		Grado Alcohólico Potencial según el rendimiento en alcohol (azúcares por 1% vol.alcohol)		
Grado Brix	Densidad	Grado Oechsle	Grado Baumé	Azúcares (g/L)	16,83 g/L	17 g/L	18 g/L
15,6	1,0637	63,7	8,643	147,1	8,74	8,65	8,17
15,4	1,0628	62,8	8,533	144,4	8,58	8,49	8,02
15,2	1,0620	62,0	8,423	141,6	8,41	8,33	7,87
15,0	1,0611	61,1	8,313	138,9	8,25	8,17	7,71
14,8	1,0603	60,3	8,203	137,2	8,15	8,07	7,62
14,6	1,0594	59,4	8,093	135,0	8,02	7,94	7,50
14,4	1,0586	58,6	7,983	132,8	7,89	7,81	7,38
14,2	1,0577	57,7	7,873	131,2	7,79	7,71	7,29
14,0	1,0568	56,8	7,763	129,0	7,66	7,59	7,17
13,8	1,0560	56,0	7,652	126,3	7,50	7,43	7,02
13,6	1,0551	55,1	7,542	123,6	7,34	7,27	6,86
13,4	1,0543	54,3	7,432	121,9	7,24	7,17	6,77
13,2	1,0534	53,4	7,322	119,2	7,08	7,01	6,62
13,0	1,0526	52,6	7,211	117,6	6,99	6,92	6,53
12,8	1,0518	51,8	7,101	116,0	6,89	6,82	6,44
12,6	1,0509	50,9	6,991	113,2	6,73	6,66	6,29
12,4	1,0501	50,1	6,880	111,0	6,60	6,53	6,17
12,2	1,0492	49,2	6,770	108,4	6,44	6,38	6,02
12,0	1,0484	48,4	6,660	106,8	6,35	6,28	5,93
11,8	1,0475	47,5	6,549	104,1	6,18	6,12	5,78
11,6	1,0467	46,7	6,439	103,3	6,14	6,08	5,74
11,4	1,0459	45,9	6,329	100,3	5,96	5,90	5,57
11,2	1,0450	45,0	6,218	98,1	5,83	5,77	5,45
11,0	1,0442	44,2	6,108	95,0	5,64	5,59	5,28
10,8	1,0434	43,4	5,997	93,4	5,55	5,49	5,19
10,6	1,0425	42,5	5,887	91,3	5,42	5,37	5,07
10,4	1,0417	41,7	5,776	89,6	5,32	5,27	4,98
10,2	1,0409	40,9	5,666	87,8	5,22	5,16	4,88
10,0	1,0400	40,0	5,555	84,9	5,04	4,99	4,71
9,8	1,0392	39,2	5,444	82,2	4,88	4,84	4,57
9,6	1,0384	38,4	5,334				
9,4	1,0376	37,6	5,223				
9,2	1,0367	36,7	5,112				
9,0	1,0359	35,9	5,002				
8,8	1,0351	35,1	4,891				
8,6	1,0343	34,3	4,780				
8,4	1,0334	33,4	4,670				
8,2	1,0326	32,6	4,559				
8,0	1,0318	31,8	4,448				
7,8	1,0310	31,0	4,337				

*concentraciones aproximadas según la composición de los mostos. Valores medidos a 20°C.

1. STANDARD AMERICAN BEER

Esta categoría describe las cervezas estadounidenses de consumo cotidiano que atraen a un amplio público. Las cervezas de esta categoría no suelen ser complejas, tienen sabores suaves y accesibles e incluyen a ales y lagers. Las ales suelen tener características parecidas a las lagers, o están diseñadas como cervezas de transición para atraer a consumidores de lagers de producción masiva. Las cervezas de consumo masivo pero con un atractivo u origen más internacional son descritas en la categoría International Lager.

1A. American Light Lager

Impresión general: Una lager altamente carbonatada, de cuerpo muy ligero, casi sin sabor, diseñada para ser consumida muy fría. Muy refrescante e ideal para calmar la sed.

Aroma: El aroma bajo a malta es opcional, pero puede ser percibido como granoso, dulce o similar al maíz, si es que está presente. El aroma ligero a lúpulo de tipo especiado, floral o herbáceo es opcional. Aunque un perfil de fermentación limpio es deseable, un ligero carácter a levadura no es un defecto.

Apariencia: Color de pajizo muy pálido a amarillo pálido. Espuma blanca y esponjosa que rara vez persiste. Muy transparente.

Sabor: Paladar relativamente neutro con un final *crisp* y seco, con un sabor de muy bajo a bajo con perfil granoso o similar al maíz que puede ser percibido como dulce debido al bajo amargor. El sabor bajo a lúpulo floral, especiado o herbáceo es opcional, pero rara vez es lo suficientemente intenso como para detectarlo. Amargor de muy bajo a bajo. El balance puede variar desde ligeramente maltoso a ligeramente amargo, pero por lo general está en equilibrio. La carbonatación alta puede acentuar lo chispeante del final seco. Perfil de fermentación limpio.

Sensación en boca: Cuerpo muy ligero, a veces aguado. Muy altamente carbonatada con un ligero picor carbónico en la lengua.

Comentarios: Diseñada para atraer al público más amplio posible. Los sabores fuertes son un defecto. Con poco sabor a malta o lúpulo. A menudo lo que más diferencia entre sí a las marcas es el carácter de la levadura.

Historia: A principios de la década de 1940, Coors elaboró una lager ligera durante un breve periodo de tiempo. Las versiones modernas fueron producidas por primera vez por Rheingold en 1967 para atraer a bebedores de cerveza preocupados por las calorías. Pero solo se popularizaron a partir de 1973, cuando Miller Brewing adquirió la receta y las promocionó fuertemente entre los fanáticos de los deportes con la campaña "sabe muy bien, llena menos". Estas cervezas se convirtieron en las más vendidas en Estados Unidos en los años 90.

Ingredientes característicos: Cebada de dos o seis hileras con una cantidad de adjuntos de hasta el 40% de arroz o maíz. La adición de enzimas puede aligerar aún más el cuerpo y reducir los carbohidratos. Levadura lager. Lúpulos inapreciables.

Comparación de estilos: Una versión de American Lager con cuerpo más ligero, menos alcohol y menos calorías. Menos carácter de lúpulo y amargor que una German Leichtbier.

Estadísticas vitales:
IBU: 8 – 12
SRM: 2 – 3

OG: 1.028 – 1.040
FG: 0.998 – 1.008
ABV: 2.8 – 4.2%

Ejemplos comerciales: Bud Light, Coors Light, Grain Belt Premium Light American Lager, Michelob Light, Miller Lite, Old Milwaukee Light

Etiquetas: intensidad-baja, color-pálido, fermentación-baja, acondicionada-en-frío, norte-américa, estilo-tradicional, familia-lager-pálida, balanceada

1B. American Lager

Impresión general: Una lager muy pálida, altamente carbonatada, de cuerpo ligero y bien atenuada, con un perfil de sabor muy neutro y amargor bajo. Servida bien fría, puede ser una bebida muy refrescante e ideal para calmar la sed.

Aroma: El aroma bajo a malta es opcional, pero puede ser percibido como granoso, dulce o similar al maíz si es que está presente. Un ligero aroma a lúpulo especiado o floral es opcional. Aunque un perfil de fermentación limpio es deseable, un ligero carácter a levadura no es un defecto.

Apariencia: Color de pajizo muy pálido a amarillo medio. Espuma blanca y esponjosa que rara vez persiste. Muy transparente.

Sabor: Paladar relativamente neutro con un final *crisp* y seco, con un sabor de bajo a moderadamente bajo con perfil granoso o similar al maíz que puede ser percibido como dulce debido al bajo amargor. El lúpulo moderadamente bajo es opcional con carácter floral, especiado o herbáceo, si es que es lo suficientemente fuerte para ser distinguido. Amargor de bajo a medio bajo. El balance puede variar desde ligeramente maltoso a ligeramente amargo, pero por lo general está en equilibrio. La carbonatación alta puede acentuar lo chispeante del final seco. Perfil de fermentación limpio.

Sensación en boca: Cuerpo de bajo a medio bajo. Muy altamente carbonatada con un ligero picor carbónico en la lengua.

Comentarios: Frecuentemente quienes no son consumidores de cerveza artesanal en Estados Unidos esperan recibir este estilo cuando piden "una cerveza". Puede ser vendida como Pilsner fuera de Europa, pero no debe ser confundida con ejemplos tradicionales. Los sabores fuertes son un defecto. Con poco sabor a malta o lúpulo, a menudo lo que más diferencia entre sí a las marcas es el carácter de la levadura.

Historia: Evolucionaron a partir de la cerveza Pre-Prohibition Lager (ver categoría 27) en Estados Unidos después de la Prohibición y de la Segunda Guerra Mundial. Las cervecerías que lograron sobrevivir se consolidaron, expandieron su distribución y promocionaron fuertemente un estilo de cerveza que resultó muy atractivo para amplios sectores de la población. Llegó a ser el estilo de cerveza dominante por muchas décadas, causando la aparición de muchos rivales internacionales quienes desarrollarían productos insípidos similares para el mercado masivo apoyados por una fuerte publicidad.

Ingredientes característicos: Cebada de dos o seis hileras con una cantidad de adjuntos de hasta el 40% de arroz o maíz. Levadura lager. Ligero uso de lúpulos.

Comparación de estilos: Más fuerte, con más sabor y cuerpo que una American Light Lager. Menos amargor y sabor que una International Pale Lager. Significativamente menos

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Determinación de la concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus* L.), Tanino y clarificante para la elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*)**Expositora: Yesenia Diaz Tomaylla****Bachiller en Ingeniería Industrias Alimentarias****Expediente N° 2576548****Resolución Decanal N° 210-2025-UNSCH-FIQM/D****Fecha: 26-12-2025**

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las dos de la tarde con cinco minutos del día martes treinta de diciembre del año dos mil veinticinco, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Yesenia Diaz Tomaylla**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ, Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE (Miembros) y Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ (Presidente encargado con Memorando N° 603-2025-UNSCH-FIQM/D), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente).

Acto seguido, el Presidente (e) del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Determinación de la concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus* L.), Tanino y clarificante para la elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*)**, presentado por la Bachiller **Yesenia Diaz Tomaylla**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 210-2025-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente (e) del Jurado invitó a la Bachiller **Yesenia Diaz Tomaylla**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treinta y cinco minutos.

Finalizado la exposición de la Bachiller, el presidente (e) invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA (Miembro-Asesor), Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE y Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ (Miembros).

A continuación, el presidente (e) del jurado invitó al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16).**

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Determinación de la concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus* L.), Tanino y clarificante para la elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*)**Expositora: Yesenia Diaz Tomaylla****Bachiller en Ingeniería Industrias Alimentarias****Expediente N° 2576548****Resolución Decanal N° 210-2025-UNSCH-FIQM/D****Fecha: 26-12-2025**

Finalmente, el Presidente (e) del Jurado dispuso que se invite a la Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, la Bachiller **Yesenia Diaz Tomaylla**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las cuatro de la tarde con diez minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ
Presidente (e)
.....
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
Miembro
.....
Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA
(Miembro-Asesor)
.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, la Srta. Yesenia DIAZ TOMAYLLA egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor Ing. Jesús Javier Paniagua Segovia, la Tesis: Determinación de la concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus* L.), tanino y clarificante para la elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*) y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 12% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha agosto 04 de 2026 e Identificador de la Entrega N° 3008120810.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, 04 de agosto del 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

Ing.º J.º Antonio J. Matos Alejandro
DIRECTOR

c.c. : Archivo.
Constancia N° 093

Determinación de la concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus* L.), tanino y clarificante para la elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*)

por Yesenia Diaz Tomaylla

Determinación de la concentración adecuada de lúpulo (*Humulus lupulus* L.), tanino y clarificante para la elaboración de cerveza de maíz (*Zea mays*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	2%
	Trabajo del estudiante	
2	ri-ng.uaq.mx	1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unjbg.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	purl.org	1%
	Fuente de Internet	
5	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
6	uvadoc.uva.es	1%
	Fuente de Internet	
7	docplayer.es	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.unheval.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
10	Submitted to Universidad Católica de Santa María	<1%
	Trabajo del estudiante	
11	repositorio.unamba.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
12	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
13	fabricarcerveza.es	<1%
	Fuente de Internet	
14	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

Submitted to Universidad Agraria del Ecuador

15	Trabajo del estudiante	<1 %
16	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
19	doi.org Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	saber.ucv.ve Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universitat Autònoma de Barcelona Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
25	revistas.inia.es Fuente de Internet	<1 %
26	archive.org Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas
Excluir bibliografía

Activo
Activo

Excluir coincidencias

< 30 words