

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**OPTIMIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN  
CERVEZA ARTESANAL TIPO ALE CON MALTAS DE  
CEBADA, KAÑIWA Y MAÍZ MORADO INIA 601  
MEDIANTE DISEÑO DE MEZCLAS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Autores** : Bach. Arón León Quispe  
Bach. José Franklin Fernández Vargas

**Asesores** : Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce  
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas

**Línea de investigación:** LI\_IIA\_02 Desarrollo y Caracterización de Productos

**JAÉN-PERÚ, NOVIEMBRE, 2025**




## 3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN  
  
Dr. Alexander Huamán Mera  
Responsable de la Unidad de Investigación  
de la Facultad de Ingeniería



**FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN**

En la ciudad de Jaén, el día 25 de noviembre del año 2025, siendo las 15:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dra. Delicia Lilitana Bazán Tantaleán  
Secretario: Mg. Giancarlo Joel Pérez Mejía  
Vocal: M. Sc. Yuriko Murillo Domen, para evaluar la Sustentación de:

- ( ) Trabajo de Investigación  
( x ) Tesis  
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "OPTIMIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN CERVEZA ARTESANAL TIPO ALE CON MALTAS DE CEBADA, KAÑIWA Y MAÍZ MORADO INIA 601 MEDIANTE DISEÑO DE MEZCLAS", presentado por las tesis Arón León Quispe y José Franklin Fernández Vargas de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

( x ) Aprobar ( ) Desaprobar ( x ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

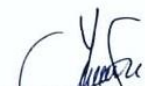
- |                |            |        |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente   | 18, 19, 20 | ( )    |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( 16 ) |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( )    |
| d) Regular     | 13         | ( )    |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | ( )    |

Siendo las 16:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 25 de noviembre de 2025

  
Dra. Delicia Lilitana Bazán Tantaleán  
Presidente

  
Mg. Giancarlo Joel Pérez Mejía  
Secretario

  
M. Sc. Yuriko Murillo Domen  
Vocal

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

## ANEXO N°06

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Arón León Quispe y José Franklin Fernández Vargas, Bachilleres de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 70906959 y 73431409.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado: “Optimización de Compuestos Bioactivos en Cerveza Artesanal Tipo Ale con Maltas de Cebada, Kañiwa y Maíz Morado INIA 601 Mediante un Diseño de Mezclas”. Asesorado por el Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce y la Dra. Elza Berta Aguirre Vargas.


El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, lunes, diciembre del 2025.

  
\_\_\_\_\_  
JOSÉ FRANKLIN  
FERNÁNDEZ VARGAS

  
\_\_\_\_\_  
Arón León Quispe

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
ÍNDICE DE ANEXOS .....	5
I. INTRODUCCIÓN .....	8
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
2.1. Lugar de ejecución .....	10
2.2. Población, muestra y muestreo .....	10
2.3. Materiales .....	11
2.4. Métodos .....	12
2.4.1. Metodologías .....	12
2.4.2. Diseño experimental .....	26
2.4.3. Análisis estadístico .....	34
III. RESULTADOS .....	36
3.1. Determinación de las características fisicoquímicas .....	36
3.3. Evaluación de las características fisicoquímicas de las cervezas mediante superficies de respuesta .....	37
3.3.1. Evaluación de pH en la cerveza: .....	37
3.3.2. Evaluación de Sólidos Solubles: .....	39
3.3.3. Evaluación de Grados Alcohólicos en la cerveza: .....	40
3.3.4. Evaluación de Capacidad y estabilidad espumante: .....	41
3.3.5. Evaluación de Turbidez en la cerveza: .....	42
3.3.6. Evaluación de Amargor en la cerveza: .....	43
3.3.7. Evaluación de Color en la cerveza: .....	44
3.3.8. Evaluación de Acidez Titulable: .....	45
3.3.9. Evaluación de Contenido de Fenoles Totales en la cerveza: .....	46
3.3.10. Evaluación de Capacidad antioxidante en la cerveza: .....	47
3.4. Proceso de Optimización mediante superficies de respuesta .....	48
3.5. Validación de los variables optimizadas .....	51
3.6. Evaluación microbiológica previo a la Evaluación Sensorial y Aceptabilidad ..	52
3.7. Evaluación sensorial y Aceptabilidad .....	52
IV. DISCUSIONES .....	57
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
VII. ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Elaboración de la curva patrón de ácido gálico utilizando una solución concentrada de 400mg/L .....	20
<b>Tabla 2</b> Elaboración de la curva de calibración con una solución estándar de Trolox DPPH.....	21
<b>Tabla 3</b> Parámetros microbiológicos para cerveza .....	23
<b>Tabla 4</b> Diseño experimental indicando las Variables independientes codificadas (números arábigos) y los valores reales porcentuales (entre paréntesis).....	27
<b>Tabla 5</b> Características fisicoquímicas de cada uno de los tratamientos evaluados.....	36
<b>Tabla 6</b> Características de contenido de compuestos bioactivos de cada uno de los tratamientos evaluados. ....	37
<b>Tabla 7</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para pH .....	38
<b>Tabla 8</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para sólidos solubles.....	39
<b>Tabla 9</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para grados alcohólicos .....	40
<b>Tabla 10</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para capacidad y estabilidad espumante .....	41
<b>Tabla 11</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para turbidez .....	42
<b>Tabla 12</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para índice de amargor .....	43
<b>Tabla 13</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para color .....	44
<b>Tabla 14</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para acidez titulable.....	45
<b>Tabla 15</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para contenido de fenoles totales. 46	
<b>Tabla 16</b> Análisis de varianza del modelo de mezclas para capacidad antioxidante.....	47
<b>Tabla 17</b> Especificación de objetivos, rangos e importancia para la optimización multiobjetivo.....	48
<b>Tabla 18</b> Soluciones propuestas por la optimización multiobjetivo.....	51
<b>Tabla 19</b> Comparación entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. ....	51
<b>Tabla 20</b> Evaluación microbiológica de la cerveza artesanal .....	52
<b>Tabla 21</b> Puntajes sensoriales de la formulación de cerveza artesanal y la cerveza comercial .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Diagrama de flujo para obtención de malta de kañiwa.....	13
<b>Figura 2</b> Diagrama de flujo para la obtención de malta de maíz morado INIA 601 .....	15
<b>Figura 3</b> Diagrama de flujo para la elaboración de la cerveza artesanal tipo Ale.....	17
<b>Figura 4</b> Esquema experimental del proceso, evaluación y optimización de cerveza artesanal tipo Ale utilizando maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 .....	33
<b>Figura 5</b> Superficie de respuesta para pH en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM) ..	38
<b>Figura 6</b> Superficie de respuesta para sólidos solubles en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM) .....	40
<b>Figura 7</b> Superficie de respuesta para turbidez en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM).....	42
<b>Figura 8</b> Superficie de respuesta para color en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM)44	44
<b>Figura 9</b> Superficie de respuestas para acidez titulable en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM) .....	45
<b>Figura 10</b> Superficie de respuesta para el contenido de fenoles totales en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM) .....	46
<b>Figura 11</b> Gráficas de perfiles de valores predictivos y deseabilidad .....	50
<b>Figura 12</b> Comparación de resultados microbiológicos según DIGESA .....	52
<b>Figura 13</b> Descriptores de aroma para la formulación de cerveza. ....	53
<b>Figura 14</b> Descriptores de apariencia para las formulaciones de cerveza. ....	54
<b>Figura 15</b> Descriptores de color para las formulaciones de cerveza. ....	54
<b>Figura 16</b> Descriptores de sabor para las formulaciones de cerveza. ....	55
<b>Figura 17</b> Descriptores de sensación en boca para las formulaciones de cerveza.....	55
<b>Figura 18</b> Distribución de la disposición de compra de los panelistas para cada formulación. ....	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexos 1</b> Análisis proximales .....	77
<b>Anexos 2</b> Germinación de kañiwa.....	78
<b>Anexos 3</b> Germinación de maíz morado INIA 601 .....	80
<b>Anexos 4</b> Temperatura de secado.....	82
<b>Anexos 5</b> Secado de maíz morado INIA 601 Y kañiwa germinada.....	82
<b>Anexos 6</b> Elaboración de cerveza artesanal .....	83
<b>Anexos 7</b> Análisis fisicoquímicos .....	89
<b>Anexos 8</b> Análisis de compuestos bioactivos .....	90
<b>Anexos 9</b> Recta de calibrado de ácido gálico.....	92
<b>Anexos 10</b> Curva de calibración equivalente a Trolox para DPPH .....	92
<b>Anexos 11</b> Análisis microbiológicos.....	93
<b>Anexos 12</b> Análisis sensorial de la cerveza artesanal .....	96
<b>Anexos 13</b> Consentimiento informado.....	97
<b>Anexos 14</b> Constancia de aprobación .....	99
<b>Anexos 15</b> Formulario aplicado en el Análisis Sensorial de la cerveza artesanal, a través de la plataforma SurveyMonkey. ....	100



## RESUMEN

La creciente demanda de cervezas artesanales ha motivado la incorporación de granos andinos en formulaciones. Sin embargo, su efecto en la mejora de las cualidades fisicoquímicas y sensoriales aún es limitado. El objetivo de este estudio fue optimizar el contenido de compuestos bioactivos en cerveza artesanal elaborada con maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 mediante un Diseño de Mezclas Simplex Centroide. Se desarrollaron trece tratamientos experimentales, evaluando parámetros fisicoquímicos (pH, °Brix, grados alcohólicos, turbidez, color, acidez titulable, amargor), bioactivos (fenoles totales y capacidad antioxidante) y sensoriales. Los resultados mostraron pH de 4.20–4.60 (óptimo 4.47), sólidos solubles de 3.10–4.40 °Brix (óptimo 4.26), grados alcohólicos de 4.10–5.80% v/v, color de 19.00–70.00 EBC (óptimo 36.23) turbidez de 53.00–274.70 NTU (óptimo 200.00), índice de amargor de 16.00–22.00 IBU y la acidez titulable entre 0.10–0.60% (óptimo 0.20). El contenido fenólico alcanzó 74.26–145.03 mg GAE/L (óptimo 112.39) y la capacidad antioxidante varió entre 19.86–27.88 mg TE/L. El análisis sensorial evidenció que la formulación optimizada logró alta aceptabilidad sensorial y 75% de intención de compra, confirmando que los granos andinos mejoraron la calidad de la cerveza y validaron el diseño de mezclas.

**Palabras clave:** Bebidas fermentadas; antioxidantes; polifenoles; pseudocereales andinos; evaluación sensorial.

## ABSTRACT

The growing demand for craft beers has motivated the incorporation of Andean grains in formulations. However, their effect on improving physicochemical and sensory qualities is still limited. The objective of this study was to optimize the content of bioactive compounds in craft beer produced with barley, kañiwa, and purple corn (INIA 601) malts using a Simplex Centroid Mixture Design. Thirteen experimental treatments were developed, evaluating physicochemical parameters (pH, °Brix, alcohol content, turbidity, color, titratable acidity, bitterness), bioactive compounds (total phenols and antioxidant capacity), and sensory attributes. The results showed pH values of 4.20–4.60 (optimum 4.47), soluble solids of 3.10–4.40 °Brix (optimum 4.26), alcohol content of 4.10–5.80% v/v, color of 19.00–70.00 EBC (optimum 36.23), turbidity of 53.00–274.70 NTU (optimum 200.00), bitterness index of 16.00–22.00 IBU, and titratable acidity between 0.10–0.60% (optimum 0.20). Total phenolic content reached 74.26–145.03 mg GAE/L (optimum 112.39), and antioxidant capacity ranged from 19.86–27.88 mg TE/L. Sensory analysis showed that the optimized formulation achieved high sensory acceptability and a 75% purchase intention, confirming that Andean grains improved beer quality and validated the mixture design approach.

**Keywords:** Fermented beverages; antioxidants; polyphenols; Andean pseudocereals; sensory evaluation

## I. INTRODUCCIÓN

La cerveza es una de las bebidas más consumidas en el mundo, con una producción anual cercana a 200 mil millones de litros, liderada por China, Estados Unidos y Brasil (Cela et al. 2023a; Cela et al. 2023b; Dabija et al. 2021). En el Perú, la cerveza artesanal representa solo 0.1% del consumo total, aunque destaca por su diversidad (Gómez y León, 2020). No obstante, la mayoría de estas cervezas priorizó atributos sensoriales, relegando el desarrollo de compuestos bioactivos (Bezerril et al. 2023; Queirós et al. 2024). Sin embargo, aún existe escasa evidencia científica sobre el potencial de combinar kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y maíz morado INIA 601 (*Zea mays L.*) con cebada en la elaboración de cervezas tipo Ale.

La limitada disponibilidad de información restringe el conocimiento acerca del impacto en los parámetros fisicoquímicos, el contenido de compuestos bioactivos y la aceptabilidad sensorial, lo que constituye un vacío de investigación. En diversas investigaciones se ha evidenciado que la inclusión parcial de kañiwa en la cerveza artesanal enriquece su perfil nutricional al aportar carbohidratos, proteínas, fibra y compuestos antioxidantes (Repo-Carrasco et al. 2003). De igual manera, el maíz morado INIA 601 sobresale por su elevado contenido de antocianinas y polifenoles, compuestos asociados a efectos antioxidantes y preventivos en la salud (Almerco 2022; Sánchez et al. 2023). Estos aportes aumentan el valor nutricional y sensorial de la cerveza artesanal, favoreciendo su aceptación entre consumidores (Pachas, 2019).

Diversas investigaciones han evidenciado que la incorporación de pseudocereales y granos andinos en la cerveza artesanal mejora su perfil funcional, fisicoquímicos y sensorial. En este contexto, López-Rodríguez et al. (2025) señalaron que el uso de quinua en una cerveza tipo Red Ale permitió tener valores entre 3.8-4.4 pH, sólidos solubles entre 4.2–5.0 °Brix y grados alcohólicos de 3.2-4.5% v/v, estos últimos inferiores al control elaborado solo con cebada (5.1% v/v). De manera complementaria, Paucar-Menacho et al. (2025) reportaron que el uso de kañiwa permitió alcanzar 3.3-5.3 °Brix, 4.94-6.19% v/v grados alcohólicos, 11.00-96.50 NTU turbidez y hasta 110% espuma, además de elevar los fenoles totales (141 mg GAE/100 g) y capacidad antioxidantes (1975 µmol TE/g ps). Esto confirma que los granos andinos no solo modifican los parámetros tecnológicos y la estabilidad de la espuma, sino que también potencian el contenido de compuestos bioactivos, aportando valor funcional a las cervezas artesanales, como se busca en la presente investigación.

En el caso del uso del maíz morado y sus características desarrolladas, Sánchez et al. (2023) describieron en Red Ale colores de 30-45 EBC, amargor de 22-27 IBU, acidez titulable de 0.40-0.55% y un contenido fenólico extraordinario de 20,820 mg GAE/L. Otros estudios internacionales complementan estos hallazgos: Nunes Filho et al. (2021) reportaron 4.5-5.2% v/v de etanol en cervezas tipo Ale, Silva et al. (2022) identificaron pH de 4.28-4.81, acidez titulable de 0.17-0.44% y hasta 2172 mg GAE/L de fenoles en cervezas portuguesas, mientras que De Flaviis et al. (2024) informaron colores de 8–18 EBC y amargor de 16–28 IBU en cervezas de trigo.

De igual forma, se han reportado la incorporación de otros adjuntos al proceso cervecero. Humia et al. (2020) con batata Beauregard obtuvieron pH de 4.63–5.00, Wut al. (2024) alcanzaron turbidez de 7.17–7.78 NTU y antioxidantes de 1588 mg TE/L al incorporar té, y Dzedziński et al. (2023) registraron un aumento del 30% en fenoles con extracto de brotes de pino. Asimismo, Mendoza et al. (2022) hallaron 271–362 mg GAE/L en cervezas mexicanas y Coulibaly et al. (2023) entre 216–268 mg GAE/L en cervezas de maíz y arroz, mientras que Nedyalkov et al. (2025) demostraron que la maduración con bilberry elevó los fenoles hasta 957 mg GAE/L y triplicó la capacidad antioxidante. Finalmente, revisiones recientes confirman que frutas, hierbas y propóleos pueden incrementar los fenoles por encima de 2000 mg GAE/L (Boronat et al. 2020; Martinez-Gomez et al. 2020; Nardini, 2023)

En este sentido, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿En qué grado afectarán las combinaciones de maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601, determinadas mediante un diseño de mezclas simplex centroide, el contenido de compuestos bioactivos, las características fisicoquímicas y la aceptabilidad sensorial de una cerveza artesanal tipo Ale?

El objetivo principal de esta investigación fue optimizar las proporciones de maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 mediante un diseño de mezclas simplex centroide para maximizar el contenido de compuestos bioactivos (polifenoles totales y capacidad antioxidante), las características fisicoquímicas y la aceptabilidad sensorial de una cerveza artesanal tipo Ale; los objetivos específicos fueron determinar las características fisicoquímicas y el contenido de compuestos bioactivos de las formulaciones obtenidas, optimizar las proporciones de maltas mediante modelos matemáticos validados, evaluar la inocuidad microbiológica del producto final conforme a la normativa sanitaria vigente y analizar la aceptabilidad sensorial de la formulación optimizada y un control.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Lugar de ejecución**

La investigación se desarrolló en múltiples etapas con localización diferenciada según la naturaleza de las actividades experimentales. El proceso de germinación en condiciones estandarizadas y la elaboración de cerveza artesanal tipo Ale se ejecutó en la ciudad de Jaén, región Cajamarca, en las instalaciones de la empresa Industrias del Bosque S.R.L. Estos procedimientos no pudieron ejecutarse en los laboratorios institucionales debido a la falta de disponibilidad de espacios y a la imposibilidad de trabajar a una escala mayor.

Respecto a las evaluaciones fisicoquímicas (pH, °Brix, grados alcohólicos, estabilidad espumante, índice de amargor, color, acidez titulable, turbidez) se realizaron en el Laboratorio de Fisiología, Postcosecha y Procesamiento de Café y el análisis de compuestos bioactivos (polifenoles totales y capacidad antioxidante mediante método DPPH) se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Cacao, ambos pertenecientes al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), ubicada en Chachapoyas, región Amazonas. Los análisis microbiológicos (aerobios mesófilos viables, mohos y levaduras) fueron ejecutados por el Laboratorio de Microbiología MEVALAB (Lima, Perú), mientras que la evaluación sensorial con 137 panelistas no entrenados se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén, región Cajamarca.

### **2.2. Población, muestra y muestreo**

La población estará constituida por todas las unidades de cerveza artesanal tipo Ale sustituyendo la malta de cebada, por malta de kañiwa y malta de maíz morado INIA 601. La muestra estará constituida por 120 unidades de botellas de cerveza de 330 ml, de las cuales se tomarán una unidad de cerveza para cada repetición, considerando 2 formulaciones por cada análisis. El proceso de muestreo se realizará utilizando un método de conveniencia, donde se seleccionarán las muestras en función de su disponibilidad y accesibilidad.

Para la evaluación sensorial se convocaron inicialmente 180 participantes voluntarios de la Universidad Nacional de Jaén. Se aplicaron criterios de exclusión para garantizar validez de datos: fichas incompletas, participantes de primer a cuarto ciclo académico, inconsistencias entre edad y ciclo cursado, y patrones de respuesta no válidos (puntuaciones idénticas en todos los atributos, tiempo de respuesta inferior a 2 minutos, o valoraciones extremas contradictorias). Tras la depuración, se obtuvieron 137 cuestionarios válidos para el análisis estadístico.

### **2.3. Materiales**

Para la elaboración de la cerveza artesanal tipo Ale, se utilizó kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*), producida en el distrito de San Miguel, región Cajamarca, ubicada a 2620 msnm, con coordenadas “Latitud: -7.00028 Longitud: -78.8514 / Latitud: 7° 0’ 1” Sur Longitud: 78° 51’ 5” Oeste”. Asimismo, se empleó maíz morado INIA 601 (*Zea mays L.*), producido en el distrito de Cajamarca, región Cajamarca, situada a 2731 msnm, con coordenadas “Latitud: -7.15639 Longitud: -78.5156 / Latitud: 7° 9’ 23” Sur Longitud: 78° 30’ 56” Oeste”. Los ingredientes complementarios como lúpulo Cascade, malta de cebada tipo Pale ale, levadura (Safale US-05) y botellas Amber, que adquiridos de la empresa Cervecería Doña Cata S.A.C. ubicada en la ciudad de Lima. Entre los principales reactivos analíticos y materiales químicos tanto en los análisis fisicoquímicos y compuestos bioactivos se encuentran: ácido gálico (Sigma-Aldrich, Estados Unidos), Folin-Ciocalteu (Merck, Alemania), carbonato de sodio al 8,5% (Merck, Alemania), metanol al 80% (J.T. Baker-Estados Unidos), 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) (Sigma-Aldrich, Estados Unidos), Trolox (Sigma-Aldrich, Estados Unidos), hidróxido de sodio (NaOH 0.1 N) y fenolftaleína al 1%, ambos (Merck, Alemania) así como agua destilada fue de grado analítico.

## 2.4. Métodos

### 2.4.1. Metodologías

#### A. Proceso de Elaboración de Cerveza

##### **Germinación de kañiwa:**

Este proceso se llevó a cabo siguiendo la metodología adaptada de Chacón y Chingal, (2023), como se observa en la **Figura 1**.

**Recepción:** Se verificó el peso de la kañiwa empleando una balanza digital (Precisur, SF-400, Perú) previamente limpiada y desinfectada.

**Limpieza y selección:** La kañiwa fue desinfectada en recipientes plásticos con una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm, con un tiempo de inmersión de 2 minutos y posterior enjuague con agua de mesa (INACAL, 2020). Posteriormente, se retiraron residuos y granos diferentes a la kañiwa. Finalmente, el grano fue lavado al menos tres veces con agua de mesa para garantizar la eliminación de impurezas.

**Remojado de grano:** Los granos de kañiwa fueron sumergidos en un recipiente de acero inoxidable con agua de mesa en una proporción 1:1,5 y se mantuvieron en reposo durante 8 horas, realizando el recambio de agua cada 3 horas.

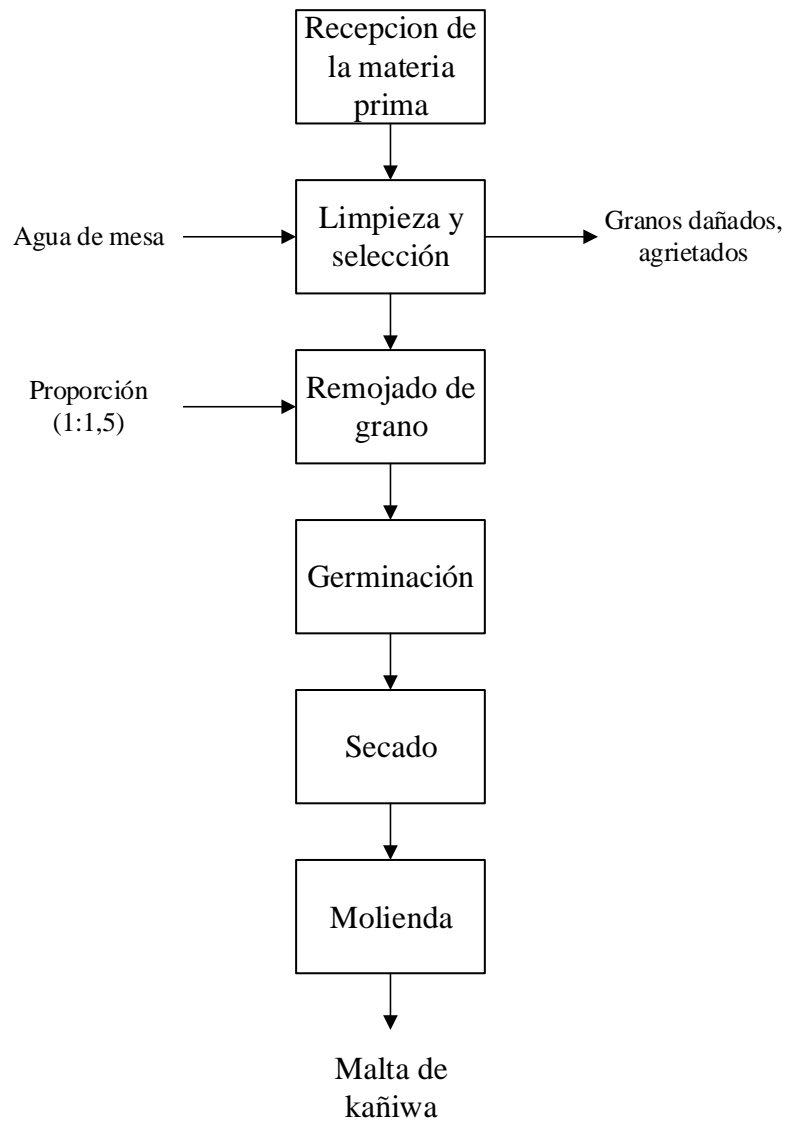
**Germinado:** Los granos fueron distribuidos en bandejas de acero inoxidable con una capa de papel semi-lento. La germinación se efectuó en un germinador (Maquilak, China) (**Anexo 2**). Cada 8 horas se procedió a hidratar, remover y airear los granos. Este procedimiento se prolongó por 24 horas, hasta alcanzar un crecimiento de la plúmula de aproximadamente 1 cm.

**Secado:** Los granos germinados fueron expuestos a temperatura ambiente (32 °C) durante 5 horas en un secador artesanal (**Anexo 5**).

**Molienda:** La kañiwa fue triturada en un molino de rodillos (Kegco, KM11GM-3R, China), previamente desinfectado, ajustando el tamaño de partícula de acuerdo con los requerimientos del proceso.

**Figura 1**

Diagrama de flujo para obtención de malta de cañiwa



*Nota.* Diagrama de flujo Adaptado de Chacón y Chingal, (2023).



## **Germinación de maíz morado INIA 601**

Este proceso se llevó a cabo siguiendo la metodología adaptada de Sánchez et al. (2022), mostrado en el flujograma de la **Figura 2**.

**Recepción:** El maíz morado INIA 601 fue pesado en una balanza digital (Precisur SF-400, Perú), previamente limpiada y desinfectada.

**Limpieza y selección:** El grano de maíz fue colocado en recipientes con una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm, con un tiempo de inmersión de 2 minutos y posterior enjuague con agua de mesa (INACAL, 2020). Luego, se descartaron residuos y granos diferentes al maíz, y finalmente el grano fue lavado al menos tres veces con agua de mesa para garantizar la eliminación de impurezas.

**Remojo del grano:** Los granos fueron sumergidos en bandejas con agua de mesa en una proporción equivalente al 75% del peso del maíz. Este proceso se mantuvo a temperatura ambiente (28 °C) durante 36 horas, efectuándose el recambio de agua diariamente y eliminándose los granos flotantes.

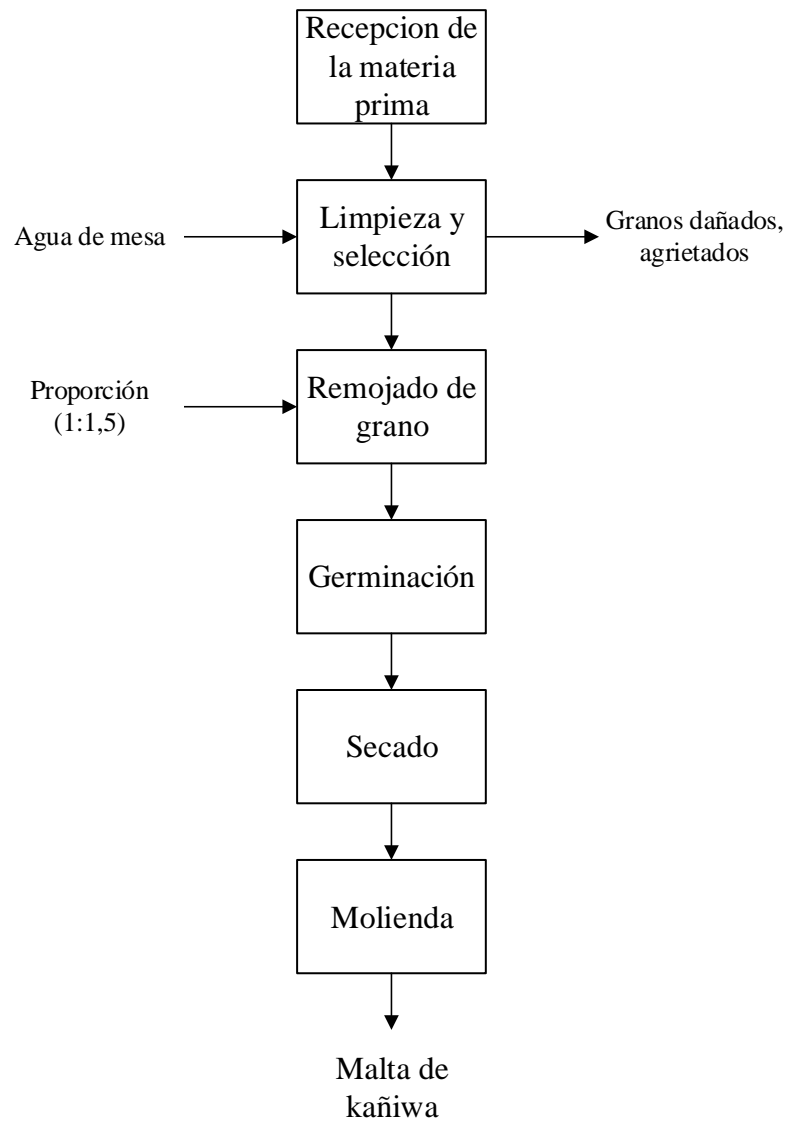
**Germinación:** El maíz fue esparcido en bandejas de acero inoxidable y cubierto con papel semilento para conservar la temperatura de 28 °C. Esta etapa tuvo una duración de 5 días, al término de los cuales la plúmula alcanzó un crecimiento de 2 a 4 cm (**Anexo 2**).

**Secado:** Los granos germinados fueron sometidos a un proceso de secado a temperatura ambiente (32 °C) durante 8 horas empleando un deshidratador artesanal (**Anexo 5**).

**Molienda:** Los granos fueron molidos en un molino de rodillos (Kegco, KM11GM-3R, China), previamente limpio y desinfectado, ajustando el tamaño de molienda según los requerimientos del proceso

**Figura 2**

Diagrama de flujo para la obtención de malta de maíz morado INIA 601



*Nota.* Diagrama representativo de malta de maíz morado INIA 601. Adaptado de Sánchez et al. (2022).

### **Elaboración de cerveza artesanal tipo Ale**

Este proceso se llevó a cabo siguiendo la metodología adaptada de Sánchez et al. (2022), considerando los pasos del flujograma de la **Figura 3**.

**Molienda:** Los granos de malta de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 fueron triturados y molidos mediante un molino de rodillos (Kegco, KM11GM-3R, China)

**Maceración:** Se sumergieron en 20 litros de agua a una temperatura de 70 °C durante una hora. Durante el proceso, se tomaron muestras para evaluar la conversión de almidón a azúcares, utilizando tintura de Lugol.

**Recirculado:** Se realizó por 10 minutos para optimizar la extracción de azúcares y mejorar la claridad del mosto, garantizando un proceso más eficiente.

**Lavado:** Para el lavado del grano se utilizaron 15 litros de agua a 70 °C con la finalidad de extraer los restos de azúcares retenidos.

**Cocción:** El mosto se llevó a una temperatura de hervor de 100 °C durante 60 minutos. Se añadió lúpulo Cascade al comienzo de la ebullición.

**Whirlpool:** Se agitó el mosto con movimientos circulares para facilitar la sedimentación de los residuos de lúpulo y proteínas en el fondo del recipiente, y se dejó reposar durante 10 minutos.

**Enfriamiento:** Se trasladó al fermentador (Infinity Rotomolding, HDPE, México). Posteriormente, se enfrió con un enfriador de placas hasta que alcanzó una temperatura de 24 °C.

**Inoculación de levadura:** Después de que el mosto alcanzó la temperatura adecuada, se incorporaron 50 gramos de levadura.

**Fermentación:** Se consideró un tiempo de 7 días, a una temperatura de 21 °C, y se registraron los valores de gravedad específica y pH cada día.

**Maduración:** Se trabajó a una temperatura de 3 °C durante 7 días, lo que contribuyó a clarificar la cerveza.

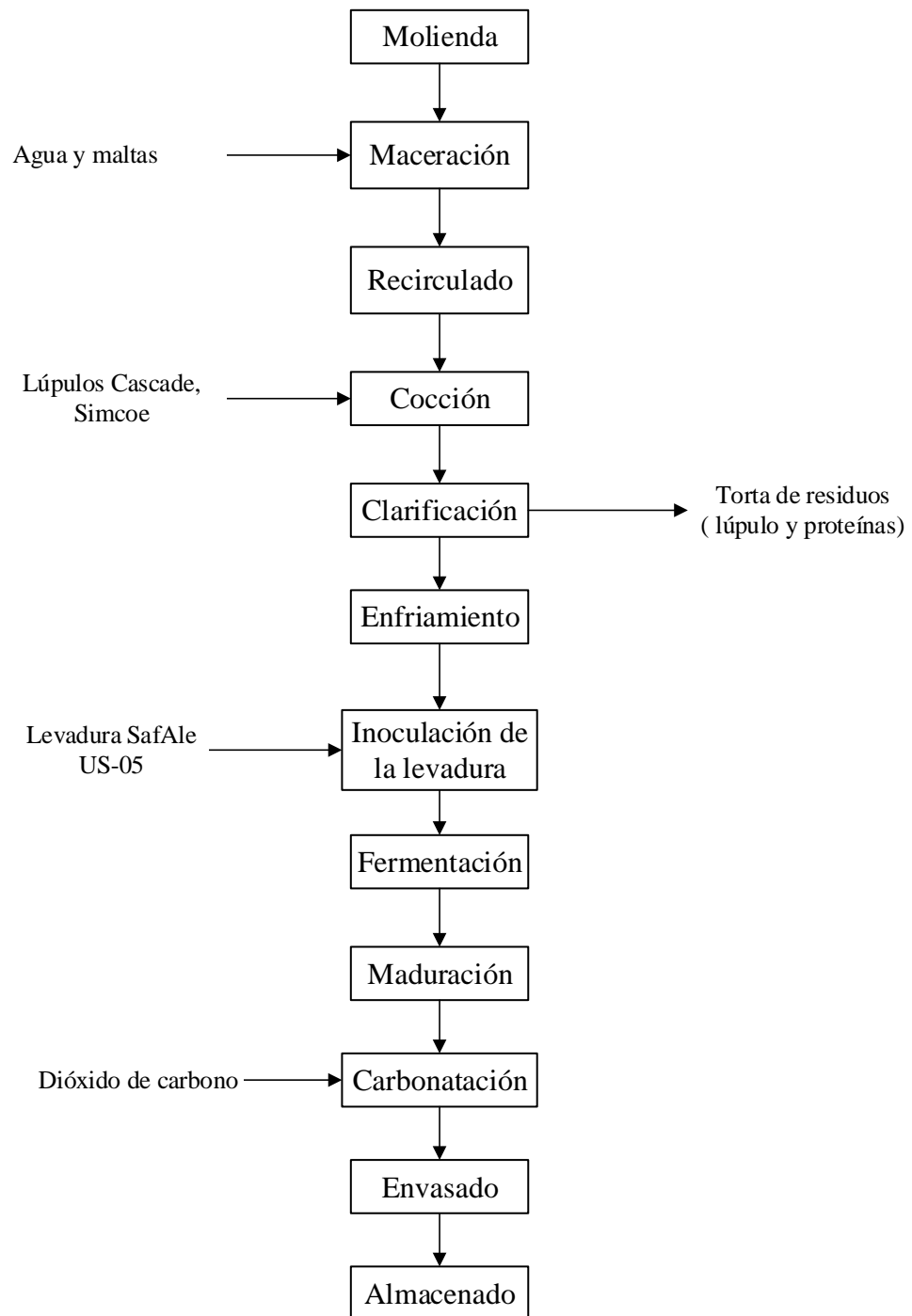
**Carbonatación:** Una vez embarrilada y enfriada a 3 °C, se procedió a la carbonatación forzada en un (Cornelius Kegland, Australia), inyectando CO<sub>2</sub> a 3 bares de presión durante 15 minutos.

**Envasado:** Se utilizó una llenadora manual con barrido de CO<sub>2</sub>.

**Almacenado:** La cerveza fue almacenada a temperatura ambiente y/o a temperatura de 4 °C.

**Figura 3**

Diagrama de flujo para la elaboración de la cerveza artesanal tipo Ale



*Nota.* Diagrama de las etapas de elaboración de cerveza. Adaptado de Sánchez et al. (2022).

## **B. Métodos Analíticos para la cerveza**

### **Análisis fisicoquímicos**

Los análisis fisicoquímicos se realizaron al producto envasado.

#### ***pH***

El análisis se realizó conforme al procedimiento descrito en el método N° 981.12 (AOAC 2005). Se limpió el electrodo del pHmetro (Horiba, Laqua pH-1300, Japón) con agua destilada. Luego, se calibró el equipo usando soluciones buffer de pH 7.01, 4.01 y 10.00. Se prepararon 20 ml de cada muestra en un vaso precipitado de 50 ml y se sumergió el electrodo para realizar la medición a 20°C, registrándose el valor cuando la lectura se estabilizó.

#### **Sólidos solubles (°Brix)**

Se determinó de acuerdo con el método N° 931.12 (AOAC 2005), utilizando un refractómetro digital (Hanna, HI96801, Rumania). Inicialmente, se limpió el refractómetro con agua destilada, asegurándose que estuviera completamente limpio antes de la lectura. Luego, se añadieron unas gotas de la muestra de la bebida a 20°C, y se procedió a tomar la lectura en °Brix.

#### ***Grados alcohólicos***

El análisis se realizó conforme al procedimiento descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN (2003). Se procedió a tomar dos medidas, para lo cual se utilizó una probeta con 175 ml de muestra de cada tratamiento a realizar. Por lo tanto, la primera lectura se hizo antes de comenzar la fermentación (Go), en la cual el densímetro (Brewer's Elite, Scale Hydrometer, Estados Unidos) flotó más debido a los niveles de azúcar presentes, y la segunda toma de muestra fue después de la fermentación, cuando el densímetro flotó menos, ya que los azúcares se convirtieron en alcohol. Obtenidas las lecturas, se procedió a realizar el cálculo con la siguiente formulación matemática:

$$°GL_M = (Go - Gf) * 131,25 \quad \text{Ecuación 1}$$

#### **Donde:**

°GL = Grados de Alcohol o Grados Gay Lussac

Go = Gravedad original de la cerveza o mosto

Gf = Gravedad final de la cerveza o mosto

#### ***Capacidad y estabilidad espumante:***

Se utilizó la técnica descrita por Romero et al. (2012), que implicó la utilización de una muestra de 40 ml de cerveza identificada como (VI). Esta muestra se agitó durante 10 minutos a una velocidad de 200 rpm utilizando un agitador magnético (Oxford,

BenchMate MHS-10L, Reino Unido). Luego, se midió el volumen de líquido (VL), el volumen de espuma (VE) y el volumen total (VT). Posteriormente, se calculó la capacidad espumante (E) utilizando la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(V_t - V_L)}{V_f} = \frac{V_E}{V_f} \quad \text{Ecuación 2}$$

### ***Índice de amargor***

El grado de amargor o llamado (°IBU) se calculó siguiendo la fórmula explicada por (Loviso y Libkind 2018).

$$^{\circ}IBU = \frac{Wh * \%AA * \%Uaa}{Vw * 10} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

°IBU: Unidades Internacionales de amargor

Wh: Peso del lúpulo utilizado, en gramos

%AA: porcentaje de alfa ácidos del lúpulo

%Uaa: Porcentaje de alfa ácidos que se utiliza en el proceso de ebullición.

Vw: Volumen del mosto, en litros

### ***Determinación de color***

Se determinó mediante el método espectrofotométrico estándar (Peak, T9-200, Estados Unidos) de Analytica-BC (Convención Europea de Cervecería), según INACAL (2016). Esto implicó medir la absorbancia de la cerveza desgasificada y clarificada con un espectrofotómetro a 430 nm en cubetas de cuarzo de 1 cm. El valor de absorbancia se multiplicó por 25 para obtener el color en unidades EBC. Posteriormente, se calculará el color en unidades °EBC.

$$^{\circ}EBC = 25 * A_{430} \quad \text{Ecuación 4}$$

### ***Acidez titulable***

Se aplicó el procedimiento descrito por Ramírez, (2016). Se mezclaron 10 ml de la muestra con 90 ml de agua destilada en un matraz de 100 ml. Después, se transfirieron 35 ml de esta solución a un matraz Erlenmeyer y se añadieron de tres a cuatro gotas de indicador fenolftaleína al 1%. A continuación, se agregó gradualmente una solución estándar de NaOH 0.1N a la muestra hasta que adquirió un tono rosado. Se registró la cantidad gastada de NaOH 0,1N utilizada y se calculó la acidez, expresada en términos del ácido predominante.

$$\% \text{ acidez} = \frac{V * N * PmE * f}{M} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

V = ml de NaOH 0,1N gastados en la titulación.

N = Normalidad de la solución de NaOH.

M = Volumen o peso de la muestra.

PmE = Peso miliequivalente del ácido representativo (ac. láctico).

## Análisis de Compuestos Bioactivos

### *Contenido de fenoles totales*

Para la determinación del contenido de fenoles totales, se prepararon soluciones estándar de ácido gálico con concentraciones entre 0 y 140 mg/L, como se indica en la **Tabla 1**. En tubos de ensayo microcentrífuga se pipetearon los volúmenes correspondientes de la solución madre de ácido gálico y se completó con agua destilada hasta un volumen final de 1000  $\mu$ L. Posteriormente, se extrajeron 50  $\mu$ L de cada concentración y se transfirieron a tubos de ensayo, añadiendo 900  $\mu$ L de agua destilada, 400  $\mu$ L de reactivo de Folin-Ciocalteu, y se dejó reposar durante 15 minutos. Luego, se incorporaron 1600  $\mu$ L de carbonato de sodio al 8,5%. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro (Peak, modelo T9-200, Estados Unidos), y los valores obtenidos se emplearon para construir la curva de calibración del ácido gálico (**Anexo 9**).

**Tabla 1**

Elaboración de la curva patrón de ácido gálico utilizando una solución concentrada de 400mg/L

Reactivos	Concentración (mg/L) de la curva patrón de ácido gálico							
	0	20	40	60	80	100	120	140
Ácido gálico ( $\mu$ L)	0	40	80	120	160	200	240	280
Agua Destilada ( $\mu$ L)	1000	960	920	880	840	800	760	720

Nota. Curva patrón de ácido gálico. Adaptado de García Martínez et al. (2015).

Para extraer los polifenoles en la muestra de cerveza, se empleó el método descrito por Tomás-Barberán et al. (2001). Se midieron 10 mL de muestra en vasos precipitados y se desgasificaron mediante agitación en un vórtex (Oxford, BenchMate MHS-10L, Reino Unido) durante 15 minutos. Paralelamente, se preparó una solución de metanol al 80% mezclando 160 mL de metanol con 40 mL de agua destilada. En tubos Falcon, se colocaron 2 mL de muestra y se añadieron 6 mL de la solución de metanol. Las muestras se agitaron en un shaker (Benchmark, Orbi-Shaker JR, Estados Unidos) a 200 rpm durante 15 minutos, se dejaron reposar por igual tiempo y luego se centrifugaron a 300 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante fue filtrado con papel Whatman N° 40 y de las muestras filtradas se tomaron 50  $\mu$ L, los cuales se transfirieron a tubos de ensayo. A cada tubo se añadieron 900  $\mu$ L de agua destilada, 400  $\mu$ L de reactivo Folin-Ciocalteu y se dejaron reposar en oscuridad durante 60 minutos. Luego se incorporaron 1600  $\mu$ L de carbonato de sodio al 8,5% y se mantuvieron en reposo durante una hora en oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro (Peak, modelo T9-200, Estados Unidos), y los resultados se

extrapolaron con la curva de calibración del ácido gálico según se observa en el **Anexo 9**.

### **Capacidad antioxidante**

La técnica DPPH, creada por Brand-Williams et al. (1995), es desarrollada mediante una estrategia para atrapar radicales libres utilizando el compuesto 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH).

Se preparó la solución de DPPH disolviendo 3.9432 mg de DPPH en 140 mL de metanol, y la solución de Trolox disolviendo 10 mg de Trolox en 25 mL de metanol. A continuación, se elaboró la curva de calibración utilizando una solución estándar de Trolox con concentraciones entre 0 hasta 36  $\mu\text{L}$ , como se indica en la **Tabla 2**. En tubos de ensayo microcentrífuga se pipetearon los volúmenes correspondientes de la solución madre de Trolox, completando con agua destilada hasta alcanzar un volumen final de 500  $\mu\text{L}$ . Luego, se tomaron 280  $\mu\text{L}$  de cada concentración y se transfirieron a tubos de ensayo, añadiendo 280  $\mu\text{L}$  de agua destilada y 1750  $\mu\text{L}$  del reactivo DPPH. Las mezclas se dejaron reposar en completa oscuridad durante 30 minutos y, posteriormente, se midió la absorbancia a 517 nm utilizando un espectrofotómetro (Peak, modelo T9-200, Estados Unidos). Los valores obtenidos se utilizaron para construir la curva de calibración de Trolox.

**Tabla 2**

Elaboración de la curva de calibración con una solución estándar de Trolox DPPH.

	Concentración (mg/L) de la curva patrón de ácido gálico								
	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>36</b>
Trolox ( $\mu\text{L}$ )	0	5	10	15	20	25	30	35	45
Agua Destilada ( $\mu\text{L}$ )	500	495	490	485	480	475	470	465	460

Para la extracción de antioxidantes en la muestra de cerveza, se midieron 10 mL de muestra en vasos precipitados y se desgasificaron mediante agitación en vórtex (Oxford, BenchMate MHS-10L, Reino Unido) durante 15 minutos. Paralelamente, se preparó una solución de metanol al 80% mezclando 160 mL de metanol con 40 mL de agua destilada. En tubos Falcon se colocaron 2 mL de muestra y se añadieron 6 mL de la solución de metanol. Las muestras se agitaron en un shaker (Benchmark, Orbi-Shaker JR, Estados Unidos) a 200 rpm durante 15 minutos, se dejaron reposar por igual tiempo y posteriormente se centrifugaron (Pro-Analytical, Pro-Analytical, Reino Unido) a 300 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante fue filtrado utilizando papel Whatman N° 40 y se tomaron 280  $\mu\text{L}$  de la muestra de cerveza filtrada, los cuales se transfirieron a tubos de ensayo. A cada uno se añadieron 280  $\mu\text{L}$  de agua destilada y 1750  $\mu\text{L}$  del reactivo DPPH, dejándose reposar en oscuridad durante 30



minutos. Finalmente, se midió la absorbancia a 517 nm con un espectrofotómetro (Peak, modelo T9-200, Estados Unidos), y los resultados se extrapolaron utilizando la curva de calibración de Trolox, según se observa en la **Anexo 10**.

Los resultados se expresarán como porcentajes de inhibición del radical DPPH, utilizando la siguiente **ecuación 6**:

$$\% Inh = \frac{Abs.control - Abs.muestra}{Abs.control} * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Abs.control = absorbancia de la solución de DPPH sin la muestra

Abs.muestra = absorbancia de la solución que contiene DPPH y la muestra.

Para expresar la capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC), utilizaremos la **ecuación 2** y la curva de calibración presentada en el **Anexo 10**.

$$AC = \frac{C*V}{M} \quad \text{Ecuación 7}$$

### **Análisis microbiológicos**

Los análisis microbiológicos de la cerveza se realizaron según los criterios de la NTP N.º 071-MINSA (2008) y siguiendo los procedimientos establecidos en el Manual de Análisis Microbiológico de Alimentos de DIGESA (2001).

#### ***Aerobios Mesófilos Viables***

Se utilizó una muestra de 10 mL que fue diluida en 90 mL de agua peptonada al 0.1% y homogeneizada durante 30 segundos. Se realizaron tres diluciones sucesivas, de las cuales se pipetearon 1 mL en placas estériles previamente codificadas. Posteriormente, se vertió agar fundido y enfriado a 44–46 °C en cada placa, mezclando cuidadosamente el medio con el inóculo mediante movimientos de vaivén y giros en distintas direcciones, respetando un tiempo máximo de 20 minutos entre la preparación y la siembra. Se incluyeron controles de esterilidad con placas sin inoculación. Una vez solidificado el medio, las placas se incubaron a 35 °C por 48 ± 2 horas.

Transcurrido el tiempo de incubación, se seleccionaron dos placas con un conteo entre 30 y 300 colonias para realizar el recuento, calculando el promedio aritmético y multiplicándolo por el factor de dilución. En caso de que ambas placas presentaran conteos fuera de ese rango, se aplicaron los criterios de selección establecidos por la norma: si ambas tenían menos de 30 colonias, se promediaron los resultados, y si uno de los valores duplicaba al otro, se eligió el más bajo como valor final. Los resultados se expresaron en unidades

formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL), considerando como resultado negativo <10 UFC/mL.

### ***Mohos y Levaduras***

Se colocaron 10 mL de muestra en un matraz estéril y se diluyeron en 90 mL de agua peptonada al 0.1%. La mezcla se agitó en licuadora durante 1 minuto. Se pipetearon 1 mL por duplicado de las diluciones  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$  en placas de Petri estériles, agregando 10–15 mL de agar Papa Dextrosa fundido y enfriado a 44–46 °C. El tiempo entre la preparación de las diluciones y el vertido del medio no superó los 10 minutos. Las placas fueron agitadas en movimientos de vaivén y giros cruzados para lograr una adecuada distribución del inóculo. Se prepararon placas de control sin inoculación para verificar la esterilidad.

Una vez solidificado el medio, las placas se invirtieron e incubaron a 25–28 °C durante 48 horas. Si las colonias fueron débiles, se extendió la incubación hasta por 12 horas adicionales. Las colonias de mohos se observaron como estructuras planas con centro oscuro y bordes difusos, mientras que las levaduras formaron colonias redondeadas, lisas y brillantes. En caso necesario, algunas colonias fueron aisladas para su identificación mediante técnicas microscópicas.

Los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g), multiplicando el número promedio de colonias por el factor de dilución correspondiente.

**Tabla 3**

Parámetros microbiológicos para cerveza

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Limite por 100 mL	
					m	M
Aerobios mesófilos (*)	2	3	5	2	10	50
Mohos	2	3	5	2	5	10
Levaduras	2	3	5	2	10	30

(\*) Para aquellas bebidas con menos de 3 atmósferas de CO<sub>2</sub>. En caso de no poder determinarse se realizará el análisis.

*Nota.* Requisitos microbiológicos que debe cumplir la cerveza, según la información proporcionada por la NTP N° 0.71-MINSA (2008).

### **Análisis sensorial**

#### **Control microbiológico de inocuidad sensorial**

Previo a la evaluación sensorial, todas las muestras de cerveza artesanal fueron sometidas a análisis microbiológicos para garantizar la inocuidad del producto y la seguridad de los panelistas. Los análisis se efectuaron en el Laboratorio de Microbiología (MEVALAB), considerando los parámetros establecidos en la NTP N° 0.71-MINSA (2008) para bebidas

fermentadas (**Tabla 3**).

El análisis microbiológico de las cervezas artesanales demostró una calidad sanitaria sobresaliente, al registrarse recuentos de aerobios mesófilos, mohos y levaduras inferiores a 1.0 UFC/mL, es decir, por debajo del límite de detección y muy por debajo de los valores máximos permitidos por la normativa sanitaria vigente NTP N° 0.71-MINSA (2008), que establece tolerancias de hasta 50 UFC/mL, 10 UFC/mL y 30 UFC/mL, respectivamente; estos resultados confirman que el proceso de elaboración aplicado aseguró condiciones higiénicas adecuadas, garantizando un producto inocuo, microbiológicamente estable y seguro para el consumo humano.

Para la evaluación sensorial de las muestras de cerveza artesanal, se empleó una escala hedónica de nueve puntos, que va desde “**me disgusta mucho**” a “**me gusta mucho**”. Se convocaron inicialmente 180 participantes voluntarios, de los cuales, tras aplicar criterios de exclusión rigurosos (fichas incompletas, estudiantes de primer a cuarto ciclo académico, inconsistencias entre edad y ciclo cursado, y patrones de respuesta no válidos como puntuaciones idénticas en todos los atributos o tiempo de respuesta inferior a 2 minutos), se obtuvieron 137 cuestionarios válidos (Hombres 53.54%, Mujeres 46.46%), pertenecientes principalmente a la Universidad Nacional de Jaén. La escala hedónica de nueve puntos fue seleccionada por su utilidad en la evaluación del nivel de agrado de los panelistas frente a las muestras, permitiendo obtener información confiable sobre la aceptación sensorial. Este método consistió en presentar las muestras de manera individual, solicitando a los evaluadores que asignaran una calificación desde “me disgustó extremadamente” hasta “me gustó extremadamente”, lo que facilitó la interpretación estadística de las preferencias generales. Además, se destacó por su aplicabilidad en poblaciones diversas y por no requerir experiencia previa en los participantes, asegurando respuestas significativas y válidas para predecir el comportamiento alimentario (Peryam y Pilgrim 1957).

*Criterios de Inclusión:* estudiantes, docentes y administrativos de la Universidad Nacional de Jaén, mayores de 18 años y de ambos géneros, que participaron de manera voluntaria en el estudio.

*Criterios de Exclusión:* No podrán participar personas menores de edad, embarazadas, en lactancia, bajo tratamiento médico, con alergias a los ingredientes (cebada, kañiwa o maíz morado), antecedentes de alcoholismo o que eviten el alcohol por motivos personales, religiosos o de salud.

La evaluación sensorial se llevó a cabo en sesiones estructuradas con grupos de 15 a 20 participantes, siguiendo las recomendaciones de (da Costa Jardim et al. 2018; Medoro et al. 2016) sobre el tamaño óptimo de grupos para reducir interferencias entre panelistas. Cada participante evaluó dos muestras de cerveza artesanal correspondientes a los tratamientos seleccionados, incluido el control (100% cebada) y el tratamiento optimizado (Cebada 79% y Maíz morado INIA 601 21%).

Las muestras (20 mL) se sirvieron en vasos de plástico de 80 ml, codificados con números aleatorios de tres dígitos, y presentados a una temperatura controlada de  $20 \pm 1$  °C. El orden de presentación se aleatorizó para cada participante mediante un diseño de bloques incompletos balanceados, con el fin de garantizar la homogeneidad en las evaluaciones.

Para medir la aceptabilidad, los panelistas calificaron su nivel de agrado en cada atributo sensorial (Color, apariencia, aroma, sabor, sensación en boca), además de la aceptabilidad global, utilizando escalas visuales analógicas digitales implementadas en **SurveyMonkey**. Cada escala consistió en una barra deslizante continua, con un control circular que los participantes desplazaban a lo largo de la línea. La escala presentó tres puntos de anclaje: “**Me disgusta mucho**” en el extremo izquierdo, “**Ni me gusta ni me disgusta**” en el centro y “**Me gusta mucho**” en el extremo derecho. Los panelistas movieron el control deslizante hasta la posición que mejor representaba su percepción, generándose automáticamente un valor numérico continuo en una escala de 0 a 100, manteniendo la equivalencia con la escala visual analógica tradicional de 10 cm. Este enfoque permitió obtener mediciones con mayor sensibilidad en comparación con las escalas discretas, de acuerdo con lo reportado por (da Costa Jardim et al. 2018; Medoro et al. 2016).

Posteriormente para cada muestra, los participantes seleccionaron los términos que mejor describían sus características sensoriales de una lista de 32, agrupados en tres categorías, según la metodología (Paucar-Menacho et al. 2025).

Color: amarillo, dorado, caramelo, marrón.

Apariencia: opaco, brillante, espumoso, poca espuma, transparente, burbujeante.

Aroma: floral, especiado, herbal, a granos tostados.

Sabor: malta, dulce, amargo, afrutado, caramelo, cítrico, refrescante, agrio.

Sensación en boca: viscoso, astringente, efervescente, delicado, acuoso.

Intención de compra: definitivamente compraría, probablemente compraría, no estoy seguro, probablemente no compraría, definitivamente no compraría.

Adicionalmente, la intención de compra se evaluó mediante una escala de 5 puntos, donde: 1 = Definitivamente no lo compraría, 2 = Probablemente no lo compraría, 3 = No estoy seguro, 4 = Probablemente lo compraría y 5 = Definitivamente lo compraría. Esta escala ha demostrado ser efectiva para predecir comportamientos de compra en estudios de aceptabilidad de bebidas fermentadas (Paucar-Menacho et al. 2025).

Entre muestras, los panelistas limpiaron su paladar con galletas sin sal y agua a temperatura ambiente. La recolección de datos se realizó mediante el software SurveyMonkey en dispositivos electrónicos entregados a cada panelista.

Finalmente, los participantes firmaron un consentimiento informado (**Anexo 14**), que garantizaba su privacidad y voluntariedad en la participación. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad Nacional de Jaén (**Anexo 15**).

#### **2.4.2. Diseño experimental**

La producción de cerveza se llevará a cabo utilizando un Diseño de Mezclas Simplex Centroides (DMSC) con tres variables independientes, como se indica en la Tabla 1, para determinar las condiciones óptimas de porcentaje de malta que maximicen el contenido de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y capacidad antioxidante). Las propiedades fisicoquímicas (sólidos solubles, grados alcohólicos, acidez titulable, pH) serán caracterizadas. Así mismo, se determinará la aceptabilidad sensorial de la cerveza artesanal de los tres mejores tratamientos.

El diseño experimental incluyó nueve puntos del diseño Simplex Centroides aumentado más 4 réplicas del punto central, totalizando trece unidades experimentales que representan 10 formulaciones únicas de cerveza artesanal (Tabla 4).

Se eligió este tipo de experimento de mezcla porque las superficies de respuesta generadas ayudan a estimar las propiedades de un sistema multicomponente a partir de un número limitado de observaciones y combinaciones preseleccionadas de componentes para optimizar las características finales del producto.

Los componentes de las variables independientes serán: Factor A: Malta de Cebada (0-100%), Factor B: Malta de Kañiwa (0-100%) y Factor C: Malta de Maíz Morado INIA 601 (0-100%). La Tabla 6 muestra los valores de la matriz experimental de las interacciones a realizar.

**Tabla 4**

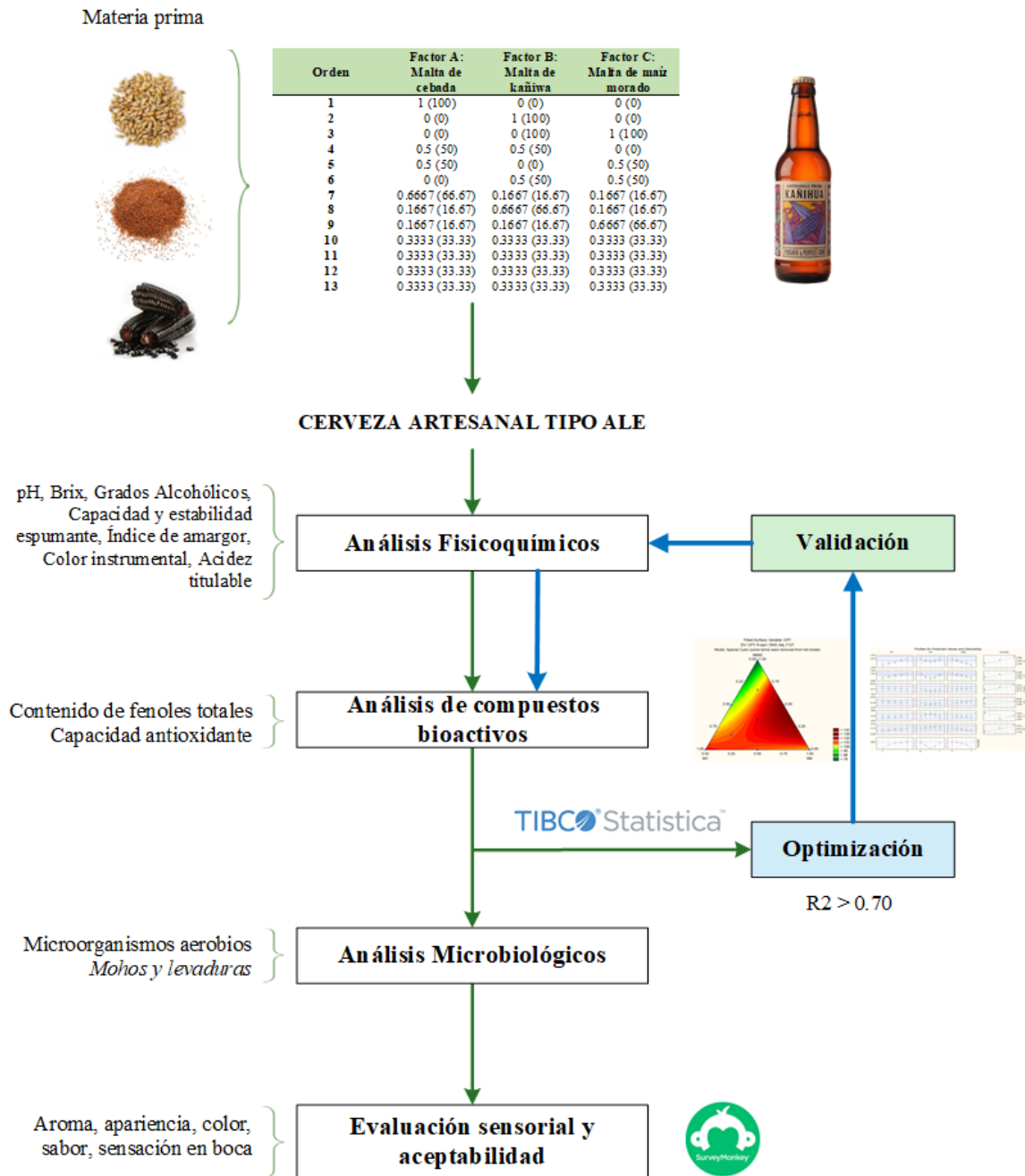
Diseño experimental indicando las Variables independientes codificadas (números arábigos) y los valores reales porcentuales (entre paréntesis)

Orden	Factor A:	Factor B:	Factor C:
	Malta de Cebada	Malta de Kañiwa	Malta de Maíz Morado INIA 601
1	1 (100)	0 (0)	0 (0)
2	0 (0)	1 (100)	0 (0)
3	0 (0)	0 (0)	1 (100)
4	0.5 (50)	0.5 (50)	0 (0)
5	0.5 (50)	0 (0)	0.5 (50)
6	0 (0)	0.5 (50)	0.5 (50)
7	0.667 (66.67)	0.1667 (16.67)	0.1667 (16.67)
8	0.1667 (16.67)	0.6667 (66.67)	0.1667 (16.67)
9	0.1667 (16.67)	0.1667 (16.67)	0.6667 (66.67)
10	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)
11	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)
12	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)
13	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)	0.3333 (33.33)

Nota: La tabla muestra un diseño experimental de trece tratamientos (filas), cada uno representando una combinación específica de tres factores: malta de cebada (Factor A), malta de kañiwa (Factor B) y malta de maíz morado (Factor C). Los valores están expresados como proporciones codificadas y sus equivalentes reales en porcentaje (entre paréntesis). Los valores codificados corresponden a 1 (100% del factor), 0 (ausencia del factor), 0.5 (50% del factor), 0.3333 (33.33% para mezclas equitativas de los tres factores), y combinaciones intermedias como 0.6667 (66.67%) o 0.1667 (16.67%), según el diseño experimental.

**Figura 4**

*Esquema experimental del proceso, evaluación y optimización de cerveza artesanal tipo Ale utilizando maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601*



Nota: La figura muestra el flujo de trabajo para la elaboración y análisis de una cerveza artesanal tipo Ale formulada con combinaciones de malta de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601, según un diseño experimental de mezclas. Incluye las etapas de análisis fisicoquímico (pH, grados alcohólicos, índice de amargor, entre otros), evaluación de compuestos bioactivos (fenoles totales y capacidad antioxidante), análisis microbiológico (presencia de microorganismos aeróbicos, mohos y levaduras) y pruebas sensoriales (Aroma, apariencia, color, sabor, sensación en boca y aceptabilidad). Los resultados obtenidos en cada etapa contribuyen al proceso de optimización del producto final.

\*Los análisis se realizaron por triplicado.

### 2.4.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados tiene como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas (sólidos solubles, grados alcohólicos, acidez titulable, pH, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) y la aceptabilidad sensorial de las formulaciones de cerveza artesanal, identificando las proporciones óptimas de los componentes de malta. Para ello, los datos recolectados se organizarán inicialmente en Microsoft Excel, donde se estructurarán para facilitar su análisis posterior. Posteriormente, se utilizará un modelo de regresión polinomial ajustado al Diseño de Mezclas Simplex Centroides (DMSC). Este modelo permitirá estimar la relación entre las combinaciones de los factores de mezcla y las respuestas experimentales, ajustándose a la siguiente ecuación matemática:

$$Y = \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC + \beta_{123} ABC$$

donde  $Y$  representa la respuesta evaluada;  $A$ ,  $B$ , y  $C$  son las proporciones de Malta de Cebada, Malta de Kañiwa y Malta de Maíz Morado, respectivamente, y los coeficientes  $\beta$  describen los efectos individuales, de interacción y cúbicos en las propiedades. Las superficies de respuesta generadas a partir de este modelo permitirán optimizar las proporciones de malta para maximizar las características deseadas en la cerveza.

Además, se llevará a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de las variables fisicoquímicas y sensoriales evaluadas entre las formulaciones. Antes de realizar el ANOVA, se verificarán los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homocedasticidad utilizando la prueba de Levene. En caso de cumplirse estos supuestos, se aplicará la prueba de comparaciones múltiples de Tukey como procedimiento post-hoc para identificar diferencias específicas entre las formulaciones, utilizando un nivel de significancia del 5% ( $p < 0.05$ ) y un  $R^2$  esperado de 0.7. Para las variables sensoriales obtenidas a través de evaluaciones hedónicas, se analizarán de manera similar mediante ANOVA y pruebas post-hoc, complementando con análisis de correlación (coeficiente de Pearson) entre las propiedades fisicoquímicas y la aceptabilidad sensorial para identificar las características objetivas que tienen mayor influencia en la percepción de los consumidores.

Todos los análisis estadísticos, incluyendo el ajuste del modelo de mezcla, el ANOVA, las pruebas de supuestos y las pruebas post-hoc, se realizarán utilizando el software R Studio, mientras que la organización inicial de los datos se llevará a cabo en Excel. Este enfoque estadístico integral permitirá evaluar tanto las propiedades físicas y químicas como la calidad sensorial de la cerveza, optimizando su formulación de manera científica y robusta.



**Deseabilidad Global:** La optimización multiobjetivo se realizó mediante la metodología de función de deseabilidad (Derringer y Suich 1980; Myers 2016) que permite integrar múltiples respuestas con diferentes objetivos (maximizar, minimizar, mantener en rango) en un único criterio de optimización. Cada respuesta se transforma en una deseabilidad individual ( $d_i$ ) con valores entre 0 (completamente inaceptable) y 1 (ideal). La deseabilidad global ( $D$ ) se calcula como el promedio geométrico ponderado de las deseabilidades individuales:

$$D = \left( \prod_{i=1}^n d_i^{w_i} \right)^{1/\sum w_i} \quad \text{Ecuación 8}$$

donde  $d_i$  es la deseabilidad de la respuesta  $i$ ,  $w_i$  es su peso de importancia (1-5), y  $n$  es el número de respuestas. Esta métrica permite identificar la formulación que mejor equilibra todos los objetivos simultáneamente.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Determinación de las características fisicoquímicas

La **Tabla 5** presenta los resultados obtenidos en la evaluación de las características fisicoquímicas de las cervezas elaboradas a partir de las combinaciones experimentales de maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601. Se determinaron parámetros básicos de calidad tales como pH, sólidos solubles (°Brix), grado alcohólico, capacidad y estabilidad espumante, turbidez, índice de amargor, color (EBC) y acidez titulable. Estos resultados constituyen la base para el posterior ajuste del modelo de mezclas y la interpretación de las superficies de respuesta. En general, se observó una variabilidad moderada entre tratamientos, reflejando la influencia diferencial de las proporciones de cada malta sobre los atributos fisicoquímicos de la cerveza artesanal tipo Ale.

**Tabla 5**

Características fisicoquímicas de cada uno de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	pH	Sólidos solubles (°Brix)	Grado alcohólico (%v/v)	Capacidad y estabilidad espumante (ml/t)	Turbidez (NTU)	Índice de amargor (IBU)	Determinación de color (EBC)	Acidez titulable (%)
1	4.58 ± 0.03 <sup>a</sup>	5.23 ± 0.15 <sup>a</sup>	5.25 ± 0.01 <sup>c</sup>	42.00 ± 0.02 <sup>d</sup>	50.33 ± 1.53 <sup>e</sup>	17.00 ± 0.01 <sup>c</sup>	14.05 ± 0.13 <sup>f</sup>	0.28 ± 0.04 <sup>d</sup>
2	4.56 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.30 ± 0.10 <sup>b</sup>	4.99 ± 0.01 <sup>c</sup>	42.50 ± 0.02 <sup>b</sup>	44.00 ± 1.00 <sup>e</sup>	17.00 ± 0.01 <sup>c</sup>	19.38 ± 0.17 <sup>f</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>d</sup>
3	4.30 ± 0.23 <sup>a</sup>	3.53 ± 0.25 <sup>c</sup>	4.86 ± 0.02 <sup>f</sup>	41.50 ± 0.02 <sup>f</sup>	66.00 ± 3.46 <sup>e</sup>	21.00 ± 0.03 <sup>a</sup>	26.37 ± 0.78 <sup>e</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>d</sup>
4	4.45 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.17 ± 0.06 <sup>c</sup>	4.59 ± 0.01 <sup>h</sup>	42.00 ± 0.03 <sup>d</sup>	60.67 ± 3.66 <sup>e</sup>	21.00 ± 0.01 <sup>c</sup>	21.93 ± 0.89 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>a</sup>
5	4.28 ± 0.18 <sup>a</sup>	3.53 ± 0.06 <sup>c</sup>	4.59 ± 0.02 <sup>a</sup>	41.13 ± 0.02 <sup>e</sup>	224.67 ± 2.52 <sup>a</sup>	17.00 ± 0.02 <sup>c</sup>	26.40 ± 0.61 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>b</sup>
6	4.31 ± 0.17 <sup>a</sup>	3.23 ± 0.06 <sup>c</sup>	5.12 ± 0.02 <sup>h</sup>	42.90 ± 0.01 <sup>h</sup>	123.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	21.00 ± 0.03 <sup>c</sup>	32.14 ± 0.85 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.01 <sup>b</sup>
7	4.35 ± 0.13 <sup>a</sup>	3.60 ± 0.17 <sup>c</sup>	5.09 ± 0.01 <sup>d</sup>	41.20 ± 0.01 <sup>a</sup>	127.00 ± 2.65 <sup>c</sup>	21.00 ± 0.01 <sup>a</sup>	28.52 ± 0.28 <sup>c</sup>	0.45 ± 0.03 <sup>a</sup>
8	4.40 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.47 ± 0.12 <sup>c</sup>	4.84 ± 0.01 <sup>e</sup>	41.40 ± 0.01 <sup>f</sup>	224.67 ± 3.51 <sup>e</sup>	17.00 ± 0.01 <sup>a</sup>	54.23 ± 0.48 <sup>d</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>b</sup>
9	4.37 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.57 ± 0.15 <sup>c</sup>	4.86 ± 0.02 <sup>i</sup>	41.20 ± 0.01 <sup>g</sup>	243.00 ± 3.61 <sup>d</sup>	21.00 ± 0.02 <sup>a</sup>	29.83 ± 0.42 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>b</sup>
10	4.35 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.40 ± 0.10 <sup>c</sup>	4.93 ± 0.01 <sup>k</sup>	41.50 ± 0.01 <sup>c</sup>	99.67 ± 2.31 <sup>d</sup>	18.00 ± 0.01 <sup>b</sup>	21.41 ± 0.41 <sup>e</sup>	0.33 ± 0.01 <sup>c</sup>
11	4.39 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.87 ± 0.06 <sup>c</sup>	5.17 ± 0.01 <sup>g</sup>	41.90 ± 0.02 <sup>c</sup>	93.00 ± 2.65 <sup>d</sup>	18.00 ± 0.01 <sup>b</sup>	27.37 ± 0.36 <sup>e</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>c</sup>
12	4.35 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.93 ± 0.05 <sup>c</sup>	5.51 ± 0.02 <sup>b</sup>	42.00 ± 0.03 <sup>c</sup>	93.33 ± 0.58 <sup>d</sup>	18.00 ± 0.02 <sup>b</sup>	20.41 ± 0.35 <sup>e</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>c</sup>
13	4.38 ± 0.17 <sup>a</sup>	3.50 ± 0.10 <sup>c</sup>	4.33 ± 0.02 <sup>j</sup>	42.20 ± 0.01 <sup>c</sup>	93.00 ± 1.00 <sup>d</sup>	18.00 ± 0.02 <sup>b</sup>	24.74 ± 0.21 <sup>e</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>c</sup>

Nota: Los valores representan el promedio ± desviación estándar de las tres repeticiones por tratamientos en cada característica. Las letras diferentes en cada tratamiento indican diferencias significativas según el test de Tukey, considerando un nivel de significancia del 5% (p valor < 0.05).

### 3.2. Determinación de Contenido de compuestos bioactivos de las cervezas

La **Tabla 6** muestra los valores promedio del contenido de fenoles totales y de la capacidad antioxidante determinados en las formulaciones experimentales de cerveza artesanal tipo Ale. Ambas variables fueron cuantificadas mediante los métodos de Folin-Ciocalteu y DPPH, respectivamente, expresándose en mg GAE/L y mg TE/L.

**Tabla 6**

Características de contenido de compuestos bioactivos de cada uno de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Contenido de fenoles totales (mg GAE/L)	Capacidad antioxidante (mg TE/L)
1	112.59 ± 12.19 <sup>c</sup>	19.87 ± 6.36 <sup>a</sup>
2	107.03 ± 7.62 <sup>b</sup>	27.88 ± 1.29 <sup>a</sup>
3	74.26 ± 6.50 <sup>d</sup>	27.53 ± 2.71 <sup>a</sup>
4	122.59 ± 11.77 <sup>b</sup>	21.25 ± 6.05 <sup>a</sup>
5	103.80 ± 2.45 <sup>c</sup>	23.70 ± 0.64 <sup>a</sup>
6	125.51 ± 5.39 <sup>a</sup>	26.03 ± 3.03 <sup>a</sup>
7	118.80 ± 2.37 <sup>b</sup>	24.83 ± 0.92 <sup>a</sup>
8	145.03 ± 2.33 <sup>ab</sup>	23.40 ± 0.73 <sup>a</sup>
9	128.91 ± 5.24 <sup>c</sup>	23.40 ± 0.51 <sup>a</sup>
10	109.97 ± 5.10 <sup>c</sup>	26.97 ± 0.72 <sup>a</sup>
11	118.90 ± 5.33 <sup>b</sup>	25.93 ± 0.95 <sup>a</sup>
12	123.20 ± 5.89 <sup>ab</sup>	22.49 ± 0.56 <sup>a</sup>
13	113.26 ± 2.17 <sup>c</sup>	25.35 ± 1.43 <sup>a</sup>

Nota: Los valores representan el promedio ± desviación estándar de las tres repeticiones por tratamientos en cada característica. Las letras diferentes en cada tratamiento indican diferencias significativas según el test de Tukey, considerando un nivel de significancia del 5% (p valor < 0.05)

### 3.3. Evaluación de las características fisicoquímicas de las cervezas mediante superficies de respuesta

#### 3.3.1. Evaluación de pH en la cerveza:

Según la **tabla 7**, el modelo de mezclas para pH presentó un ajuste elevado ( $R^2=0.8436$ ). Los coeficientes de vértice indican que la malta de cebada (MC) y la de kañiwa (MK) generan pH más alto (4.5477 y 4.5718, respectivamente), mientras que el maíz morado (MMM) reduce el pH (4.3115), con efectos principales significativos ( $p<0.05$ ). Las interacciones AB y BC mostraron coeficientes negativos ( $-0.5223$  y  $-0.5747$ ), esto indica que la mezcla de MC con MK, y de MK con MMM, tiende a disminuir el pH por debajo de lo esperado, aunque su significancia fue marginal a  $\alpha=0.05$ . Los términos AC y ABC no resultaron significativos. Este comportamiento se confirma en el gráfico de superficies del modelo reducido de la **figura 5**.

**Tabla 7**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para pH

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	R <sup>2</sup>
(A)MC	4.5477	0.0508	89.5570	0.0000	0.8436
(B)MK	4.5718	0.0508	90.0319	0.0000	
(C)MMM	4.3115	0.0508	84.9057	0.0000	
AB	-0.5223	0.2557	-2.0425	0.0871	
AC	-0.2576	0.2557	-1.0073	0.3527	
BC	-0.5747	0.2557	-2.2472	0.0657	
ABC	0.7272	1.3316	0.5461	0.6047	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

Las ecuaciones de superficie de respuesta se obtuvieron mediante el modelo de mezclas de Scheffé, incluyendo únicamente los términos estadísticamente significativos ( $p<0.05$ ) identificados en el análisis de varianza. Los coeficientes representan el efecto de cada componente puro (vértices) y sus interacciones binarias o ternarias sobre la respuesta evaluada.

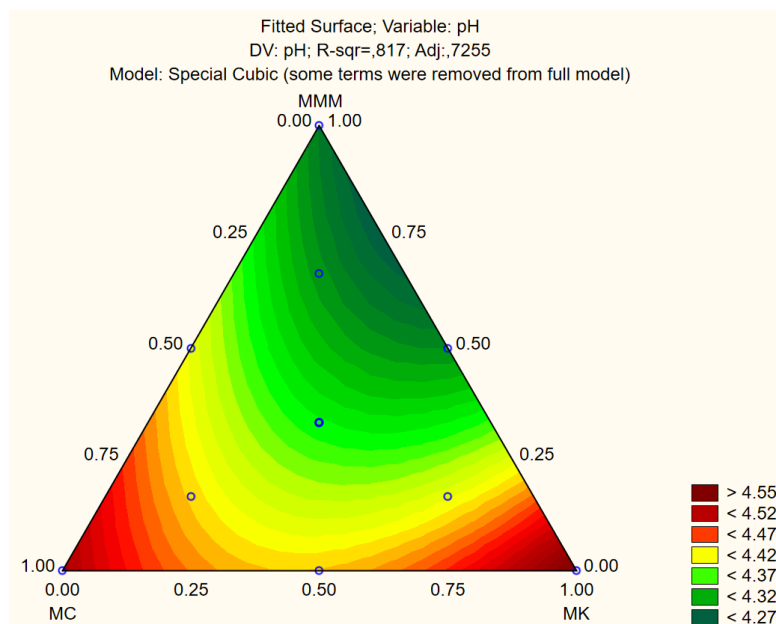
Modelo Special Cubic reducido ( $R^2 = 0.8436$ ):

$$pH = 4.5477(MC) + 4.5718(MK) + 4.3115(MMM) - 0.5223(MC \times MK) - 0.5747(MK \times MMM)$$

Nota: Se omitieron los términos AC y ABC por no ser significativos ( $p>0.05$ )

**Figura 5**

Superficie de respuesta para pH en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM)



Nota. Superficie ajustada con modelo de mezcla Special Cubic (reducido); se omiten los términos no significativos según el ANOVA. Se retuvieron A, B, C y las interacciones AB y BC. Ajuste:  $R^2 = 0.817$ . Los puntos indican las corridas experimentales.

El modelo de mezclas para sólidos solubles (**tabla 8**) presentó un ajuste elevado ( $R^2 = 0.9120$ ). Los coeficientes de vértice indican que la cebada (MC), la kañiwa (MK) y el maíz morado (MMM) generan valores decrecientes de °Brix (5.0950, 4.3646 y 3.5525, respectivamente), con efectos principales significativos ( $p < 0.05$ ). Las interacciones  $AB = -6.5476$  y  $AC = -3.6385$  mostraron coeficientes negativos y significativos ( $p = 0.0011$  y  $p = 0.0170$ ). Lo que indica, como se aprecia en la **figura 6**, que mezclar MC con MK o MC con MMM tiende a disminuir los °Brix por debajo de lo esperado. En cambio,  $BC = -0.1657$  ( $p = 0.8864$ ) y  $ABC = 6.6657$  ( $p = 0.2934$ ) no resultaron significativos a  $\alpha = 0.05$ .

### 3.3.2. Evaluación de Sólidos Solubles:

**Tabla 8**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para sólidos solubles

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	$R^2$
(A)MC	5.0950	0.2208	23.0797	0.0000	
(B)MK	4.3646	0.2208	19.7713	0.0000	
(C)MMM	3.5525	0.2208	16.0924	0.0000	
AB	-6.5476	1.1117	-5.8898	0.0011	0.9120
AC	-3.6385	1.1117	-3.2730	0.0170	
BC	-0.1657	1.1117	-0.1491	0.8864	
ABC	6.6657	5.7890	1.1514	0.2934	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

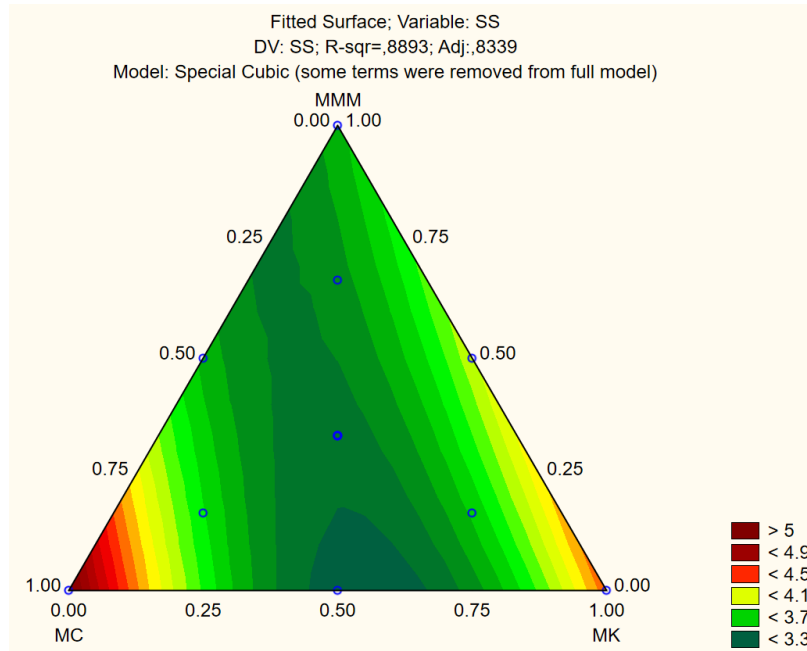
Modelo Special Cubic reducido ( $R^2 = 0.9120$ ):

$$°Brix = 5.0950(MC) + 4.3646(MK) + 3.5525(MMM) - 6.5476(MC \times MK) - 3.6385(MC \times MMM)$$

Nota: Se omitieron los términos BC y ABC por no ser significativos ( $p > 0.05$ )

**Figura 6**

Superficie de respuesta para sólidos solubles en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM)



Nota. Superficie ajustada con modelo de mezcla Special Cubic (reducido); se omiten los términos no significativos según el ANOVA. Se retuvieron A, B, C y las interacciones AB y AC. Ajuste:  $R^2 = 0.8893$ . Los puntos indican las corridas experimentales.

El modelo de mezclas para grados alcohólicos (**tabla 9**) presentó un ajuste bajo ( $R^2 = 0.4753$ ). Los coeficientes de vértice indican que la cebada (MC) y la kañiwa (MK) generan valores más altos (5.2857 y 5.0352, respectivamente), mientras que el maíz morado (MMM) produce el más bajo (4.7488), con efectos principales significativos ( $p < 0.05$ ). Las interacciones  $AB = -1.9332$ ,  $AC = 2.2191$ ,  $BC = -1.4321$  y el término  $ABC = -5.9868$  no resultaron significativos ( $p > 0.05$ ); esto sugiere que, el comportamiento de grados alcohólicos es aproximadamente lineal en la mezcla.

### 3.3.3. Evaluación de Grados Alcohólicos en la cerveza:

**Tabla 9**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para grados alcohólicos

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	$R^2$
(A)MC	5.2857	0.4354	12.1411	0.0000	
(B)MK	5.0352	0.4354	11.5655	0.0000	
(C)MMM	4.7488	0.4354	10.9078	0.0000	
AB	-1.9332	2.1924	-0.8818	0.4118	0.4753
AC	2.2191	2.1924	1.0122	0.3505	
BC	-1.4321	2.1924	-0.6532	0.5378	
ABC	-5.9868	11.4167	-0.5244	0.6188	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

Modelo lineal ( $R^2 = 0.4753$ ):

$$\%v/v = 5.2857(MC) + 5.0352(MK) + 4.7488(MMM)$$

Nota: Ninguna interacción fue significativa, comportamiento aproximadamente lineal

El modelo de mezclas para capacidad y estabilidad de espuma (**tabla 10**) presentó un ajuste moderado ( $R^2 = 0.6959$ ). Los coeficientes de vértice indican valores similares de la respuesta para MC, MK y MMM (42.2221, 42.3530 y 41.3830, respectivamente), con efectos principales significativos ( $p < 0.05$ ). Las interacciones  $AB = -0.8498$ ,  $AC = 0.2902$  y  $ABC = 18.6318$  no resultaron significativas ( $p = 0.6763$ ;  $0.8858$ ;  $0.1143$ ), mientras que  $BC = -4.0081$  mostró una tendencia negativa marginal ( $p = 0.0840$ ), lo que sugiere que mezclar MK con MMM podría reducir ligeramente la capacidad/estabilidad de espuma, aunque sin evidencia estadística a  $\alpha=0.05$ .

### 3.3.4. Evaluación de Capacidad y estabilidad espumante:

**Tabla 10**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para capacidad y estabilidad espumante

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	estadístico t	p-valor	$R^2$
(A)MC	42.2221	0.3847	109.7498	0.0000	
(B)MK	42.3530	0.3847	110.0902	0.0000	
(C)MMM	41.3830	0.3847	107.5688	0.0000	
AB	-0.8498	1.9373	-0.4386	0.6763	0.6959
AC	0.2902	1.9373	0.1498	0.8858	
BC	-4.0081	1.9373	-2.0689	0.0840	
ABC	18.6318	10.0886	1.8468	0.1143	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

Modelo lineal ( $R^2 = 0.6959$ ):

$$\text{Espuma (ml/t)} = 42.2221(MC) + 42.3530(MK) + 41.3830(MMM)$$

Nota: Ninguna interacción fue significativa ( $p>0.05$ )

El modelo de mezclas para turbidez (**tabla 11**) presentó un ajuste muy alto ( $R^2 = 0.9188$ ). Los coeficientes de vértice no resultaron significativos ( $p = 0.0667$ ,  $0.1182$  y  $0.0978$ , respectivamente). En cambio, las interacciones  $AC = 856.98$  y  $BC = 632.25$  fueron positivas y significativas ( $p = 0.0007$  y  $0.0033$ ), indicando sinergia: mezclar MMM con MC o con MK incrementa la turbidez por encima de lo lineal. La interacción  $AB = 41.71$  no fue significativa ( $p = 0.7665$ ). El término  $ABC = -3717.60$  fue negativo y significativo ( $p = 0.0018$ ), lo que sugiere que, las mezclas equilibradas atenúan la turbidez respecto del aumento observado en los bordes AC y BC, estos efectos se confirman en el gráfico de

superficies del modelo reducido (**figura 7**).

### 3.3.5. Evaluación de Turbidez en la cerveza:

**Tabla 11**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para turbidez

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	R <sup>2</sup>
(A)MC	59.6074	26.6508	2.2366	0.0667	0.9188
(B)MK	48.5790	26.6508	1.8228	0.1182	
(C)MMM	52.2165	26.6508	1.9593	0.0978	
AB	41.7084	134.2078	0.3108	0.7665	
AC	856.9785	134.2078	6.3855	0.0007	
BC	632.2461	134.2078	4.7109	0.0033	
ABC	-3717.5969	698.8800	-5.3194	0.0018	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

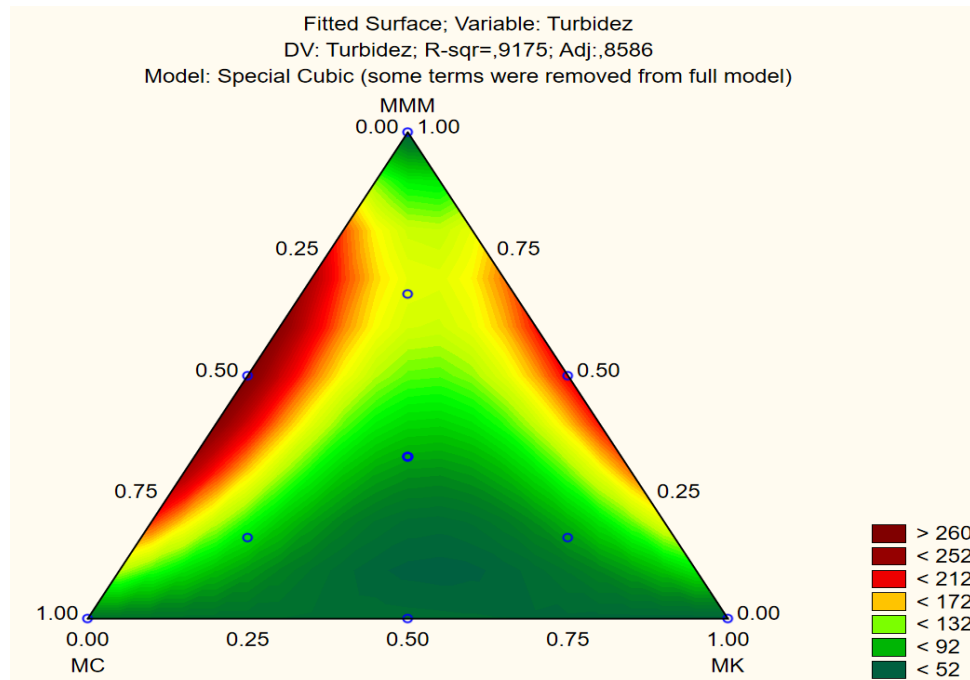
Modelo Special Cubic completo (**R<sup>2</sup> = 0.9188**):

$$Turbidez (NTU) = 59.6074(MC) + 48.5790(MK) + 52.2165(MMM) + 856.9785(MC \times MMM) + 632.2461(MK \times MMM) - 3717.5969(MC \times MK \times MMM)$$

Nota: Se omitió el término AB por no ser significativo ( $p=0.7665$ )

**Figura 7**

Superficie de respuesta para turbidez en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM)



Nota. Superficie ajustada con modelo de mezcla Special Cubic (reducido); se omiten los términos no significativos según el ANOVA. Se retuvieron las interacciones AC, BC y ABC. Ajuste: R<sup>2</sup> = 0.9175. Los puntos indican las corridas experimentales.



El modelo de mezclas para índice de amargor (**tabla 12**) presentó un ajuste bajo ( $R^2 = 0.3213$ ). Los coeficientes de vértice indican que MC y MK producen niveles similares (17.5329 y 17.5329), mientras que MMM genera un valor más alto (21.1694), con efectos principales significativos ( $p < 0.05$ ). Las interacciones  $AB = 2.1323$ ,  $AC = -6.5950$ ,  $BC = -6.5950$  y el término  $ABC = 38.0852$  no resultaron significativos ( $p > 0.05$ ); por lo que, la respuesta se describe prácticamente por efectos lineales de los vértices.

### 3.3.6. Evaluación de Amargor en la cerveza:

**Tabla 12**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para índice de amargor

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	$R^2$
(A)MC	17.5329	1.9816	8.8479	0.0001	
(B)MK	17.5329	1.9816	8.8479	0.0001	
(C)MMM	21.1694	1.9816	10.6831	0.0000	
AB	2.1323	9.9789	0.2137	0.8379	0.3213
AC	-6.5950	9.9789	-0.6609	0.5332	
BC	-6.5950	9.9789	-0.6609	0.5332	
ABC	38.0852	51.9644	0.7329	0.4912	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

Modelo lineal ( $R^2 = 0.3213$ ):

$$IBU = 17.5329(MC) + 17.5329(MK) + 21.1694(MMM)$$

Nota: Ninguna interacción fue significativa

El modelo de mezclas para color (**tabla 13**) presentó un ajuste elevado ( $R^2 = 0.8840$ ). Los coeficientes de vértice indican que la kañiwa (MK) y el maíz morado (MMM) generan color más alto (21.1885 y 21.7159, respectivamente), mientras que la cebada (MC) produce un valor menor (15.6446), con efectos principales significativos para MK y MMM ( $p < 0.05$ ) y un efecto marginal para MC ( $p = 0.0687$ ). Las interacciones  $AC = 192.2525$  y  $BC = 119.7072$  fueron positivas y significativas ( $p = 0.0017$  y  $p = 0.0151$ ), lo que indica sinergia: mezclar MMM con MC o con MK incrementa el color por encima de lo lineal. La interacción  $AB = 27.6682$  no fue significativa ( $p = 0.4662$ ). El término  $ABC = -903.5362$  fue negativo y significativo ( $p = 0.0028$ ), evidenciando curvatura marcada, como se aprecia en la **figura 8**, las mezclas balanceadas tienden a atenuar el color.

### 3.3.7. Evaluación de Color en la cerveza:

**Tabla 13**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para color

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	R <sup>2</sup>
(A)MC	15.6446	7.0630	2.2150	0.0687	
(B)MK	21.1885	7.0630	3.0000	0.0240	
(C)MMM	21.7159	7.0630	3.0746	0.0218	
AB	27.6682	35.5676	0.7779	0.4662	0.8840
AC	192.2525	35.5676	5.4053	0.0017	
BC	119.7072	35.5676	3.3656	0.0151	
ABC	-903.5362	185.2165	-4.8783	0.0028	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

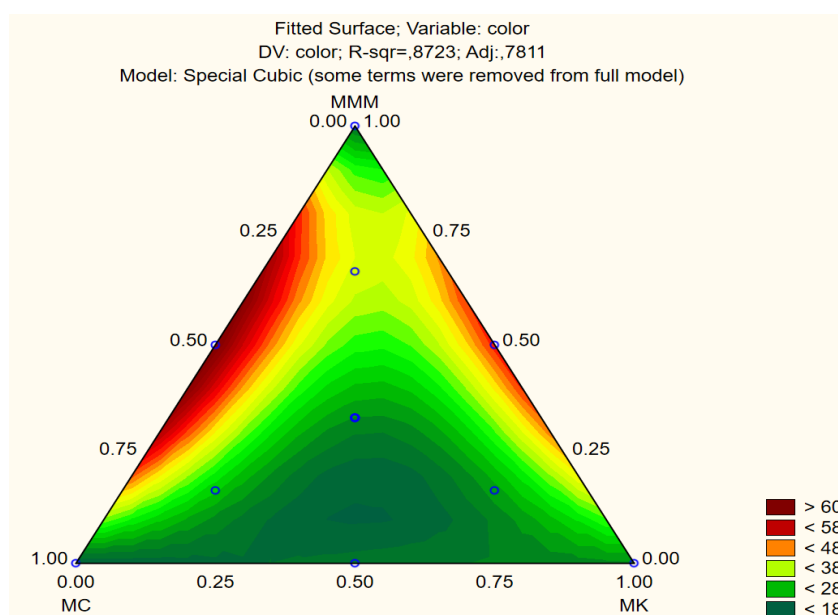
Modelo Special Cubic reducido (**R<sup>2</sup> = 0.8840**):

$$Color (EBC) = 15.6446(MC) + 21.1885(MK) + 21.7159(MMM) + 192.2525(MC \times MMM) + 119.7072(MK \times MMM) - 903.5362(MC \times MK \times MMM)$$

Nota: Se omitió el término AB por no ser significativo ( $p=0.4662$ )

**Figura 8**

Superficie de respuesta para color en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM)



Nota. Superficie ajustada con modelo de mezcla Special Cubic (reducido); se omiten los términos no significativos según el ANOVA. Se retuvieron B, C y las interacciones AC, BC y ABC. Ajuste: R<sup>2</sup> = 0.8723. Los puntos indican las corridas experimentales.

El modelo de mezclas para Acides Titulable (**tabla 14**) presentó un ajuste moderado–alto (R<sup>2</sup> = 0.7881). Los coeficientes de vértice indican que la cebada (MC) y la cañiwa (MK) producen valores de AT más altos (0.3056 y 0.2736), mientras que el maíz morado (MMM) genera el menor (0.2011), con efectos principales significativos ( $p < 0.05$ ). Las interacciones

AB = 0.8496, AC = 0.9104 y BC = 0.8121 fueron positivas y significativas ( $p < 0.05$ ), lo que indica sinergia: al mezclar pares de componentes la AT aumenta por encima de lo lineal. El término  $ABC = -4.2655$  resultó negativo y significativo ( $p = 0.0307$ ), sugiriendo que, cuando las mezclas están balanceadas (parte central del triángulo de la **figura 9**), la AT tiende a disminuir respecto de los bordes binarios.

### 3.3.8. Evaluación de Acidez Titulable:

**Tabla 14**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para acidez titulable

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	R <sup>2</sup>
(A)MC	0.3056	0.0578	5.2824	0.0019	
(B)MK	0.2736	0.0578	4.7297	0.0032	
(C)MMM	0.2011	0.0578	3.4759	0.0132	
AB	0.8496	0.2913	2.9163	0.0268	0.7881
AC	0.9104	0.2913	3.1251	0.0205	
BC	0.8121	0.2913	2.7877	0.0317	
ABC	-4.2655	1.5170	-2.8117	0.0307	

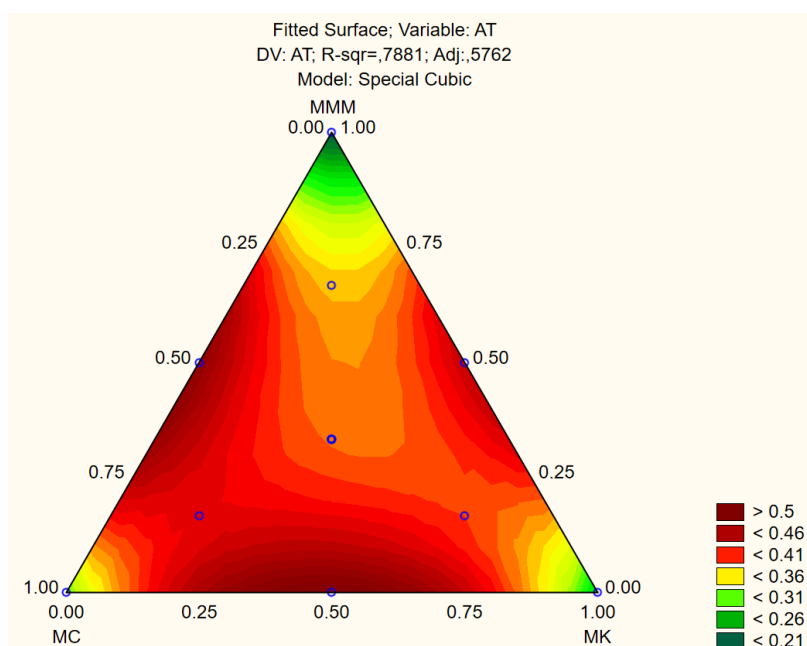
Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

Modelo Special Cubic completo ( $R^2 = 0.7881$ ):

$$AT (\%) = 0.3056(MC) + 0.2736(MK) + 0.2011(MMM) + 0.8496(MC \times MK) + 0.9104(MC \times MMM) + 0.8121(MK \times MMM) - 4.2655(MC \times MK \times MMM)$$

**Figura 9**

Superficie de respuestas para acidez titulable en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM)



Nota. Superficie ajustada con modelo de mezcla Special Cubic (reducido); todos los términos fueron significativos según el ANOVA. Ajuste:  $R^2 = 0.7881$ . Los puntos indican las corridas experimentales.

El modelo de mezclas para fenoles totales (**tabla 15**) presentó un ajuste elevado ( $R^2 = 0.8947$ ). Los coeficientes de vértice indican que la cebada (MC) y la kañiwa (MK) generan contenidos más altos (114.5279 y 108.9622), mientras que el maíz morado (MMM) produce el menor (72.2148), con efectos principales significativos ( $p < 0.05$ ). Entre las interacciones, BC = 217.3316 fue positiva y significativa ( $p = 0.0013$ ), lo que indica sinergia: mezclar MK con MMM incrementa los fenoles por encima de lo esperado linealmente. En cambio, AB = 58.8492 y AC = 68.9075 no resultaron significativas ( $p > 0.05$ ). El término ABC = -465.1954 mostró signo negativo con significancia marginal ( $p = 0.0587$ ), sugiriendo que, formulaciones ternarias más balanceadas tienden a disminuir el contenido respecto de los bordes, especialmente frente a la sinergia BC (**ver figura 10**).

### 3.3.9. Evaluación de Contenido de Fenoles Totales en la cerveza:

**Tabla 15**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para contenido de fenoles totales

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	$R^2$
(A)MC	114.5279	7.6172	15.0354	0.0000	
(B)MK	108.9622	7.6172	14.3047	0.0000	
(C)MMM	72.2148	7.6172	9.4805	0.0001	
AB	58.8492	38.3588	1.5342	0.1759	0.8947
AC	68.9075	38.3588	1.7964	0.1226	
BC	217.3316	38.3588	5.6658	0.0013	
ABC	-465.1954	199.7513	-2.3289	0.0587	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

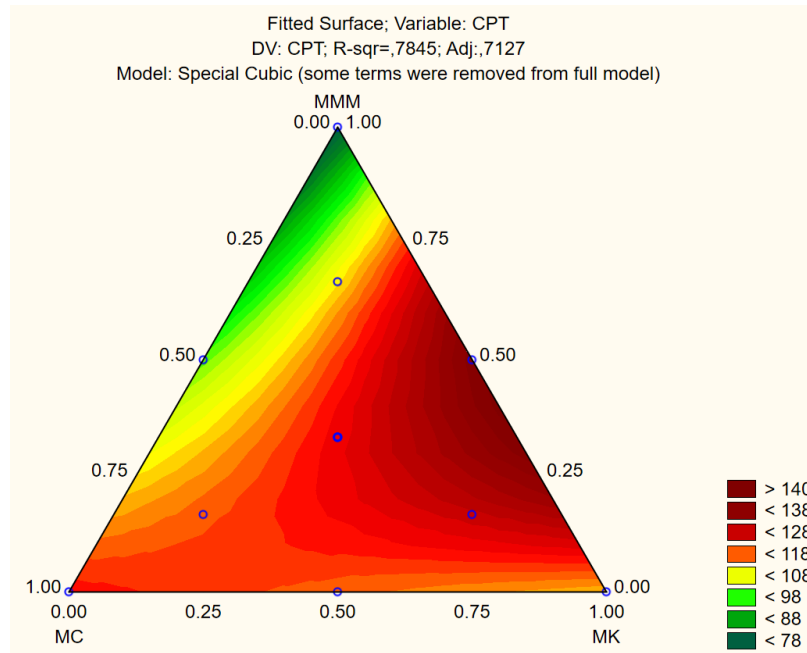
Modelo Special Cubic reducido ( $R^2 = 0.8947$ ):

$$Fenoles (mg GAE/L) = 114.5279(MC) + 108.9622(MK) + 72.2148(MMM) + 217.3316(MK \times MMM)$$

Nota: Se omitieron los términos AB, AC y ABC por no ser significativos o marginalmente significativos

**Figura 10**

Superficie de respuesta para el contenido de fenoles totales en el triángulo de mezclas (MC-MK-MMM)



Nota. Superficie ajustada con modelo de mezcla Special Cubic (reducido); se omiten los términos no significativos según el ANOVA. Se retuvieron A, B, C y la interacción BC. Ajuste:  $R^2 = 0.7845$ . Los puntos indican las corridas experimentales.

El modelo de mezclas para capacidad antioxidante presentó un ajuste moderado ( $R^2 = 0.5736$ ). Los coeficientes de vértice indican que la cañiwa (MK) y el maíz morado (MMM) generan valores de CPT más altos (27.9430 y 27.0595) que la cebada (MC) (20.7943), con efectos principales significativos ( $p < 0.05$ ). Las interacciones  $AB = -12.9123$ ,  $AC = 3.0533$ ,  $BC = -3.9067$  y el término  $ABC = 54.1192$  no resultaron significativos ( $p > 0.05$ ).

### 3.3.10. Evaluación de Capacidad antioxidante en la cerveza:

**Tabla 16**

Análisis de varianza del modelo de mezclas para capacidad antioxidante

Factor	Coefficientes estimados	Error estándar	Estadístico t	p-valor	$R^2$
(A)MC	20.7943	1.5662	13.2772	0.0000	
(B)MK	27.9430	1.5662	17.8416	0.0000	
(C)MMM	27.0595	1.5662	17.2775	0.0000	
AB	-12.9123	7.8869	-1.6372	0.1527	0.5736
AC	3.0533	7.8869	0.3871	0.7120	
BC	-3.9067	7.8869	-0.4953	0.6380	
ABC	54.1192	41.0707	1.3177	0.2357	

Nota. Modelo de mezcla de Scheffé. Se reportan los coeficientes de vértices (MC, MK, MMM) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), sus errores estándar, estadísticos t y p-valores (considerando  $\alpha=0.05$ )

Modelo lineal ( $R^2 = 0.5736$ ):

$$CAO \text{ (mg TE/L)} = 20.7943(MC) + 27.9430(MK) + 27.0595(MMM)$$

Nota: Ninguna interacción fue significativa

La **tabla 17** muestra las metas y ponderaciones usadas en la optimización por deseabilidad, se han considerado solo las respuestas con ajuste suficiente ( $R^2 \geq 0.75$ ): pH, Sólidos solubles, Turbidez, Color, Acidez titulable y Fenoles totales, para evitar soluciones basadas en respuestas inestables.

Bajo este esquema de objetivos, se prioriza color (peso 5), se define turbidez en un objetivo de 200, mantiene AT baja y se espera que pH y solidos solubles estén dentro de un rango.

### **3.4. Proceso de Optimización mediante superficies de respuesta**

Del conjunto de características fisicoquímicas y bioactivas evaluadas (Tablas 7-16), se seleccionaron para el proceso de optimización multiobjetivo únicamente aquellas respuestas cuyos modelos de superficie presentaron coeficientes de determinación  $R^2 \geq 0.75$ . Este criterio garantiza que los modelos explican más del 75% de la variabilidad experimental y, por tanto, generan predicciones confiables dentro del espacio de diseño (Montgomery, 2017). Las respuestas incluidas fueron: pH ( $R^2=0.8436$ ), Sólidos solubles ( $R^2=0.9120$ ), Turbidez ( $R^2=0.9188$ ), Color ( $R^2=0.8840$ ), Acidez titulable ( $R^2=0.7881$ ) y Contenido de fenoles totales ( $R^2=0.8947$ ).

Por el contrario, las respuestas con ajustes inferiores fueron excluidas del proceso de optimización: Grados alcohólicos ( $R^2=0.4753$ ), Capacidad espumante ( $R^2=0.6959$ ), Índice de amargor ( $R^2=0.3213$ ) y Capacidad antioxidante ( $R^2=0.5736$ ). Aunque estas variables fueron caracterizadas y se reportaron sus tendencias generales en función de la composición de las mezclas, sus modelos no alcanzaron la robustez estadística mínima requerida para ser incorporados en la función de deseabilidad, lo cual habría comprometido la validez y reproducibilidad de la formulación optimizada. Esta decisión metodológica es consistente con las mejores prácticas en diseño de experimentos de mezclas (Cornell, 2011; Myers et al. 2016) y previene la propagación de incertidumbre en la solución óptima.

**Tabla 17**

Especificación de objetivos, rangos e importancia para la optimización multiobjetivo

Factor	Objetivo	Límite inferior	Límite superior	Importancia
MC	Rango	0.00	1.00	3
(B) MK	Rango	0.00	1.00	3
MMM	Rango	0.00	1.00	3
pH	Maximizar	4.28	4.58	3
Solidos solubles	Rango	3.17	5.24	3
Turbidez	200	50.33	274.67	1
Color	35	14.05	69.80	5
Acidez titulable	Minimizar	0.19	0.52	2
Contenido de fenoles totales	Maximizar	74.26	145.03	1

Nota. MC = malta de cebada; MK = malta de kañiwa; MMM = malta de maíz morado. Las fracciones de los componentes se expresan en proporción y cumplen  $A+B+C=1$ . Para cada respuesta se define una función de deseabilidad: Maximizar, Minimizar, Rango y Target. La Importancia es el peso relativo (1–5) usado en la deseabilidad global. Solo se incluyeron respuestas con modelos de ajuste  $R^2 \geq 0.75$  para garantizar predicciones confiables. Las respuestas con  $R^2 < 0.75$  (grados alcohólicos, capacidad espumante, índice de amargor y capacidad antioxidante) fueron caracterizadas pero excluidas de la optimización

En la **figura 11** se muestran los perfiles de valores predichos y deseabilidad para cada respuesta al variar individualmente cada componente de la mezcla (MC, MK, MMM) desde 0 a 1, (manteniendo que  $A+B+C=1$ ).

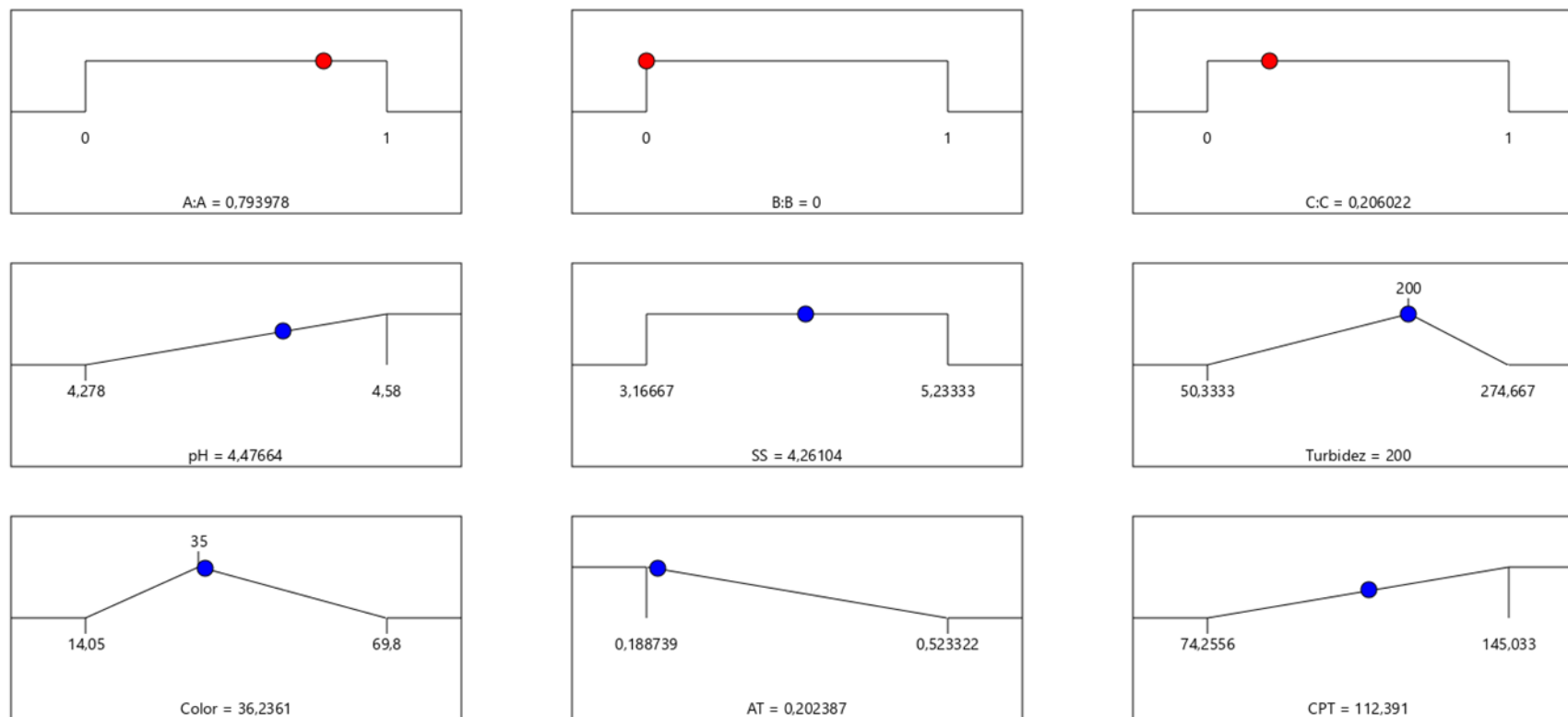
Cada fila presenta 3 mini gráficas en la izquierda, que indican cómo cambia la respuesta cuando se aumenta MC, MK o MMM; los puntos verdes son las predicciones del modelo y las líneas azules marcan límites u objetivos (cada fila explica el comportamiento de un indicador pH, SS, Turbidez, Color, AT y CPT). La cuarta gráfica de cada fila (derecha) muestra la deseabilidad de esa respuesta (0–1) según la meta definida, y la última fila resume la deseabilidad global (combinación ponderada de todas).

Este panel permite ver de manera general qué componente conviene subir o bajar, y entender los comportamientos entre respuestas para acercarnos a la formulación óptima. De esta manera, se tiene que:

- El pH sube con MC y MK; baja con MMM.
- Sólidos solubles (SS) tienden a subir con MC.
- Para turbidez, las combinaciones con MC alto + MMM moderado acercan al objetivo (200 NTU), MK alto tiende a bajarla.
- En color, se acerca al objetivo (35) con MC alto y MMM moderado.
- Para acidez titulable (AT), disminuye cuando MMM es bajo y MC no es pequeño.
- En Fenoles totales (CPT), mejora cuando incrementan las proporciones de MK, pero subir mucho MK empeora otras metas.
- Deseabilidad global (última fila): aumenta al subir MC, disminuye al subir MMM y no mejora con MK alto.

**Figura 11**

Gráficas de perfiles de valores predictivos y deseabilidad



Desirability = 0,888  
Solution 1 out of 4

**Nota.** Perfiles de predicción para la optimización multiobjetivo. La primera fila muestra las proporciones óptimas de componentes (MC, MK, MMM) con sus valores deseables (puntos rojos). Las filas siguientes presentan las respuestas predichas para cada variable (pH, SS, Turbidez, Color, AT, CPT) al variar individualmente cada componente de 0 a 1; los puntos azules indican valores óptimos, las líneas horizontales los objetivos establecidos, y los números en los extremos el rango de variación predicho. La deseabilidad global ( $D = 0.888$ ) representa el compromiso óptimo entre todas las respuestas según los criterios de la Tabla 17. Modelo: mezcla de Scheffé Special Cubic (reducido).



En la **tabla 18** se muestran las cuatro soluciones de la optimización realizada. Se puede ver que la deseabilidad más alta se obtuvo con la formulación MC: 79%, MK 0% y MMM 21%. Esta formulación cumple y equilibra mejor las metas: Turbidez = 200 (se alcanzó el objetivo con exactitud), Color = 36.24 (muy cerca del 35, objetivo de mayor peso), AT = 0.20 (baja), pH = 4.48 y SS = 4.26 en el rango definido. CPT es alto, pero no máximo (112.39); el sacrificio en CPT se compensa por Color/Turbidez/AT.

**Tabla 18**

Soluciones propuestas por la optimización multiobjetivo

Factor	Soluciones			
	1	2	3	4
(A) MC	0.79	0.00	0.23	1.00
(B) MK	0.00	0.82	0.00	0.00
(C) MMM	0.21	0.19	0.77	0.00
pH	4.48	4.44	4.34	4.53
Sólidos solubles	4.26	4.23	3.38	5.05
Turbidez	200.00	146.51	204.34	63.29
Color	36.24	31.44	23.27	41.79
Acidez titulable	0.20	0.37	0.28	0.30
Contenido de fenoles totales	112.39	122.49	109.14	113.58
Deseabilidad	0.89	0.62	0.55	0.42

Nota. MC = malta de cebada; MK = malta de kañiwa; MMM = malta de maíz morado. Las fracciones de mezcla están en proporción y cumplen A+B+C = 1. Los valores de pH, sólidos solubles, turbidez, color, acidez titulable y fenoles son predicciones del modelo de mezcla de Scheffé (Special Cubic, reducido cuando aplica) para cada solución propuesta; no corresponden a mediciones de verificación. Unidades: pH (-), SS (°Brix), Turbidez (NTU), Color (EBC), Acidez titulable (g/100 mL) y Fenoles totales (mg EAG/L) (*ajustar a la unidad usada en el texto*). La Deseabilidad (D) es el promedio geométrico ponderado de las deseabilidades individuales (pesos = "Importancia" de la **Tabla 17**).

### 3.5. Validación de los variables optimizadas

**Tabla 19**

Comparación entre los valores observados y los valores predichos por el modelo.

Variables	Observado	Predicción	$\Delta\%$
pH	4.48	4.47	0.16
Sólidos solubles	4.26	4.30	0.92
Turbidez	200.00	202.00	1.00
Determinación de Color	36.24	36.10	0.38
Acidez Titulable	0.20	0.21	1.98
Contenido de Fenoles Totales	112.39	113.31	0.82

Notas: Observado: Valores observados de cada característica correspondientes a la formulación óptima 79% MC 0% MK 21% MMM. Predicción: Son los resultados para cada característica que ha estimado el modelo de optimización.  $\Delta\% = 100 \times |\text{Observado} - \text{Predicción}| / \text{Predicción}$ .

### 3.6. Evaluación microbiológica previo a la Evaluación Sensorial y Aceptabilidad

**Tabla 20**

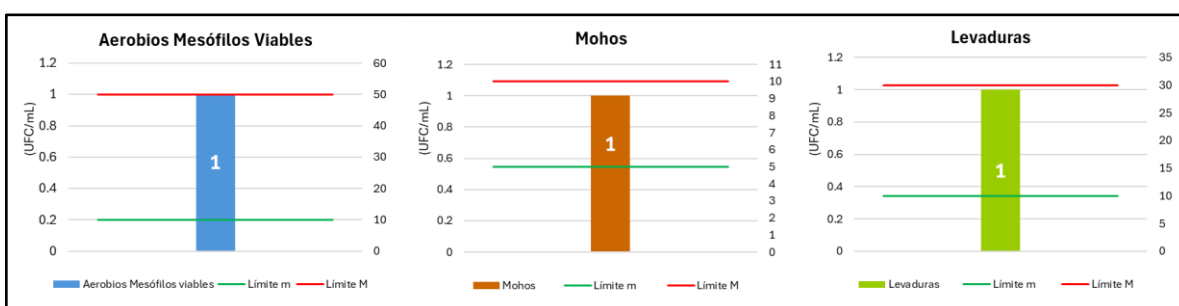
Evaluación microbiológica de la cerveza artesanal

Agente microbiano	Límite m (reglamento)	Límite M (reglamento)	Resultado ensayo	Criterio de evaluación
Aerobios mesófilos	10.0 UFC/mL	50.0 UFC/mL	1.0 UFC/mL	Aceptable
Mohos	5.0 UFC/mL	10.0 UFC/mL	1.0 UFC/mL	Aceptable
Levaduras	10.0 UFC/mL	30.0 UFC/mL	1.0 UFC/mL	Aceptable

Nota. Los recuentos microbianos fueron muy inferiores a los límites reglamentarios, por lo que todos los resultados se calificaron como aceptables.

**Figura 12**

Comparación de resultados microbiológicos según DIGESA



Nota. Se observa en el gráfico de barras, los resultados microbiológicos de la cerveza artesanal se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la normativa DIGESA (2005). En el caso de los aerobios mesófilos, el ensayo reportó <1 UFC/mL frente a los límites normativos de 10 (m) y 50 (M) UFC/mL. De manera similar, los mohos (<1 UFC/mL) y levaduras (<1 UFC/mL) mostraron valores muy inferiores a los máximos permitidos de 5m, 10M y 10m, 30M UFC/mL, respectivamente.

### 3.7. Evaluación sensorial y Aceptabilidad

La **Tabla 21** presenta los puntajes sensoriales promedio ( $\pm$  desviación estándar) otorgados por los panelistas a las cervezas F1 (comercial) y F2 que es la elaborada con la formulación optimizada. Se evaluaron cinco atributos: color, apariencia, aroma, sabor y sensación en boca. Además, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas formulaciones (nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ ).

Se puede ver que, en todos los atributos evaluados, la formulación F1 (cerveza comercial) obtuvo puntajes sensoriales significativamente mayores en comparación con la formulación F2. Se tiene que, en el atributo color, F1 obtuvo un promedio de  $78.67 \pm 17.22$ , mientras que F2 alcanzó  $66.11 \pm 23.42$ , con una diferencia significativa respaldada por un p-valor de 0.00. Tendencias similares se observan en apariencia, aroma, sabor y sensación en boca, con p-valores que oscilan entre 0.00 y 0.01, indicando que las diferencias son estadísticamente significativas.

**Tabla 21**

Puntajes sensoriales de la formulación de cerveza artesanal y la cerveza comercial

Atributos	Formulaciones				Test de Wilcoxon (p-valor)
	F1		F2		
Color	78.67	± 17.22	66.11	± 23.42	0.00
Apariencia	77.64	± 17.68	66.84	± 21.25	0.00
Aroma	78.06	± 18.09	67.72	± 21.25	0.00
Sabor	72.33	± 21.12	67.02	± 24.38	0.01
Sensación en boca	71.86	± 21.45	66.72	± 22.76	0.01

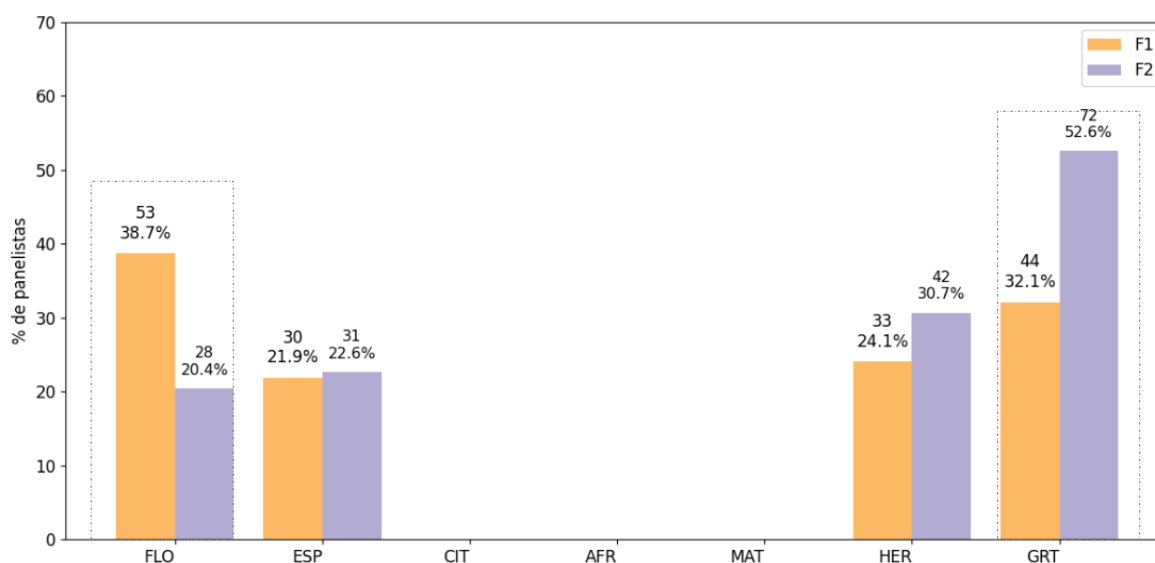
Nota. F1: Cerveza comercial y F2: Cerveza artesanal con la formulación óptima. Los valores representan el promedio del puntaje sensorial ± la desviación estándar. El p-valor obtenido corresponde al test no paramétrico de Wilcoxon (nivel de significancia  $\alpha=0.05$ )

**Análisis Sensorial de la cerveza:**

En la **figura 13** se puede ver que los descriptores de aroma floral y granos tostados están describiendo significativamente a ambas formulaciones. Resaltando la F1 por su aroma floral y F2 por un aroma a granos tostados.

**Figura 13**

Descriptores de aroma para la formulación de cerveza.

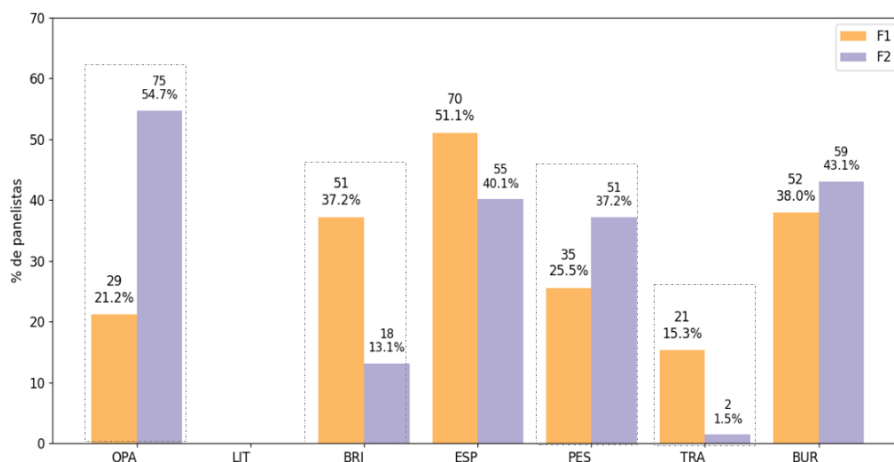


Nota. Las barras muestran la cantidad de panelistas que eligieron un determinado descriptor y el % que representan, de los 137 panelistas. El rectángulo punteado sobre las barras de un descriptor, indica que en ese descriptor los porcentajes que ha recibido cada formulación son diferentes significativamente, según test Q de Cochran con 5% de significancia. Descriptores: Floral (FLO), Especiado (ESP), Cítrico (CIT), Afrutado (AFR), Maltoso (MAT), Herbal (HER) y Granos tostados (GRT).

En la **figura 14** se observa que en la formulación F2 resalta una apariencia opaca y poca espuma (mayor % de panelistas describieron a F2 bajo esa apariencia); mientras que en F1 resalta una apariencia brillante y transparente.

**Figura 14**

Descriptorios de apariencia para las formulaciones de cerveza.

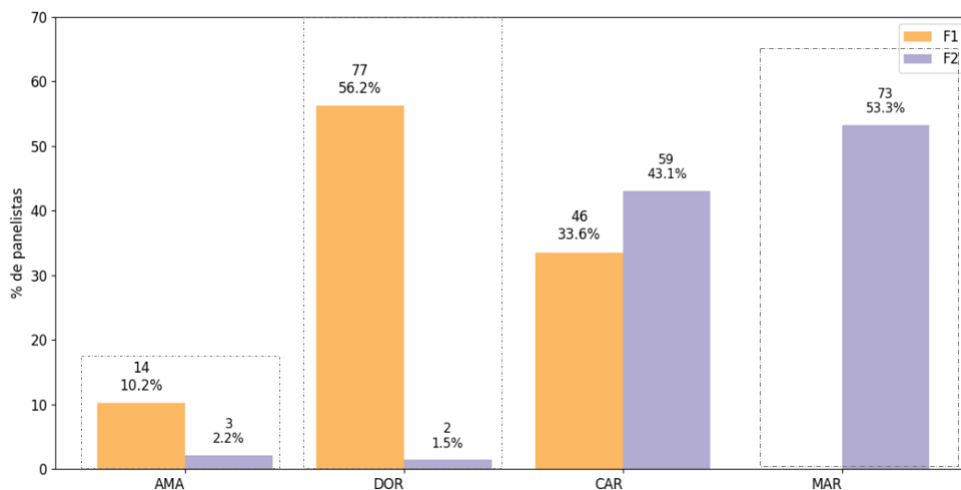


Nota. Las barras muestran la cantidad de panelistas que eligieron un determinado descriptor y el % que representan, de los 137 panelistas. El rectángulo punteado sobre las barras de un descriptor, indica que en ese descriptor los porcentajes que ha recibido cada formulación son diferentes significativamente, según test Q de Cochran con 5% de significancia. Descriptorios: Opaco (OPA), Ligeramente turbia (LIT), Brillante (BRI), Espumoso (ESP), Poca espuma (PES), Transparente (TRA) y Burbujeante (BUR)

En la **figura 15** se observa que en la formulación F2 resalta un color marrón; mientras que para F1, la mayoría de los panelistas la describió como amarilla y dorada.

**Figura 15**

Descriptorios de color para las formulaciones de cerveza.

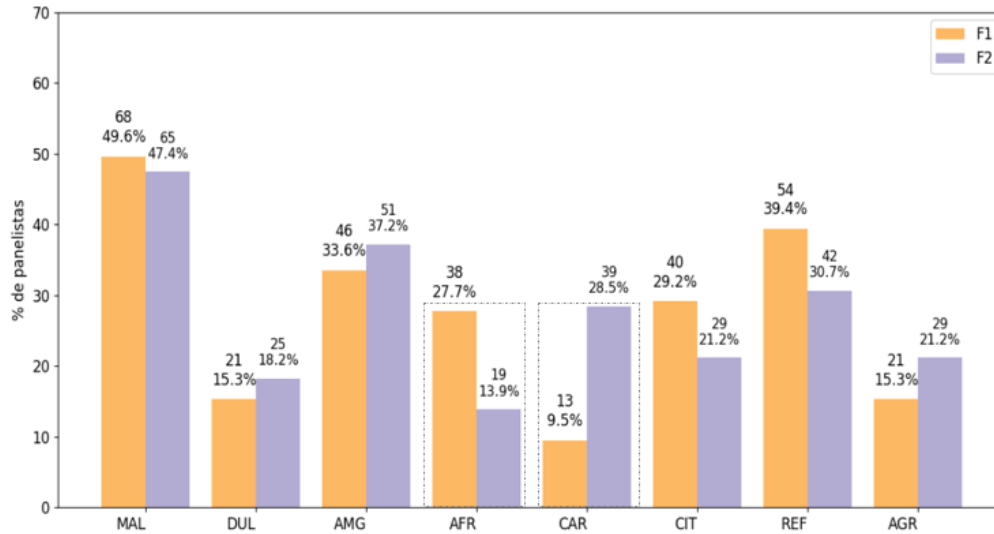


Nota. Las barras muestran la cantidad de panelistas que eligieron un determinado descriptor y el % que representan, de los 137 panelistas. El rectángulo punteado sobre las barras de un descriptor, indica que en ese descriptor los porcentajes que ha recibido cada formulación son diferentes significativamente, según test Q de Cochran con 5% de significancia. Los descriptorios y sus abreviaturas son: Amarillo (AMA), Dorado (DOR), Caramelo (CAR), Marrón (MAR).

En sabor (**figura 16**), F2 resaltó por un sabor a caramelo; mientras que F1, por un sabor afrutado.

**Figura 16**

Descriptores de sabor para las formulaciones de cerveza.

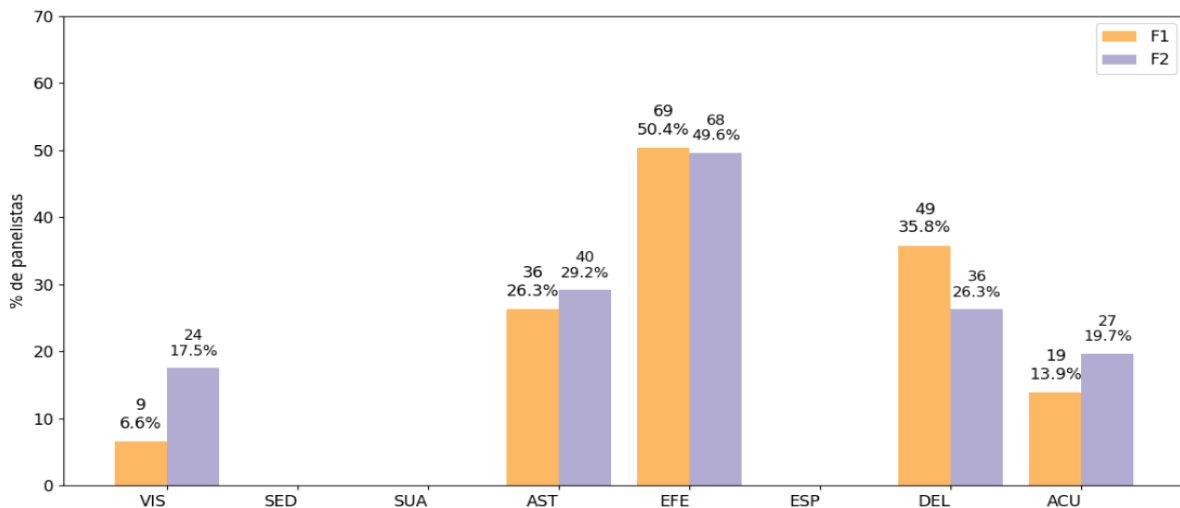


Nota. Las barras muestran la cantidad de panelistas que eligieron un determinado descriptor y el % que representan, de los 137 panelistas. El rectángulo punteado sobre las barras de un descriptor, indica que en ese descriptor los porcentajes que ha recibido cada formulación son diferentes significativamente, según test Q de Cochran con 5% de significancia. Los descriptores y sus abreviaturas son: Malta (MAL), Dulce (DUL), Amargo (AMG), Afrutado (AFR), Caramelo (CAR), Cítrico (CIT), Refrescante (REF) y Agrio (AGR).

Respecto a los descriptores de sensación en boca, en ningún descriptor se observaron proporciones mayoritarias para alguna formulación, según el test Q de Cochran.

**Figura 17**

Descriptores de sensación en boca para las formulaciones de cerveza.



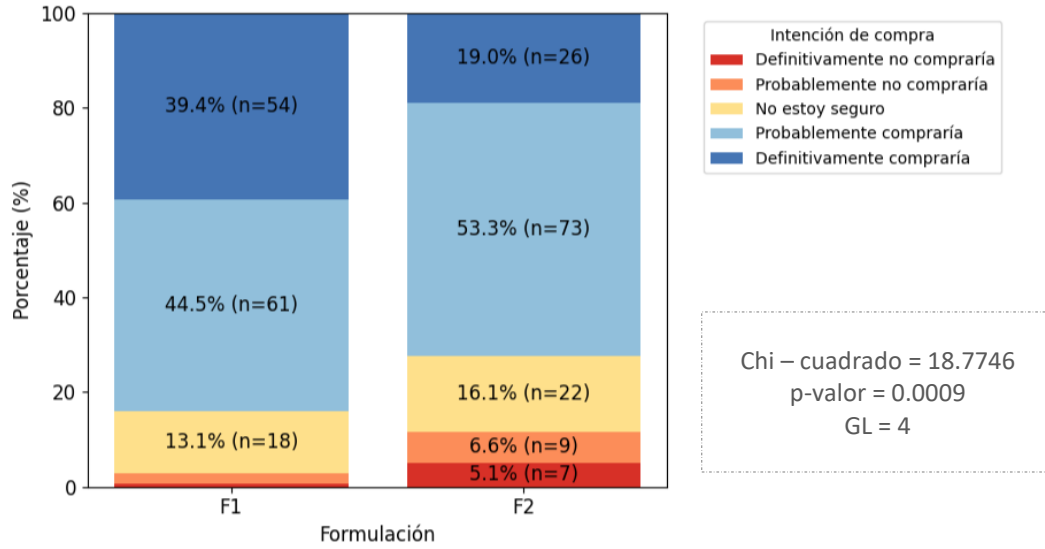
Nota. Las barras muestran la cantidad de panelistas que eligieron un determinado descriptor y el % que representan, de los 137 panelistas. Los descriptores y sus abreviaturas son: Viscoso (VIS), Sedoso (SED), Suave (SUA), Astringente (AST), Efervescente (EFE), Espumoso (ESP), Delicado (DEL) y Acuoso (ACU).

Respecto a la intención de compra (**figura 18**), se observa que, según el test de independencia de Chi-Cuadrado, la intención de compra depende de la formulación que

se evalúa, en este caso F1 ha obtenido significativamente una mayor intención de compra.

**Figura 18**

Distribución de la disposición de compra de los panelistas para cada formulación.



Nota. Las barras muestran la cantidad de panelistas que eligieron una intención de compra y el % que representan, de los 137 panelistas.

## **IV. DISCUSIONES**

### **pH**

Lo valores obtenidos en las formulaciones oscilaron entre 4.20 y 4.60, con un óptimo de 4.477 y un tratamiento control de 4.58.

Estudios similares, como el de López-Rodríguez et al. (2025), señalaron que el proceso de malteado de pseudocereales como la quinua afecta la disponibilidad de ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, repercutiendo directamente en el pH final y ubicándose en el rango de (3.8 a 4.4), mientras que Paucar-Menacho et al. (2025) reportaron reducciones significativas al incorporar jugo de maracuyá (4.00–4.45) con un óptimo de (4.06). De forma complementaria, Humia et al. (2020) encontraron que la elaboración de cerveza con batata Beaugard produjo valores de pH entre 4.63 y 5.00 (control 4.9), resaltando que los tubérculos ricos en almidón no modifican drásticamente este parámetro, pero sí favorecen la estabilidad. Resultados similares fueron descritos por Wu et al. (2024) al incorporar té en distintas etapas de elaboración, obteniendo un rango de 4.50 a 4.68 (control 4.50), confirmando que los ingredientes funcionales no desestabilizan la acidez característica de la cerveza. Asimismo, Dziejziński et al. (2023) reportaron que la suplementación con extracto brotes de pino redujo el pH del mosto de 5.44 y disminuyó a 5.17 (con la adición extracto de brotes de pino), estabilizándose tras la fermentación en 4.31 y descendiendo tras un mes de almacenamiento a 4.06 y 4.04 en control y experimental, respectivamente. En la misma línea, Silva et al. (2022) al caracterizar cervezas artesanales portuguesas encontraron valores entre 4.28 y 4.81, dependiendo del estilo, mientras que Cappelin et al. (2024) al elaborar cerveza ligera con extracto de hojas de olivo reportaron un pH de 5.0 en el control y el tratamiento con 0.5%, y valores de 4.9 en los tratamientos con 1.0% y 2.0%.

Estos hallazgos evidencian que la incorporación de materias primas no convencionales puede modificar levemente el pH inicial, pero el proceso fermentativo asegura su ajuste dentro de los rangos óptimos (4.0–5.0), garantizando estabilidad tecnológica y microbiológica.

### **Solidos solubles**

Los valores obtenidos en las formulaciones oscilaron entre 3.10 y 4.40 °Brix, con un óptimo de 4.26 °Brix, mientras que el control con cebada alcanzó 5.23 °Brix.

Estos resultados se aproximan a lo reportado por López-Rodríguez et al. (2025), quienes, al

evaluar el malteado de quinua en cervezas tipo Red Ale, registraron valores de sólidos solubles entre 4.20 y 5.00 °Brix. De forma similar, Paucar-Menacho et al. (2025) encontraron que la incorporación de maltas de kañiwa produjo un rango de 3.30 a 5.30 °Brix, con un óptimo de 5.05 °Brix, inferior al control de cebada (6.20 °Brix). La comparación evidencia que, en este estudio, la cebada mantiene un valor intermedio (5.23 °Brix), mientras que la sustitución parcial con granos andinos especialmente el maíz morado INIA 601 (3.55 °Brix) reduce significativamente los azúcares fermentables. Este comportamiento se explica porque la cebada posee almidones de alta extractividad, en contraste con la kañiwa y el maíz morado, que contienen fracciones con mayor complejidad estructural y viscosidad.

En síntesis, los hallazgos sugieren que, aunque la inclusión de granos andinos aporta beneficios funcionales y nutricionales, debe equilibrarse con cebada para garantizar niveles adecuados de °Brix y un proceso fermentativo eficiente.

### **Grados alcohólicos**

Los valores obtenidos en las formulaciones oscilaron entre 4.10 y 5.80% v/v, mientras que el control con cebada alcanzó 5.25% v/v.

Estos valores se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura. En el estudio de López-Rodríguez et al. (2025), las cervezas tipo Red Ale suplementadas con quinua presentaron valores entre 3.2 y 4.5% v/v, mientras que el control alcanzó 5.1% v/v, evidenciando que la incorporación de quinua redujo la disponibilidad de azúcares fermentables. Por su parte, Paucar-Menacho et al. (2025) reportó grados alcohólicos en un rango de 4.94 a 6.19% v/v, con un óptimo de 5.10% v/v en formulaciones con kañiwa, ligeramente inferiores al control con cebada (6.20% v/v). Asimismo, Nunes Filho et al. (2021), al aplicar un modelo simplex-centroide en cervezas artesanales tipo Ale, informaron valores entre 4.5 y 5.2% v/v, resaltando la influencia de la composición de azúcares fermentables sobre la producción de etanol. La comparación evidencia que, en este estudio, la cebada mantuvo un rendimiento alcohólico intermedio (5.25% v/v), mientras que la sustitución parcial con granos andinos especialmente quinua y maíz morado tendió a reducir el grado alcohólico frente al control, aunque en ciertas combinaciones se alcanzaron valores competitivos (hasta 5.64% v/v). En conjunto, estos hallazgos confirman que la cebada garantiza mayor aporte fermentable, mientras que la inclusión de pseudocereales, aunque aporta valor nutricional y funcional, debe equilibrarse para no comprometer el grado alcohólico final de la cerveza. Asimismo, Wu et al. (2024) al evaluar la adición de té en diferentes etapas del proceso cervecero reportaron valores de 4.10 y 4.66% v/v, con un



control de 4.02% v/v, evidenciando que la suplementación con ingredientes funcionales no altera significativamente la producción de etanol. Por su parte Cappelin et al. (2024) al elaborar cerveza ligera con extracto de hojas de olivo reportaron un contenido alcohólico de 1.4% v/v en el control, mientras que en los tratamientos con 0.5%, 1.0% y 2.0% de extracto se registraron valores muy similares de 1.3% v/v. En conjunto la suplementación con hojas de olivo no altera la producción de etanol, confirmando que la maceración en frío con fermentación interrumpida asegura bajo contenido alcohólico y viabilidad tecnológica.

Finalmente, la incorporación de kañiwa y maíz morado INIA 601 redujo levemente el etanol frente al control (5.25% v/v), aunque algunas mezclas mantuvieron rendimientos similares. Estos resultados evidencian que es posible desarrollar cervezas artesanales funcionales y equilibradas sin afectar significativamente su grado alcohólico.

### **Capacidad espumante**

Los valores obtenidos en las formulaciones oscilaron entre 41.00 y 42.00% y un tratamiento control de 42.00.

Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por López-Rodríguez et al. (2025), quienes al elaborar cerveza con quinua malteada obtuvieron 28.00 y 64.00% y un tratamiento control de 52.00% de capacidad espumante, destacando que los tratamientos de malteo controlado favorecen la liberación de péptidos de bajo peso molecular responsables de la retención de espuma. Asimismo, Paucar-Menacho et al. (2025) obtuvo valores que oscilaron entre 12.50 y 110.00%, con un óptimo de 80.24 y un tratamiento control de 52.50%. Por su parte Cappelin et al. (2024) al elaborar cerveza ligera suplementada con extracto de hojas de olivo observaron que el control presentó una reducción de espuma de 37.5%, mientras que el tratamiento con 0.5% de extracto alcanzó 33.3%, evidenciando una ligera mejora en la estabilidad. Sin embargo, al aumentar la suplementación a 1.0% se mantuvo el mismo valor (33.3%), y con 2.0% de extracto se registró un incremento notable hasta 67.0%, indicando una disminución significativa de la capacidad espumante.

Los hallazgos de la presente investigación confirman que la adición de maltas de kañiwa y maíz morado INIA 601 permite obtener una espuma consistente y estable, comparable con los valores observados en estudios previos, lo que refuerza la viabilidad de estas materias primas como insumos funcionales que aportan valor sensorial y tecnológico a la cerveza artesanal.

## **Índice de amargor**

Índice de amargor en las formulaciones varió entre 16.00 y 22.00 IBU, mientras que el control con cebada presentó 17 IBU.

Estos valores se encuentran en la franja inferior respecto a otros estudios. López-Rodríguez et al. (2025) reportaron valores de 18 a 26 IBU, evidenciando que el uso de quinua mantiene el amargor en niveles aceptables pero superiores a los nuestros. Por su parte, Paucar-Menacho et al. (2025) encontraron valores de 11 a 15 IBU en formulaciones con kañiwa, más bajos que los observados en nuestro estudio, lo que muestra el efecto atenuante de este pseudocereal sobre la isomerización de los ácidos alfa del lúpulo. De manera distinta, Nunes Filho et al. (2021), al aplicar un modelo simplex-centroide con adición de cúrcuma, pimienta negra y lúpulo, registraron valores entre 13 y 35 IBU, donde el control se situó en torno a 18 IBU, confirmando que la inclusión de especias y la dosificación del lúpulo modifican ampliamente la intensidad del amargor. En contraste, Sánchez et al. (2023) reportaron valores de 22 a 27 IBU, con un óptimo de 25 IBU, superiores a los nuestros y asociados a la interacción de polifenoles del maíz morado con el lúpulo, lo que intensificó la percepción amarga. Asimismo, De Flaviis et al. (2024) informaron un rango de 16 a 28 IBU en cervezas de trigo, atribuyendo las variaciones a diferencias en estilo y levadura. En conjunto, los resultados indican que las cervezas con granos andinos mantuvieron un amargor moderado (21 IBU máx.), más cercano a los valores de (Nunes Filho et al. 2021; Paucar-Menacho et al. 2025) (control), pero por debajo de los de (De Flaviis et al. 2024; López-Rodríguez et al. 2025; Sánchez et al. 2023), sugiriendo que la sustitución parcial de cebada con pseudocereales reduce ligeramente la intensidad del amargor, sin comprometer el balance sensorial de la cerveza tipo Ale. Por su parte Cappelin et al. (2024) al elaborar cerveza ligera con extracto de hojas de olivo observaron que el control presentó 22.5 IBU, el tratamiento con 0.5% de extracto alcanzó 23.25 IBU (ligero incremento respecto al control), mientras que con 1.0% y 2.0% los valores disminuyeron a 21.0 IBU y 19.0 IBU, respectivamente. Por su parte Silva et al. (2022) al evaluar cervezas artesanales portuguesas reportaron valores de 13 IBU y 80 IBU. Por su parte Cappelin et al. (2024) en la formulación de cerveza artesanal suplementada con extracto de hojas de olivo fue desarrollada bajo el estilo American Ale, el cual, de acuerdo con la guía del Beer Judge Certification Program (BJCP), se caracteriza por un rango de amargor entre 15 y 28 IBU.

Esto confirman que el amargor en cervezas tipo Ale se mantiene dentro de parámetros aceptables incluso con sustitución parcial de cebada, garantizando el equilibrio sensorial

esperado por el consumidor.

### **Color**

El color de las formulaciones osciló entre 19.00 y 70.00 EBC, con un óptimo de 36.23 EBC, mientras que el control con cebada alcanzó 14.05 EBC.

Estos valores corresponden a tonalidades ámbar a marrón oscuro, superiores a lo señalado en varios estudios. En el trabajo de López-Rodríguez et al. (2025), el control (100% cebada) presentó 25.4 EBC, mientras que las formulaciones con quinua variaron entre 16 y 28 EBC. De manera similar, Paucar-Menacho et al. (2025) reportaron un control en 16.5 EBC y un rango de 8.1 a 29.9 EBC en cervezas Ale con kañiwa, con valores nuevamente inferiores a los nuestros. En contraste, Nunes Filho et al. (2021) informó colores en torno a  $32.3 \pm 1.1$  EBC, atribuidos al uso de maltas especiales y caramelización de azúcares, sin especificar un control puro de cebada. Por su parte, Sánchez et al. (2023) registró un intervalo de 30 a 45 EBC en Red Ale con extracto de maíz morado y maracuyá, sin control declarado, valores próximos a nuestro óptimo (36.23 EBC) y a la franja media de nuestro rango. Finalmente, De Flaviis et al. (2024) describió cervezas de trigo (Blanche y Weiss) con un rango de 8 a 18 EBC, incluyendo controles de cebada, todas considerablemente más claras que las formulaciones. En conjunto, la comparación demuestra que las cervezas, al incorporar kañiwa y maíz morado INIA 601, presentaron una coloración notablemente más intensa que las reportadas con quinua, kañiwa y trigo, y alcanzaron niveles similares a los obtenidos en formulaciones con maíz morado. Esto confirma el rol de los granos andinos, especialmente el maíz morado, como los principales responsables de la intensificación cromática en la cerveza tipo Ale. Por su parte Cappelin et al. (2024) al elaborar cerveza ligera con extracto de hojas de olivo reportaron valores de 9.0 EBC en el control, mientras que en los tratamientos los valores estaban entre 9.0 a 17.0 EBC. Por su parte Silva et al. (2022) al evaluar cervezas artesanales portuguesas reportaron valores de 10 EBC y 23 EBC evidenciando que los resultados de esta investigación se alinean con los rangos reportados para este tipo de cervezas artesanales.

Según lo reportado las formulaciones estudiadas alcanzaron valores superiores a los reportados con quinua, kañiwa y trigo, lo que confirma que la incorporación de kañiwa y maíz morado INIA 601 intensifica la coloración de la cerveza tipo Ale.

## **Turbidez**

Los valores obtenidos en las formulaciones oscilaron entre 53.00 y 274.70 NTU, con un óptimo calculado de 200.00 NTU y un tratamiento control de 50.33 NTU.

Estos resultados superan lo reportado por Paucar-Menacho et al. (2025), quienes en cervezas con kañiwa y maracuyá registraron valores entre 11.00 y 96.50 NTU, con un óptimo de 14.79 NTU y un tratamiento control de 56.80 NTU. De manera complementaria, Paucar-Menacho et al. (2024) alcanzó valores que variaron entre 13.34 y 121.22 NTU, con un óptimo de 12.63 y un tratamiento control de 56.84 NTU. Este comportamiento general se atribuye a la elevada concentración de antocianinas y fenoles poliméricos presentes en los granos andinos y frutos adicionados, los cuales, aunque reducen la claridad, aportan un valor funcional y un perfil visual diferenciado a la cerveza artesanal. Asimismo Wu et al. (2024) al evaluar la adición de té en diferentes etapas del proceso cervecero reportaron valores de turbidez entre 7.17 y 7.78 NTU, mientras que la cerveza control presentó 11.66 NTU, evidenciando que la incorporación de té no genera incrementos notorios en la turbidez.

Los resultados demostraron que las formulaciones con granos andinos presentaron valores de turbidez más elevados que los reportados en estudios previos, confirmando su efecto en la opacidad; este comportamiento, asociado a la presencia de antocianinas y fenoles, constituye un aporte diferenciador al conferir a la cerveza artesanal un perfil funcional y visual único.

## **Acidez titulable**

La acidez titulable de las formulaciones osciló entre 0.10 y 0.60%, con un óptimo de 0.202%, mientras que el control con cebada alcanzó 0.283%.

Estos valores se encuentran en línea con lo reportado en la literatura. Paucar-Menacho et al. (2025) encontraron valores de 0.22 – 0.35% en cervezas con kañiwa, con un control cercano a 0.25%, coincidiendo con nuestro rango. De manera similar, Nunes Filho et al. (2021) informaron entre 0.18 – 0.30%, comparables a nuestros valores más bajos y al óptimo. En contraste, Sánchez et al. (2023) reportaron valores más elevados (0.40 – 0.55%) al emplear maíz morado y maracuyá, superando a las formulaciones debido al aporte adicional de ácidos orgánicos. Por su parte, De Flaviis et al. (2024) observaron un rango más bajo (0.15 – 0.25%) en cervezas de trigo, similar a nuestros valores óptimos. Por su parte Silva et al. (2022) al evaluar cervezas artesanales portuguesas reportaron valores de 0.17 y 0.44%. Por otro lado, Godínez-Hernández et al. (2025) al evaluar cervezas artesanales tipo Ale observaron valores

de 0.15 y 0.23%.

Estos resultados muestran que la inclusión de kañiwa y maíz morado INIA 601 permite obtener niveles de acidez titulable dentro de los rangos típicos de cervezas artesanales, con un perfil intermedio entre los estilos más bajos (trigo) y los más altos (frutales), garantizando equilibrio sensorial y estabilidad microbiológica.

### **Fenoles totales**

El contenido de fenoles totales en las formulaciones de cerveza artesanal tipo Ale con maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 osciló entre 74.26 y 145.03 mg GAE/L, con un óptimo de 112.39 mg GAE/L, valores moderados frente a lo descrito en la literatura.

Según Pachas (2019) reportó en cervezas artesanales locales un rango de 700–1330 mg GAE/L, con un óptimo en Golden Ale (1330 mg GAE/L), mientras que las industriales se situaron en 470–590 mg GAE/L. De manera similar, Sánchez et al. (2023) obtuvieron en una Red Ale enriquecida con extracto de maíz morado y maracuyá un valor máximo de 20,820 mg GAE/L, significativamente superior a las formulaciones, atribuible al elevado aporte de antocianinas y compuestos fenólicos de dichos adjuntos. Según Gouvinhas et al. (2021) señalaron contenidos de 150–820 mg GAE/L en cervezas comerciales portuguesas (óptimo 485 mg GAE/L), y Silva et al. (2022) ampliaron este rango hasta 2172 mg GAE/L en artesanales portuguesas. Por su parte (Mendoza et al. 2022) encontraron 362 mg GAE/L (Coffee Stout, óptimo), 299 mg GAE/L (Stout Ale) y 271 mg GAE/L (American Brown Ale), mientras que en IPA reportaron valores similares a los nuestros (102–104 mg GAE/L). En contraste, Coulibaly et al. (2023) determinaron para cervezas de maíz y arroz un intervalo de 216–268 mg GAE/L (óptimo 242 mg GAE/L). Además, estudios experimentales muestran aumentos significativos mediante adjuntos vegetales: bilberry (893-957 mg GAE/L) Nedyalkov et al. (2025), brotes de pino con un incremento de 30% respecto al control Dziedziński et al. (2023), y té verde como fuente de catequina y ácido cafeico Wu et al. (2024). Revisiones recientes confirman que la adición de frutas, hierbas o propóleos puede elevar el contenido de fenoles totales a valores superiores a 2000 mg GAE/L (Boronat et al. 2020; Martinez-Gomez et al. 2020; Nardini, 2023).

En conclusión, aunque los valores hallados en este estudio (74–145 mg GAE/L, óptimo 112.39 mg GAE/L) son inferiores a los reportados en cervezas peruanas, mexicanas, portuguesas y en cervezas funcionales enriquecidas, se asemejan a estilos ligeros como de IPA y evidencian que la incorporación de kañiwa y maíz morado INIA 601 aporta

compuestos fenólicos, aunque aún se requiere optimización en proporciones y condiciones tecnológicas para incrementar su transferencia al producto final.

### **Capacidad antioxidante**

La capacidad antioxidante determinada por DPPH en las formulaciones de cerveza tipo Ale se encontró entre 19.86 y 27.88 mg TE/L, valores que evidencian la presencia de compuestos radicalarios activos, aunque en niveles reducidos frente a lo descrito en la literatura.

Pachas (2019) informó que las cervezas artesanales alcanzaron valores de 300 mg TE/L, mientras que las industriales presentaron entre 85 y 135 mg TE/L, superando ampliamente a las formulaciones. De manera similar, Sánchez et al. (2023) registraron en una Red Ale con maíz morado y maracuyá hasta 1716 mg TE/L, atribuible a la elevada concentración de antocianinas. Silva et al. (2022) señalaron que la inhibición DPPH de cervezas portuguesas osciló entre 36.5 y 96%, y Gouvinhas et al. (2021) confirmaron la correlación entre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante, especialmente en cervezas oscuras. Según (Mendoza et al. 2022) describieron inhibiciones cercanas al 80% en estilos Coffee Stout, mientras que Lager e IPA reportaron valores mucho menores, comparables a las formulaciones. Coulibaly et al. (2023) hallaron en cervezas de arroz una inhibición de 57.6%, equivalente a valores intermedios en comparación con los demás estudios. Finalmente, investigaciones experimentales han demostrado incrementos notables mediante adjuntos: la maduración con bilberry aumentó el DPPH en más de tres veces respecto a controles Nedyalkov et al. (2025), la adición de té verde permitió alcanzar valores de 1588 mg TE/L Wu et al. (2024), y la suplementación con brotes de pino también generó aumentos significativos en la capacidad antioxidante Dzedziński et al. (2023).

En conclusión, aunque los resultados de esta investigación (19.86-27.88 mg TE/L) se sitúan en el rango más bajo frente a cervezas artesanales, industriales y funcionales enriquecidas, confirman que la inclusión de kañiwa y maíz morado aporta actividad antioxidante medible; sin embargo, se requiere optimización de las condiciones tecnológicas y de la proporción de materias primas funcionales para mejorar la capacidad antioxidante y aproximarla a los niveles superiores descritos en la literatura.

### **Análisis sensorial**

El análisis sensorial realizado con 137 panelistas mostró diferencias estadísticamente significativas entre la cerveza comercial (F1) y la formulación optimizada (F2). En color, F1

alcanzó un 87.4% de aceptación (78.67) frente a un 73.5% de F2 (66.11); en apariencia, F1 obtuvo 86.3% frente a 74.3% de F2; en aroma, 86.7% frente a 75.2%; en sabor, 80.4% frente a 74.5%; y en sensación en boca, 79.8% frente a 74.1%.

Estos resultados reflejan una preferencia clara de los panelistas por la formulación comercial, caracterizada por atributos tradicionales como aroma floral (45%), color dorado-amarillo (60%) y apariencia brillante (62%). En contraste, la formulación optimizada fue descrita con notas innovadoras a granos tostados (42%), sabor a caramelo (38%) y color marrón (55%), además de una apariencia opaca y con poca espuma. En la disposición de compra, F1 fue significativamente más aceptada con un 65% de intención positiva frente al 35% de F2. Estos hallazgos se alinean con lo reportado en la literatura. López-Rodríguez et al. (2025) encontraron que en cervezas Red Ale con quinua, el control alcanzó 8.70 puntos en sabor (96.7%) y 8.04 en aceptabilidad general (89.3%), mientras que los tratamientos suplementados oscilaron entre 62.7% y 89.0%, valores similares a los obtenidos en F2. De igual forma, Paucar-Menacho et al. (2024) reportaron que la mejor formulación con kañiwa y aguaymanto (E8) alcanzó 7.52 en apariencia (83.5%), 7.47 en aroma (83.0%), 6.90 en color (76.6%) y 7.41 en gusto (82.3%), mientras que el control de cebada se mantuvo por encima del 80% en la mayoría de atributos. Posteriormente, Paucar-Menacho et al. (2025) registraron en cervezas con kañiwa y jugo de betabel valores de 6.47 a 7.41 puntos (71.8–82.3%), con intenciones de compra de 3.30 a 4.23 en escala hedónica (66–84%), lo que nuevamente muestra que la innovación mejora la complejidad sensorial, pero no supera la preferencia por el control. Finalmente, De Flaviis et al. (2024) documentaron que las cervezas de trigo alcanzaron entre 6.0 y 8.2 puntos (66.7–91.1%) dependiendo de la levadura y del origen del trigo, confirmando que los perfiles más tradicionales (aromas frutales, color claro) lograron las puntuaciones más altas. En conjunto, la formulación optimizada (F2) se ubicó en un rango de aceptación del 73–75%, aunque por debajo de los valores obtenidos por las formulaciones tradicionales (80–96%).

Esto sugiere que, si bien F2 aporta atributos diferenciadores como notas tostadas y caramelizadas con identidad andina, la preferencia sensorial de los consumidores sigue inclinándose hacia perfiles clásicos con mayor aceptación general.

### **Deseabilidad global**

En este estudio, la formulación optimizada de cerveza tipo Ale alcanzó una deseabilidad global de 0.890.

Por su parte, Paucar-Menacho et al. 2024) al evaluar formulaciones con malta de kañiwa y jugo de aguaymanto, reportaron un valor de 0.915. De manera complementaria Paucar-Menacho et al. (2025) también aplicaron un modelo simplex-centroide en cervezas con kañiwa, reportando numéricamente una deseabilidad global de 0.948.

En conjunto, estos hallazgos evidencian que, si bien son escasos los estudios que han cuantificado la deseabilidad global en cervezas artesanales, todos coinciden en resaltar que la aplicación de metodologías estadísticas de optimización, junto con la incorporación de granos andinos y aditivos funcionales, favorece el desarrollo de formulaciones con un balance integral entre desempeño tecnológico, propiedades bioactivas y aceptación sensorial.



## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

La optimización mediante diseño Simplex Centroides identificó como formulación óptima 79% malta de cebada - 21% maíz morado INIA 601 (deseabilidad=0.890), alcanzando pH 4.477, sólidos solubles 4.261 °Brix, turbidez 200.00 NTU, color 36.236 EBC, acidez titulable 0.202%, fenoles totales 112.391 mg GAE/L y capacidad antioxidante 23.70 mg TE/L, con desviaciones <1% entre valores predichos y observados.

Las características fisicoquímicas demostraron que la malta de cebada aporta mayor extractividad (5.095 °Brix) que kañiwa (4.365 °Brix) y maíz morado (3.553 °Brix). El pH se mantuvo estable (4.20-4.60), los grados alcohólicos fluctuaron 4.10-5.80% v/v, y el amargor osciló 16.00-22.00 IBU. La turbidez exhibió comportamiento sinérgico ( $R^2=0.9188$ , valores 53.00-274.70 NTU) por interacciones maíz morado-cebada ( $p=0.0007$ ) y maíz morado-kañiwa ( $p=0.0033$ ). El color varió 19.00-70.00 EBC, evidenciando intensificación cromática por antocianinas del maíz morado.

El contenido de compuestos bioactivos reveló fenoles totales 74.26-145.03 mg GAE/L (óptimo=112.39 mg GAE/L,  $R^2=0.8947$ ) con efecto sinérgico kañiwa-maíz morado (BC=217.33,  $p=0.0013$ ). La capacidad antioxidante (19.86-27.88 mg TE/L) mostró mayor actividad en kañiwa (27.94 mg TE/L) y maíz morado (27.06 mg TE/L) versus cebada (20.79 mg TE/L), confirmando que los granos andinos incrementan el valor funcional del producto.

La validación microbiológica presentó recuentos <1.0 UFC/mL para aerobios mesófilos, mohos y levaduras, valores significativamente inferiores a límites NTP N° 0.71-MINSA/2008, garantizando inocuidad y estabilidad microbiológica del producto final. La aceptabilidad sensorial alcanzó 74.5% en la formulación optimizada versus 84.0% en cerveza comercial, con diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en todos los atributos. El perfil sensorial se caracterizó por aroma a granos tostados (42%), sabor a caramelo (38%) y color marrón (55%), contrastando con el perfil comercial de aroma floral (45%), sabor afrutado y color dorado (60%). La intención de compra fue 72%, evidenciando que, aunque los granos andinos aportan perfil diferenciado, se requieren estrategias de educación sensorial al consumidor.

## Recomendaciones

Incrementar la proporción de malta de kañiwa hasta 15-20% en combinación con maíz morado INIA 601 para maximizar el efecto sinérgico kañiwa-maíz morado (BC=217.33,  $p=0.0013$ ) identificado en fenoles totales. Evaluar temperaturas de maceración entre 62-68°C y tiempos de fermentación de 8-10 días para mejorar la extracción y retención de antocianinas, cuantificando estabilidad durante 6 meses de almacenamiento en condiciones controladas (4°C y temperatura ambiente).

Identificar antocianinas y flavonoides específicos mediante HPLC-MS para establecer correlaciones cuantitativas entre perfiles fenólicos individuales y capacidad antioxidante. Complementar con métodos ORAC y FRAP para validación cruzada de actividad antioxidante, considerando que el método DPPH presentó ajuste moderado ( $R^2=0.5736$ ).

Implementar clarificación con bentonita (0.5-1.0 g/L) o filtración tangencial para reducir turbidez en formulaciones con >15% maíz morado, manteniendo compuestos bioactivos. Incorporar proteínas estabilizantes (0.2-0.5% albúmina o caseinato) en mezclas con >20% kañiwa para contrarrestar la reducción de estabilidad espumante observada en interacción BC ( $p=0.0840$ ).

Diseñar estrategia de educación sensorial dirigida que incluya: (1) degustaciones comparativas con información sobre beneficios funcionales de granos andinos, (2) maridaje con gastronomía peruana para valorar notas tostadas y caramelizadas, y (3) comunicación de identidad andina en etiquetado. Evaluar formulaciones híbridas (60-70% cebada, 10-15% kañiwa, 15-25% maíz morado) que balanceen perfil sensorial tradicional con aporte funcional diferenciado.

Validar la formulación optimizada en lotes piloto de 100-200 L para identificar puntos críticos de control en germinación, malteado, maceración y fermentación. Evaluar viabilidad económica considerando costos de materias primas andinas versus beneficios de posicionamiento en mercado premium. Cuantificar huella de carbono y huella hídrica del proceso para desarrollar certificación de sostenibilidad que agregue valor comercial.

Explorar aplicación de diseños D-optimal para optimizar formulaciones con cuatro o más componentes (e.g. inclusión de quinua o amaranto). Evaluar efecto de diferentes cepas de levadura (*Saccharomyces cerevisiae* var. *diastaticus*, *S. pastorianus*) sobre extracción de compuestos bioactivos y perfil sensorial. Investigar bioaccesibilidad y biodisponibilidad de antocianinas y polifenoles mediante simulación gastrointestinal *in vitro* e *in vivo* para validar potencial funcional real del producto.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almerco, Evelyn, Walter. 2022. “Análisis del sistema de comercialización y su relación con el intercambio comercial, costos y canales de distribución del maíz morado en la Provincia de Huánuco, 2018–2019”. doi: 10.3390/molecules25112582.
- AOAC. 2005. *AOAC*. Vol. 222. Association of Official Analytical Chemists Washington, DC.
- Bezerril, Fabrícia França, Tatiana Colombo Pimentel, Karine Peixoto de Aquino, Danieli C. Schabo, Marcy Heli Paiva Rodrigues, Marcos dos Santos Lima, Donald W. Schaffner, Eliana B. Furlong, y Marciane Magnani. 2023. “Wheat craft beer made from AFB1-contaminated wheat malt contains detectable mycotoxins, retains quality attributes, but differs in some fermentation metabolites”. *Food Research International* 172:112774. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112774>.
- Boronat, Anna, Natalia Soldevila-Domenech, Jose Rodríguez-Morató, Miriam Martínez-Huélamo, Rosa M. Lamuela-Raventós, y Rafael De la Torre. 2020. “Beer phenolic composition of simple phenols, prenylated flavonoids and alkylresorcinols”. *Molecules* 25(11):2582.
- Brand-Williams, Wendy, Marie-Elisabeth Cuvelier, y CLWT Berset. 1995. “Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity”. *LWT-Food science and Technology* 28(1):25–30. doi: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Cappelin, Eliziane, Daiane Meneguzzi, Diogo Henrique Hendges, Tatiane Luiza Cadorin Oldoni, Marina Leite Mitterer Daltoé, Marcelo Luis Kuhn Marchioro, y Mario Antônio Alves da Cunha. 2024. “Low-alcohol light beer enriched with olive leaves extract: Cold mashing technique associated with interrupted fermentation in the brewing process”. *Electronic Journal of Biotechnology* 68:81–89. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2024.01.002>.
- Cela, Nazarena, Nicola Condelli, Giuseppe Perretti, Maria Di Cairano, Jessika De Clippeeler, Fernanda Galgano, y Gert De Rouck. (2023b). “A comprehensive comparison of gluten-free brewing techniques: Differences in gluten reduction ability, analytical attributes, and hedonic perception”. *Beverages* 9(1):18. doi: <https://doi.org/10.3390/beverages9010018>.

- Cela, Nazarena, Nicola Condelli, Giuseppe Perretti, Maria Di Cairano, Roberta Tolve, y Fernanda Galgano. (2023a). “Gluten reduction in beer: Effect of sorghum: quinoa ratio and protein rest time on brewing parameters and consumer acceptability”. *Journal of Cereal Science* 109:103607. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103607>  
Get rights and content.
- Chacón, Carla, y Camila Chingal. 2023. “Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (*Zea Mays*) en las características fisicoquímicas y sensoriales de una cerveza artesanal tipo Irish red ale”. UPEC.
- Cornell, John A. 2011. *A primer on experiments with mixtures*. John Wiley & Sons.
- da Costa Jardim, Carmelita, Daiana De Souza, Isabel Cristina Kasper Machado, Laura Massochin Nunes Pinto, Renata Cristina de Souza Ramos, y Juliano Garavaglia. 2018. “Sensory profile, consumer preference and chemical composition of craft beers from Brazil”. *Beverages* 4(4):106. doi: 10.3390/beverages4040106.
- Coulibaly, Wahauwouélé Hermann, Yabo Majoie Géroxie Tohyessou, Pierre Alain Kouassi Konan, y Koffi Marcellin Dje. 2023. “Bioactive compounds and antioxidant activities of two industrial beers produced in Ivory Coast”. *Heliyon* 9(8). doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19168>.
- Dabija, Adriana, Marius Eduard Ciocan, Ancuta Chetrariu, y Georgiana Gabriela Codină. 2021. “Maize and sorghum as raw materials for brewing, a review”. *Applied Sciences* 11(7):3139. doi: <https://doi.org/10.3390/app11073139>.
- Delgado, Domenica A. Bradley S. Lambert, Nickolas Boutris, Patrick C. McCulloch, Andrew B. Robbins, Michael R. Moreno, y Joshua D. Harris. 2018. “Validation of Digital Visual Analog Scale Pain Scoring With a Traditional Paper-based Visual Analog Scale in Adults”. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons Global Research and Reviews* 2(3). doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00088.
- Derringer, George, y Ronald Suich. 1980. “Simultaneous optimization of several response variables”. *Journal of quality technology* 12(4):214–19.
- DIGESA. 2001. *Manual de Analisis Microbiologico De Alimentos*. Vol. 1999. Lima, Perú.
- Dziedziński, Marcin, Barbara Stachowiak, Joanna Kobus-Cisowska, Rafał Kozłowski, Kinga Stuper-Szablewska, Katarzyna Szambelan, y Barbara Górna. 2023. “Supplementation of beer with *Pinus sylvestris* L. shoots extracts and its effect on

- fermentation, phenolic content, antioxidant activity and sensory profiles”. *Electronic Journal of Biotechnology* 63:10–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2023.01.001>.
- De Flaviis, Riccardo, Veronica Santarelli, Sergio Grilli, y Giampiero Sacchetti. 2024. “An integrative multi-omics approach aimed to gain insight on the effect of composition, style, yeast, and wheat species on wheat craft beer flavour”. *Food Chemistry* 441:138387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138387>.
- García Martínez, Eva María, Isabel Fernández Segovia, y Ana Fuentes López. 2015. *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Godínez-Hernández, César Iván, Teresa de Jesús Rodríguez-Cardona, Juan Antonio Rendón-Huerta, Braulio Cervantes-Paz, y Christian Michel-Cuello. 2025. “Physicochemical Kinetics and Determination of Methyl and Ethyl Alcohols in Own-Manufactured Craft Beer and Comparison with Commercial Mexican Craft Beers”. *Beverages* 11(1):28. doi: <https://doi.org/10.3390/beverages11010028>.
- Gómez, Sol Valeria, y Emiliano Nicolas León. 2020. “Estrategias de Marketing en el sector cervecero artesanal”.
- Gouvinhas, Irene, Cristiana Breda, y Ana Isabel Barros. 2021. “Characterization and discrimination of commercial portuguese beers based on phenolic composition and antioxidant capacity”. *Foods* 10(5):1144. doi: <https://doi.org/10.3390/foods10051144>.
- Humia, Bruno Vieira, Klebson Silva Santos, Jaderson Kleveston Schneider, Ingrid Lessa Leal, Gabriele de Abreu Barreto, Thâmillia Batista, Bruna Aparecida Souza Machado, Janice Izabel Druzian, Laiza Canelas Krause, y Marcelo da Costa Mendonça. 2020. “Physicochemical and sensory profile of Beauregard sweet potato beer”. *Food Chemistry* 312:126087. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126087>.
- INACAL. 2016. *NTP 213.027:2016. Cerveza. Método espectrofotométrico para la determinación del color*. Lima, Perú.
- INACAL. 2020. *Guía para la limpieza y desinfección de manos y superficies*. Lima, Perú.
- INEN. 2003. *NTE INEN 2262. Bebidas alcohólicas. Cerveza. Requisitos*. Vol. 2262. Quito.
- López-Rodríguez, William E. Jhoselyn L. Ramirez-Gutierrez, Miuller D. Morales

- Valdiviezo, Janet E. Muñoz-Agreda, Korey S. Paredes-Barríos, Juanita Analí Ponce-Ramírez, Melisa S. Barco-Jara, María de Fatima Arevalo-Oliva, Guisela P. Carbajal-Romero, y Jorge Domínguez. 2025. "Evaluation of *Chenopodium quinoa* (Willdenow) malting parameters on the quality of a red Ale craft beer supplemented with Pilsen base malt and caramel malt". *Journal of Cereal Science* 121:104085. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.104085>.
- Loviso, Claudia L. y Diego Libkind. 2018. "Synthesis and regulation of flavor compounds derived from brewing yeast: Esters". *Revista Argentina de Microbiología* 50(4):436–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.11.006>.
- Martínez-Gómez, Álvaro, Isabel Caballero, y Carlos A. Blanco. 2020. "Phenols and melanoidins as natural antioxidants in beer. Structure, reactivity and antioxidant activity". *Biomolecules* 10(3):400. doi: 10.3390/biom10030400.
- Medoro, Chiara, Marta Cianciabella, Francesca Camilli, Massimiliano Magli, Edoardo Gatti, y Stefano Predieri. 2016. "Sensory profile of Italian craft beers, beer taster expert versus sensory methods: A comparative study". *Food and Nutrition Sciences* 7(06):454. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2016.76047>.
- Mendoza, Daniel González, Olivia Tzinzun-Camacho, y Vianey Méndez-Trujillo. 2022. "Determination of antioxidant activity and phenolic compounds in different Mexican craft beers". *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales* 9(1):46–54. doi: <https://doi.org/10.23850/24220582.4713>.
- MINSA. 2008. *NTS N.º 071-MINSA/DIGESA V.01*. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.
- Montgomery, Douglas C. 2017. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons.
- Myers. 2016. *Response Surface Methodology*. 4th editio. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Nardini, Mirella. 2023. "An overview of bioactive phenolic molecules and antioxidant properties of beer: emerging trends". *Molecules* 28(7):3221. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules28073221>.
- Nedyalkov, Petar, Vesela Shopska, Giuseppe Perretti, y Maria Kaneva. 2025. "Antioxidant Capacity, Phenolic and Organoleptic Profiles of Beers Maturated with Bilberries". *Fermentation* 11(6):334. doi: <https://doi.org/10.3390/fermentation11060334>.

- Nunes Filho, Roberto Campos, Diego Galvan, Luciane Efftting, Marcela Moreira Terhaag, Fábio Yamashita, Marta de Toledo Benassi, y Wilma Aparecida Spinosa. 2021. "Effects of adding spices with antioxidants compounds in red ale style craft beer: A simplex-centroid mixture design approach". *Food Chemistry* 365:130478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130478>.
- Pachas, J. C. 2019. "Contenido de Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cervezas artesanales e industriales". *Peruvian Agricultural Research* 1(1). doi: <https://doi.org/10.51431/par.v1i1.480>.
- Paucar-Menacho, Luz Maria, Rebeca Salvador-Reyes, Williams Esteward Castillo-Martinez, Alicia Lavado-Cruz, Angie Verona-Ruiz, Jordy Campos-Rodriguez, Katherine Acosta-Coral, Wilson Daniel Simpalo-Lopez, William López-Rodriguez, y Soledad Quezada-Berrú. 2025. "Optimization of a craft ale-type beer enriched with cañihua malt (*Chenopodium pallidicaule*) and banana passionfruit juice (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*)". *Heliyon* 11(4).
- Paucar-Menacho, Luz Maria, Rebeca Salvador-Reyes, Wilson Daniel Simpalo-Lopez, Alicia Lavado-Cruz, Angie Verona-Ruiz, Jordy Campos-Rodriguez, Katherine Acosta-Coral, Williams Esteward Castillo-Martinez, William López-Rodriguez, y Soledad Quezada-Berrú. 2024. "Optimization of Ale-Type Craft Beer Through the Addition of Cañihua Malt (*Chenopodium pallidicaule*) and Aguaymanto Juice (*Physalis peruviana*) Using a D-Optimal Experimental Design". *Beverages* 11(1):4.
- Peryam, David R. y Francis J. Pilgrim. 1957. "Hedonic scale method of measuring food preferences." *Food technology* 11.
- Queirós, Rui P. Mario González-Angulo, Berta Polanco-Estibález, Vinicio Serment-Moreno, y Carole Tonello-Samson. 2024. "Exploring the effects of high pressure processing on the quality of craft beer at an industrial scale". *LWT* 194:115824. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115824>.
- Ramírez, Carlos. 2016. "Estandarización de los procesos de fabricación de cervezas en planta piloto".
- Repo-Carrasco, Ritva, Clara Espinoza, y S. E. Jacobsen. 2003. "Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*)". *Food reviews international* 19(1–2):179–89. doi:

<https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>.

Romero, C. E. L. Benitez, N. Peruchena, G. Sosa, y J. Lozano. 2012. “¿ A qué se debe la formación y estabilidad de la espuma en la cerveza”. *Estudio en cervezas regionales del nordeste argentino. II jornadas de investigación en ingeniería del NEA y países limítrofes. Resistencia. UTN*.

Sánchez, José Eduardo Arévalo, Tatiana Guadalupe Domínguez Hernández, Juan Manuel Pérez Gómez, y Carlos Gerardo Vásquez Gallardo. 2022. “Sustitución parcial de malta de cebada (*Hordeum vulgare*) por maíz morado (*Zea mays* L.) en el desarrollo de cerveza estilo Cream Ale: evaluación de parámetros fisicoquímicos y evaluación sensorial”. *Izote Journal* 1(1):71–82.

Sánchez, Natanael Rodríguez, Gianfranco German Llona Cueva, Gilbert Rodríguez Paucar, Beetthssy Zzussy Hurtado-Soria, Maribel Pineda Pérez, Cristian Miguel Huamán Zevallos, Lucia Ruth Pantoja Tirado, y Eudes Villanueva López. 2023. “Capacidad antioxidante de la cerveza artesanal red ale con la adición de extracto de maíz morado (*Zea mays* L) y zumo de fruta de maracuyá (*Passiflora edulis*)”. *Qantu Yachay* 3(2):45–56. doi: <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v3i2.58>.

Silva, Sara, Ana Isabel Oliveira, Agostinho Cruz, Rita Ferraz Oliveira, Rubim Almeida, y Cláudia Pinho. 2022. “Physicochemical properties and antioxidant activity of Portuguese craft beers and raw materials”. *Molecules* 27(22):8007. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules27228007>.

Tomás-Barberán, Francisco A. María I. Gil, Paedar Cremin, Andrew L. Waterhouse, Betty Hess-Pierce, y Adel A. Kader. 2001. “HPLC– DAD– ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(10):4748–60. doi: 10.1021/jf0104681.

Wu, Jianhang, Ye Zhang, Ran Qiu, Li Li, y Xuyan Zong. 2024. “Effects of tea addition on antioxidant capacity, volatiles, and sensory quality of beer”. *Food Chemistry: X* 21:101193. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101193>.



## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén por la formación académica y humana que hizo posible esta investigación. Especial gratitud al Dr. Segundo Grimaldo Chávez Quintana, director del Laboratorio de Fisiología, Postcosecha y Procesamiento de Café del INDESCES-UNTRM, y al personal del Laboratorio de Control de Calidad de Cacao de la misma institución, quienes facilitaron equipos especializados y brindaron orientación técnica clave durante las etapas experimentales.

Expresamos nuestro profundo reconocimiento al Mg. Ing. Hans Himbler Minchán Velayarce, asesor principal, por su invaluable orientación académica y técnica durante todas las etapas de la investigación. Al Dr. Marcio Schmiele por su destacado apoyo en el proceso de optimización estadística mediante diseño de mezclas y aportes metodológicos que enriquecieron la rigurosidad científica de este estudio. La culminación exitosa de esta investigación no hubiera sido factible sin el permanente apoyo de nuestros asesores.

Agradecemos a la Dra. Elza Berta Aguirre Vargas, directora del IITA de la Universidad Nacional del Santa, por permitir el acceso a instalaciones para los ensayos preliminares de germinación y malteado, y por su orientación técnica fundamental en la estandarización de parámetros experimentales. A los productores de San Miguel y Cajamarca, región Cajamarca, por suministrar kañiwa y maíz morado INIA 601, respectivamente, garantizando la calidad de la materia prima andina.

Finalmente, agradecemos a los 137 panelistas de la Universidad Nacional de Jaén que participaron voluntariamente en las evaluaciones sensoriales, y a todas las personas que brindaron su apoyo con conocimientos, palabras de aliento o colaboración directa.

**Arón y José Franklin**

## DEDICATORIA

*A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por iluminar cada etapa de este camino y permitirme alcanzar esta meta con salud, perseverancia y fe inquebrantable.*

*A mis padres Ernesto León Rivera y Matilde Quispe Vilchez, pilares fundamentales de mi existencia, cuyo amor incondicional, sacrificios silenciosos y ejemplo de trabajo digno hicieron posible este logro. Su confianza en mis capacidades y sus enseñanzas sobre la importancia del esfuerzo constante y la humildad han forjado el profesional y ser humano que hoy soy.*

*A quienes creyeron en esta investigación maestros, compañeros y amigos que con sus palabras de aliento, conocimientos compartidos y apoyo incondicional acompañaron cada desafío superado. Esta investigación también lleva la huella de su generosidad.*

*Este triunfo es el reflejo del amor y esperanza que sembraron en mí. Gracias por enseñarme que los sueños se construyen con dedicación, paciencia y gratitud.*

### **Arón León Quispe**

*A Dios, quien en su infinita bondad me concedió la fortaleza, claridad mental y resiliencia necesarias para culminar este desafío académico. Cada obstáculo superado es testimonio de su gracia en mi vida.*

*A mi familia, especialmente a mis padres José Walter Fernández Mejía y Raquel Vargas Saucedo, quienes con su amor inquebrantable, apoyo constante y sacrificios invaluable trazarón el camino que hoy recorro con orgullo. Su ejemplo de perseverancia, integridad y valentía ante las adversidades me inspiró a no rendirme jamás.*

*A todas las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a la realización de esta investigación: docentes que compartieron su experiencia, compañeros que brindaron su colaboración desinteresada, y amigos que ofrecieron palabras de ánimo en momentos de incertidumbre. Su presencia enriqueció esta experiencia.*

*Este logro no es solo mío; es el resultado del amor, sacrificio y fe de quienes creyeron en mí cuando más lo necesité.*

**José Franklin Fernández Vargas**

## VII. ANEXOS

### Anexos 1 Análisis proximales

 LABNUT Laboratorio de Nutrición Animal y Determinación de Alimentos	<b>INFORME DE ANÁLISIS</b>	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
		Página 1 de 1

### INFORME DE ANÁLISIS N°: **LABNUT-2024-22**

RAZÓN SOCIAL O NOMBRE DEL CLIENTE : José Franklin Fernández Vargas  
RUC / DNI : 73431409  
BOLETA/OS : EB01-4930  
TIPO DE MUESTRA : Harinas  
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : Polvo en bolsa de PE  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 13/06/2025  
FECHA DE ANÁLISIS DE MUESTRA : 26/06/2025 - 09/07/2025  
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 11/07/2025

ID Muestra	Humedad <sup>1</sup> (%)	Cenizas <sup>2</sup> (%)	Grasa cruda <sup>3</sup> (%)	Proteína cruda <sup>4</sup> (%)	Fibra cruda <sup>5</sup> (%)	ELN <sup>6</sup> (%)
Maíz Morado INIA 601	10.60	1.54	3.31	7.78	2.19	74.59
Kañiwa	9.65	1.84	6.19	12.56	7.40	62.36

#### Nombre del método:

<sup>1</sup> Método nro. 934.01 - Gravimétrico por estufa (AOAC, 2023).

<sup>2</sup> Método nro. 942.05 - Gravimétrico por incineración en mufla (AOAC, 2023).

<sup>3</sup> Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction (AOCS, 2004 & ANKOM, 2021).

<sup>4</sup> Método nro. 935.39 - Método Kjeldahl (AOAC, 2023).

<sup>5</sup> Método 7: Determinación de Fibra Cruda en Alimentos (ANKOM, 2021). <sup>6</sup> Extracto libre de nitrógeno: Análisis por diferencia (AOAC, 2023).

#### Referencias:

ANKOM. (2005). *Method 3: In Vitro True Digestibility using the DAISYII Incubator*. ANKOM Technology.

ANKOM. (2021). *Method 2: Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction*. ANKOM Technology.

ANKOM Technology.

ANKOM. (2021). *Método 5: Determinación de fibra detergente ácida*. ANKOM Technology.

ANKOM. (2021). *Método 6: Determinación de fibra detergente neutra*. ANKOM Technology.

ANKOM. (2021). *Método 7: Determinación de Fibra Cruda en Alimentos*. ANKOM Technology. AOAC

(Association of Official Analytical Chemists). (2023). *Official Methods of Analysis of AOAC*

*International* (22st ed.). AOAC International.

AOCS. (2004). *Procedimiento oficial Am 5-04: Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction*.

UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS  
LAB. DE NUTRICIÓN ANIMAL Y DETERMINACIÓN DE ALIMENTOS  
  
Ph.D. Ives Juliana Yopiac Tafur  
Responsable del LABNUT

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

Calle Higos Urco N°342-350-356 - Calle Universitaria N°304 - Chachapoyas - Amazonas - Perú

[www.untrm.edu.pe](http://www.untrm.edu.pe)

## Anexos 2 Germinación de kañiwa



A



B



C



D



**E**



**F**



**G**



**H**

Nota: Proceso del germinado de la Kañiwa A: Preparación de las bandejas perforadas de acero inoxidable B: Colocación de la Kañiwa en bandejas perforadas de acero inoxidable dentro del sistema germinador. C: D: Día 1 en germinación E: Día 2 en germinación F: Día 3 en germinación G: Germinación final H: Pesado de la Kañiwa germinada.

### Anexos 3 Germinación de maíz morado INIA 601



A



B



C



D



**E**



**F**



**G**

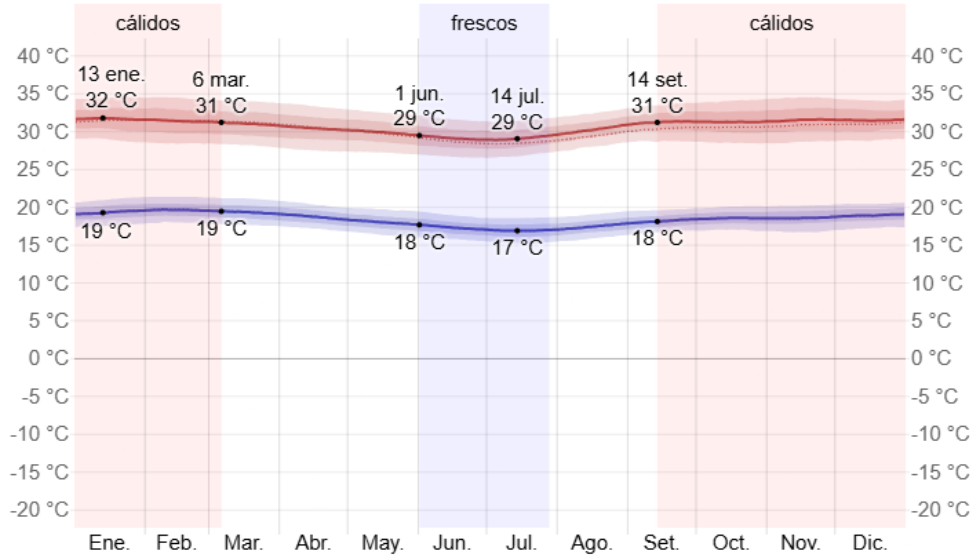


**H**

Nota: Proceso del germinado del maíz morado INIA 601 A: Preparación de las bandejas perforadas de acero inoxidable B: Colocación del maíz morado INIA 601 en bandejas perforadas de acero inoxidable dentro del sistema germinador. C: D: Día 1 en germinación E: Día 2 en germinación F: Día 3 en germinación G: Germinación final H: Pesado del maíz morado INIA 601 germinado.

## Anexos 4 Registro de Temperatura ambiental de secado

- **Temperatura máxima y mínima promedio en Jaén**

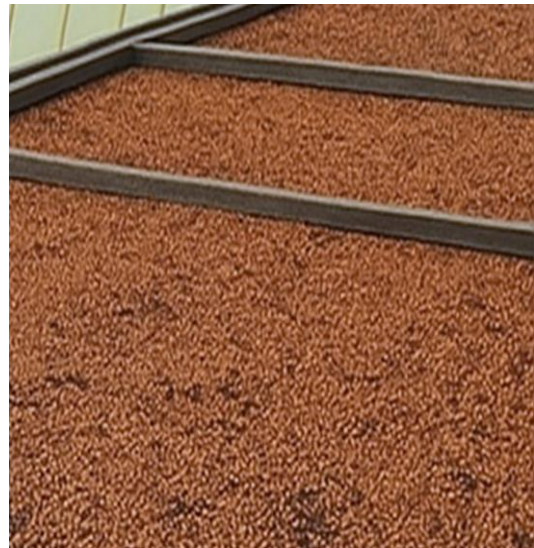


Nota. La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas.

## Anexos 5 Secado de maíz morado INIA 601 y kañiwa germinada



A



B

Nota: Proceso de secado de los cereales. A: Secado del maíz morado INIA 601 B: Secado de la kañiwa



## Anexos 6 Elaboración de cerveza artesanal

- **Molienda de los cereales**



A



B



C



D

Nota: Proceso de la molienda de los cereales A: Molienda de la malta de cebada B: Molienda de la Kañiwa C: Molienda de la malta de Maíz Morado INIA 601 D: Combinación de maltas.

- **Maceración, recirculado y lavado**



**A**



**B**



**C**



**D**

Nota: Proceso de elaboración de cerveza A: Maceración de los granos B: Verificación de la temperatura de la maceración de los granos C: Recirculado del mosto D: Lavado del mosto.

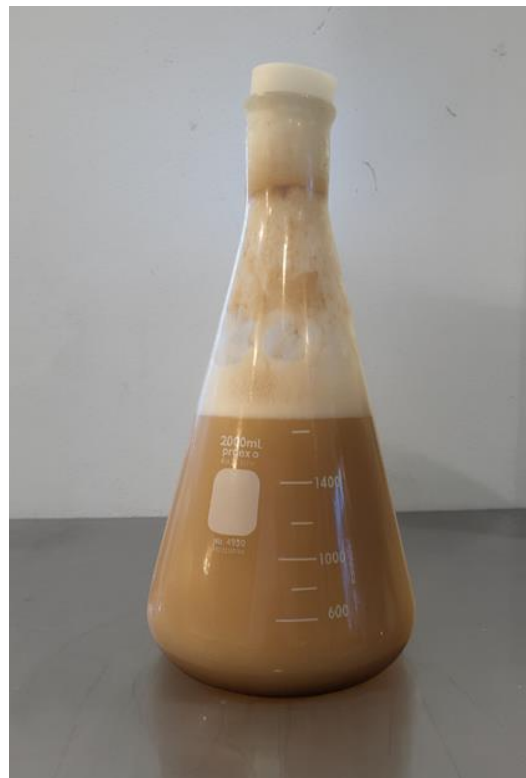
- **Cocción, lupulado e inoculación de la levadura**



**A**



**B**



**C**

Nota: Proceso de elaboración de cerveza A: Cocción de los granos B: Lupulado del mosto C: Inoculación de la levadura al mosto.

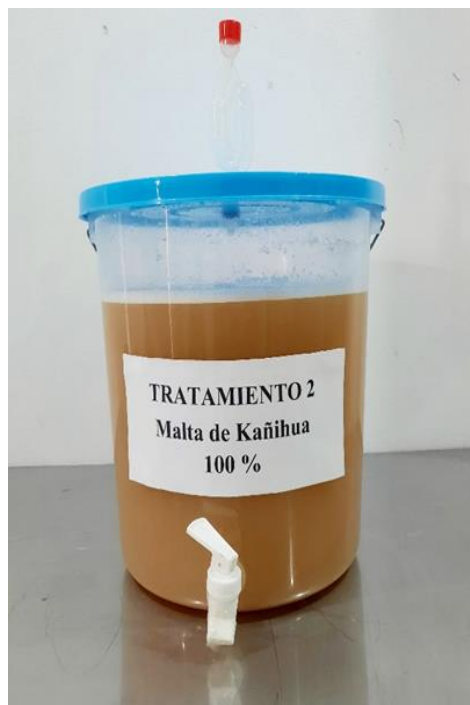
- **Fermentación**



**A**



**B**



**C**



**D**

Nota: Proceso de elaboración de la cerveza A: Fermentación de cerveza de Cebada B: Fermentación de cerveza de Kañihua C: Fermentación de cerveza de Maíz Morado INIA 601 D: Fermentación de cerveza de Cebada, Kañihua y Maíz Morado INIA 601

- **Maduración**



**A**



**B**



**C**



**D**

Nota: Proceso de elaboración de la cerveza A: Maduración cerveza de Cebada B: Maduración de cerveza de Kañiwa C: Maduración de cerveza de Maíz Morado INIA 601 D: Maduración de cerveza de Kañiwa y Maíz Morado INIA 601

- Carbonatación, desinfección, envasado y almacenamiento.



A



B



C



D



E

Nota: Proceso de elaboración de la cerveza A: Carbonatación de la cerveza B: Desinfección de los envases C: Llenado de la cerveza D: Llenado de la cerveza E: Almacenamiento de la cerveza

### Anexos 7 Análisis fisicoquímicos

- pH, Brix, Capacidad y estabilidad espumante, color, acidez titulable y turbidez



A



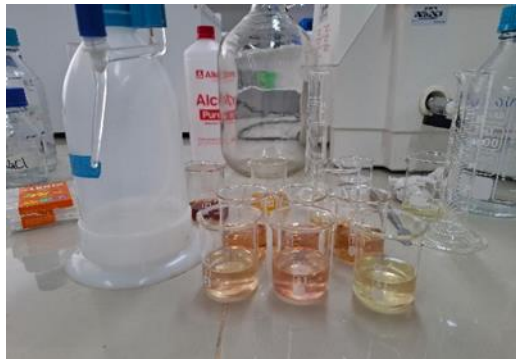
B



C



D



E



F

Nota: Evaluación de análisis fisicoquímicos A: Medición de pH en la cerveza B: Medición de los grados Brix en la cerveza C: Medición de la capacidad y estabilidad espumante D: Medición del color en la cerveza E: Medición de la acidez titulable en la cerveza F: Medición de la turbidez en la cerveza.

### Anexos 8 Análisis de compuestos bioactivos

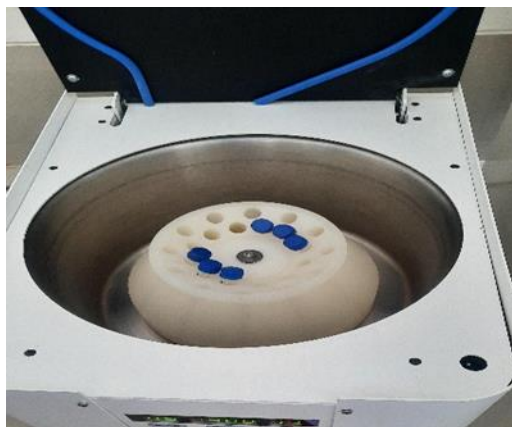
- Contenido de fenoles y capacidad antioxidante



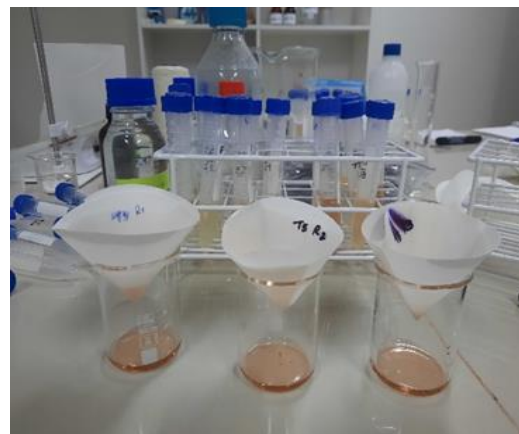
A



B



C

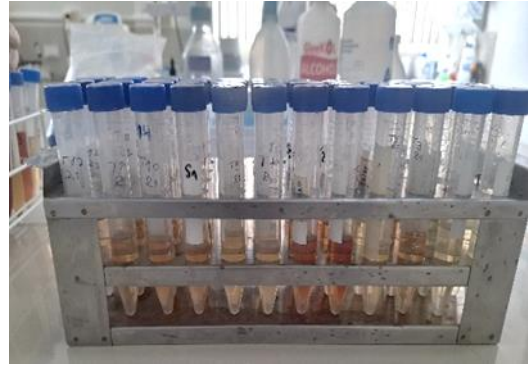


D

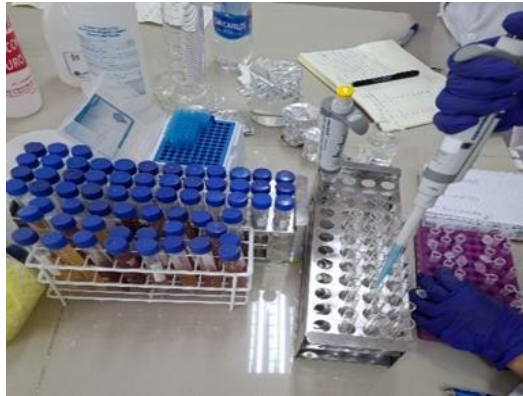




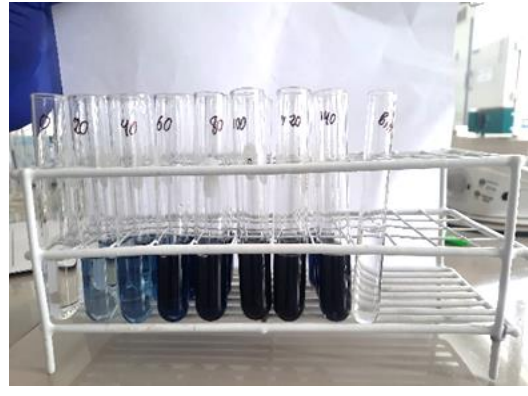
E



F



G



H



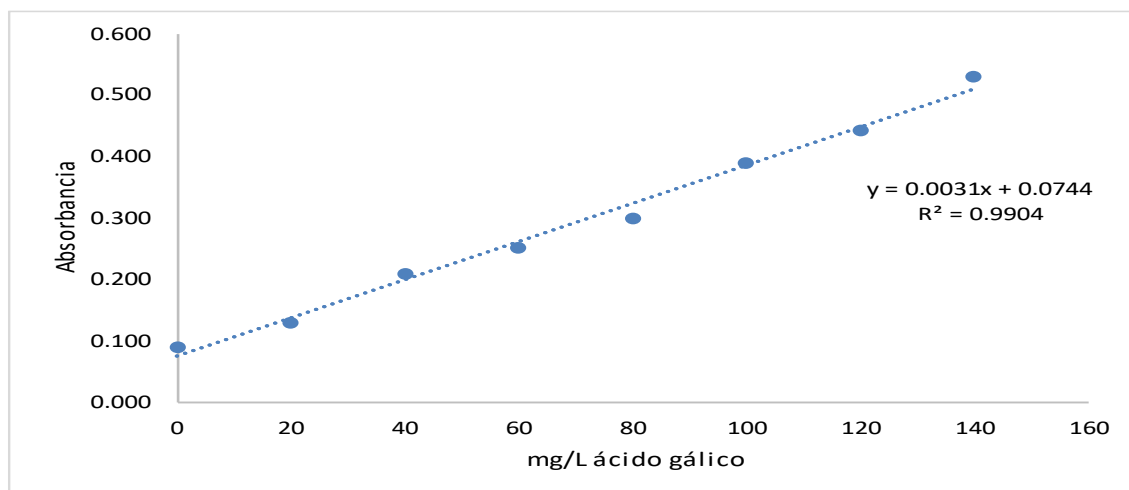
I



J

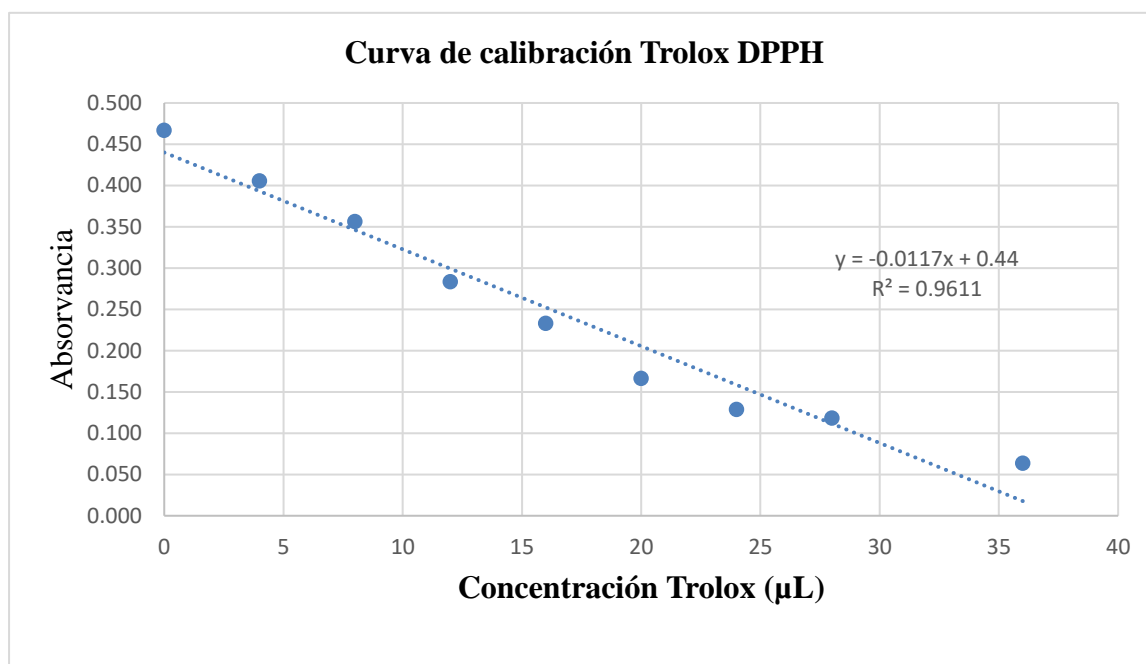
Nota: Evaluación de contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante A: Desgacificado de las muestras cervezas B: Agitación de las muestras de cerveza con el equipo Shaker C: Centrifugado de las muestras de cerveza D: Filtrado de las muestras de cerveza E: Llenado de las muestras de cerveza en tubos Falcón F: Muestras de cerveza llenados en tubos Falcón G: Pipeteado de las muestras para elaboración de curva de calibración contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante H: Llenado de las muestras de cerveza en tubos de ensayo para su respectiva evaluación de contenido de fenoles totales I: Llenado de las muestras de cerveza en tubos de ensayo para su respectiva evaluación de capacidad antioxidante J: Evaluación de contenido de fenoles totales y evaluación de capacidad antioxidante.

### Anexos 9 Recta de calibrado de ácido gálico



Nota: Se muestra la relación directa entre la concentración de ácido gálico (mg/L) y la absorbancia, obtenida en un ensayo de fenoles totales. La ecuación de la recta de calibración es  $y = 0.0031x + 0.0744$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9904$ , lo que indica un excelente ajuste lineal. Esta curva se utilizó como referencia para determinar el contenido fenólico total en muestras analizadas.

### Anexos 10 Curva de calibración equivalente a Trolox para DPPH



Nota: Se muestra la relación inversa entre la concentración de Trolox (µL) y la absorbancia medida en el ensayo DPPH. La recta de regresión lineal ( $y = -0.0117x + 0.44$ ) presenta un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9611$ , indicando un buen ajuste. Esta curva permite cuantificar la capacidad antioxidante en equivalentes de Trolox..

## Anexos 11 Análisis microbiológicos



### INFORME DE ENSAYO N° 250620.06

Lima, 20 de junio del 2025

Solicitud de Servicio de Ensayo	: 20250611.06
Nombre de contacto del cliente	: JOSE FRANKLIN FERNÁNDEZ VARGAS
Información de contacto del cliente	: CAL. FERNANDO BELAÚNDE TERRY S/N SEC. MONTE GRANDE GRUPO ZELADA CAJAMARCA - JAÉN
Procedencia de la muestra	: Muestra proporcionada por el solicitante <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>
Procedimiento para la toma de muestra / muestreo	: --
Identificación de la muestra	: M01 – CERVEZA ARTESANAL DE CEBADA MÁS MAÍZ MORADO INIA 601 (79.40% CEBADA Y 20.60% MAÍZ MORADO INIA 601). <sup>(2)</sup>
Cantidad y descripción de la muestra	: M01 (LM01) – 01 vía de muestra (3 unidades por 330 mL c/u) M01 (LS01) – 01 vía de muestra (3 unidades por 330 mL c/u) M01 (LQ01) – 01 vía de muestra (3 unidades por 330 mL c/u) ENVASE: BOTELLA DE VIDRIO <sup>(2)</sup>
Lugar, fecha y hora de muestreo	: --
Fecha y hora de recepción	: 2025-06-16 / 12:40 p.m.
Condiciones a la recepción	: Temperatura ambiente
Fechas de ejecución del análisis	: Inicio: 2025-06-16 Término: 2025-06-20

#### RESULTADOS DE ENSAYO



ÍTEM	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	
			M01	LM01
			01	Recuento de microorganismos aerobios mesófilos
02	Recuento de Mohos	UFC/mL	<1	
03	Recuento de Levaduras	UFC/mL	<1.0	
04	Numeración de Coliformes Totales	NMP/mL	<0,3	

ÍTEM	PARÁMETROS	RESULTADOS	
		M01	LS01
		05	Materias extrañas


ÍTEM	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	
			M01	LQ01
			06	Acidez (expresado en ácido láctico)
07	Acidez volátil (expresado en ácido acético)	%	0,02	

Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) ensayada(s). Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, sin la autorización escrita por MEVALAB, la adulteración o uso indebido del presente informe constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia.

Formato: F04-P03-LE, Ver. 01

Página 1 de 3

Lima, 20 de junio del 2025



08	Proteína	%	0,53
09	Grado alcohólico volumétrico	% (v/v)	6,00
10	Extracto original	%	10,32
11	Cadmio	mg/L	<0,006 (*)
12	Cobre	mg/L	<0,015 (*)
13	Hierro	mg/L	<0,02 (*)
14	Arsénico	mg/L	<0,06 (*)
15	Plomo	mg/L	<0,034 (*)
16	Zinc	mg/L	<0,012 (*)
17	Dióxido de carbono	mg/kg	<0,01 (*)

**Métodos de Ensayo:**

ÍTEM	ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
01	Recuento de microorganismos aerobios mesófilos	ISO 4833-1:2013 / Amd 1: 2022. 2013. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique.
02	Recuento de Mohos	ISO 21527-1:2018. 2018. Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds — Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0,95.
03	Recuento de Levaduras	ISO 21527-1:2018. 2018. Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds — Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0,95.
04	Numeración de Coliformes Totales	ICMSF Microorganismos de los Alimentos 1. Su significado y métodos de enumeración. Pág.131-134. 2da Ed. Reimpresión 2000. 1983. Bacterias Coliformes. Recuento de Coliformes: Técnica del Número Más Probable. Método 1 (Norteamericano).
05	Materias extrañas	LS01-MEVALAB. Determinación de Materias extrañas.
06	Acidez (expresado en ácido láctico)	AOAC 950.07 Cap.27 Ed. 18 Pág. 6-7 Revisión 4, 2011
07	Acidez volátil (expresado en ácido acético)	AOAC 935.23 Cap.27 Ed. 18 Pág. 7 Revisión 4, 2011
08	Proteína	AOAC 920.53 Cap.27 Ed. 18 Pág. 10 Revisión 4, 2011
09	Grado alcohólico volumétrico	NTP 213.004:2023 CERVEZA. Determinación de alcohol. Métodos de ensayo.
10	Extracto original	NTP 213.037:2023 CERVEZA. Extracto original, real y aparente y gravedad original de cerveza.
11	Cadmio	NOM-117-SSA1-1994, Ítem 7.1.1 y 9, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.
12	Cobre	
13	Hierro	
14	Arsénico	
15	Plomo	
16	Zinc	
17	Dióxido de carbono	NTP 213.038:2023 CERVEZA. Determinación de dióxido de carbono. Método de presión.

Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) ensayada(s). Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, sin la autorización escrita por MEVALAB, la adulteración o uso indebido del presente informe constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia.

Formato: F04-P03-LE, Ver. 01

Página 2 de 3

Lima, 20 de junio del 2025

**Observaciones: --**

- (1) Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- (2) Información proporcionada por el solicitante.
- (\*) Limite cuantificable.

Fin del Documento

  
Jonathan David Tuya Salas  
Jefe de Laboratorio  
C.B.P. 11271



Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) ensayada(s). Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, sin la autorización escrita por MEVALAB, la adulteración o uso indebido del presente informe constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia.

Formato: F04-P03-LE, Ver. 01

Página 3 de 3

## Anexos 12 Análisis sensorial de la cerveza artesanal



P



Q



R

**Nota.** Evaluación sensorial de la cerveza artesanal tipo Ale. **P.** Orientación en la etapa sensorial a los panelistas. **Q.** Degustación sensorial con panelistas no entrenados. **R.** Panelista completando el cuestionario digital de Survey Monkey, para evaluación de atributos sensoriales y descriptores, en cabina individual.

## Anexos 13 Consentimiento informado

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

### ANEXO 4

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Institución:** Universidad Nacional de Jaén

**Investigadores y asesores:**

Bach. José Franklin Fernández Vargas

Bach. Arón León Quispe

Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce

Dr. Elza Berta Aguirre Vargas

**Título:** Optimización de compuestos bioactivos en cerveza artesanal tipo Ale con maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 mediante diseño de mezclas

**Fines de Estudio:** Determinar las características sensoriales de una cerveza artesanal tipo Ale con maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 mediante diseño de mezclas.

**Procedimiento:** Si usted acepta su participación en este estudio, se hará partícipe en la evaluación sensorial de las muestras de cerveza artesanal tipo Ale con maltas de cebada, kañiwa y maíz morado INIA 601 mediante diseño de mezclas y completará una Ficha.

**Riesgos:** Aunque las cantidades de cerveza a degustar son mínimas y diseñadas únicamente para fines sensoriales, el consumo de alcohol puede provocar efectos adversos como mareos, somnolencia, alteración de la coordinación, o reacciones adversas en personas con condiciones médicas, bajo medicación o con alergias. Se recomienda no participar si presenta alguna de estas situaciones.



**Criterios de exclusión:** No podrán participar personas menores de edad, embarazadas, en lactancia, bajo tratamiento médico, con alergias a los ingredientes (cebada, kañiwa o maíz morado), antecedentes de alcoholismo o que eviten el alcohol por motivos personales, religiosos o de salud.

**Voluntariedad y derecho a retirarse:** Su participación es completamente voluntaria. Puede negarse a participar o retirarse del estudio en cualquier momento, sin necesidad de dar explicación y sin que ello le ocasione perjuicio alguno.

**Beneficios:** Los resultados de la investigación serán plasmados en un informe de Tesis que estará a disposición de las autoridades, administrativos y estudiantes.

**Costos e incentivos:** Su participación no generará ningún costo para la Universidad ni para la Facultad. Igualmente, no se entregará ningún incentivo económico ni de otra índole.

**Confidencialidad:** La información que se recoja será confidencial y será utilizada únicamente para sustentar el presente estudio

**Uso futuro de la información:** La información y la base de datos del estudio servirán para la realización de la Tesis planteada. Realizada la investigación la información será eliminada.

---

Firma del participante

Nombre:

Género:

Edad:

DNI

Fecha:



## Anexos 14 Constancia de aprobación



UNJ UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE JAÉN

LEY DE CREACION 29304. RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N°002-  
2018-SUNEDU/CD

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN  
COMITÉ DE ÉTICA

“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

Jaén, 04 de setiembre del 2025

OFICIO N° 024-2025 / VPI-UNJ/ CE

### CONSTANCIA DE APROBACION DE PROYECTO COMITÉ DE ÉTICA-UNJ

El presidente del comité institucional de ética en investigación de la Universidad Nacional de Jaén hace constar que el proyecto titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN CERVEZA ARTESANAL TIPO ALE CON MALTAS DE CEBADA, KAÑIWA Y MAÍZ MORADO INIA 601 MEDIANTE DISEÑO DE MEZCLAS”, JAÉN, 2025”**

Presentado por el estudiante José Franklin Fernández Vargas y Arón León Quispe, ha sido analizado y aprobado en base al código de ética en investigación científica de la Universidad Nacional de Jaén que cuenta con Resolución de Consejo de Comisión Organizadora N°065-2025-CCO-UNJ.

Dr. Nicanor Alvarado Carrasco  
Presidente del Comité de Ética en investigación  
Universidad Nacional de Jaén

SOLIDARIA - SALUDABLE - SOSTENIBLE  
www.unj.edu.pe

CONTACTO

EMAIL

comite.etica@unj.edu.pe

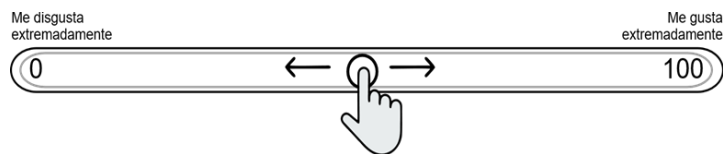
DIRECCIÓN

Carretera Jaén-San Ignacio Km 24  
Sector Yanuyacu

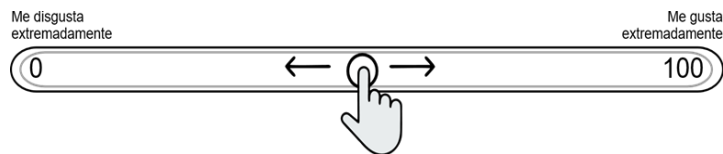
**Anexos 15** Formulario aplicado en el Análisis Sensorial de la cerveza artesanal, a través de la plataforma SurveyMonkey.

Las evaluaciones se realizaron mediante SurveyMonkey en laptops para garantizar estandarización según validación de escalas digitales por Delgado et al. (2018). Se implementará escala visual analógica continua de 0-100 mediante barra deslizante que emula la recta tradicional de 10 cm, validada como equivalente a escalas de papel por estos autores. Posteriormente para cada muestra, los participantes seleccionaron los términos que mejor describían sus características sensoriales de una lista de 32 atributos (Paucar-Menacho et al. 2025).

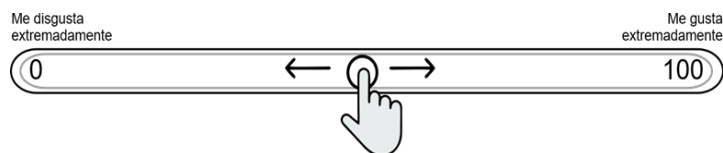
### EVALUACIÓN DE COLOR



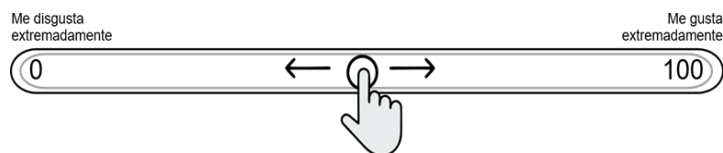
### EVALUACIÓN DE APARIENCIA



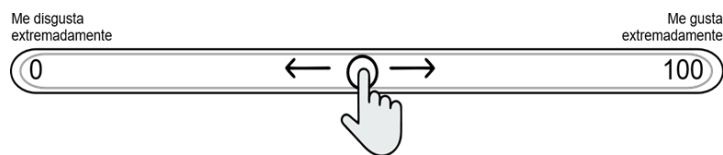
### EVALUACIÓN DE AROMA



### EVALUACIÓN DE SABOR



### SENSACIÓN EN BOCA



ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

1. ¡Bienvenido/a a nuestra encuesta de evaluación sensorial de cerveza artesanal! Muchas gracias por la aceptación de esta invitación, en esta prueba no hay respuestas buenas ni malas, correctas o incorrectas, lo importante es que usted señale lo que percibe al consumir la muestra. Estamos interesados en conocer tu opinión sobre diferentes formulaciones de cerveza artesanal. Por favor, tómate unos minutos para completar esta encuesta



ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

2. DATOS DEL PANELISTA

\* 1. Nombres y Apellidos:

\* 2. Sexo:  
 Femenino  Masculino

\* 3. Categoría:  
 Administrativo  Docente  Estudiante  Egresado

\* 4. Si eres estudiante indica el ciclo:

\* 5. Edad:

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

3. Instrucciones para realizar el análisis sensorial

Ud. está recibiendo una muestra codificada de CERVEZA ARTESANAL. Para evaluar con éxito esta muestra se sugiere lo siguiente:  
 ● Levante el vaso y observe la muestra a contraluz.  
 ● Luego, olfatear por 3 segundos antes de probar la muestra.  
 ● Al probar la cerveza hacerlo lentamente con la finalidad de apreciar sus atributos.

PRIMERA MUESTRA

\* 6. Código de la primera muestra:

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

4. EVALUACION DE COLOR

Analice el color mediante la VISTA y marque lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR SOLO UNA OPCIÓN



\* 7. COLOR

Observe detenidamente el color de la muestra. A continuación, marque la opción que considere más adecuada de acuerdo con sus características visuales.

AMARILLO  DORADO  CARAMELO  
 MARRÓN

el nivel que mejor refleje su percepción  
 BAJO  MEDIO  INTENSO

¿CUÁNTO TE GUSTÓ EL COLOR DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 9. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el COLOR, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me gusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

5. EVALUACION DE LA APARIENCIA

Analice la apariencia mediante la VISTA y marque lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR MAS DE UNA OPCIÓN.



\* 10. Descriptores de apariencia

OPACO  Poca ESPUMA  
 BRILLANTE  TRANSPARENTE  
 ESPUMOSO  BURBUJEANTE

¿CUÁNTO TE GUSTÓ LA APARIENCIA DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 11. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el DESCRIPTOR DE LA APARIENCIA, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me gusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

6. EVALUACION DE AROMA

Usando sólo el sentido del OLFATO, marque todo lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR SOLO UNA OPCIÓN



\* 12. AROMA

Perciba detenidamente el aroma de la muestra y seleccione la opción que considere más adecuada según sus características olfativas.

FLORAL  ESPECIADO  HERBAL  
 GRANOS TOSTADOS

\* 13. Descriptores de AROMA

Después de identificar el aroma, percíballo con atención y seleccione el nivel de intensidad que mejor refleje su percepción olfativa

BAJO  MEDIO  INTENSO

¿CUÁNTO TE GUSTÓ EL AROMA DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 14. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el AROMA, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me gusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

7. EVALUACION DEL SABOR

Usando sólo el sentido del GUSTO, marque todo lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR MAS DE UNA OPCIÓN.



\* 15. SABOR

Deguste cuidadosamente la muestra y seleccione las opciones que considere más adecuada según sus características de sabor

MALTA  AFRUTADO  REFRESCANTE  
 DULCE  CARAMELO  AGRIO  
 AMARGO  CITRICO

\* 16. Intensidad DE SABOR

Después de identificar el sabor, percíballo con atención y seleccione el nivel de intensidad que mejor refleje su percepción gustativa

BAJO  MEDIO  INTENSO

¿CUÁNTO TE GUSTÓ EL SABOR DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 17. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el SABOR, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me gusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

8. EVALUACIÓN DE SENSACIÓN EN BOCA

Usando sólo el sentido del GUSTO, marque todo lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR MÁS DE UNA OPCIÓN.



\* 18. Descriptores de Sensación en boca

- VISCOSO  DELICADO  
 ASTRINGENTE  ACUOSO  
 EFERVECENTE

¿CUÁNTO TE GUSTÓ LA SENSACIÓN EN BOCA LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 19. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó en SENSACIÓN EN BOCA, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me disgusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

9. INTENCIÓN DE COMPRA

Basándose en la degustación de muestras. ¿Considerarías comprar una cerveza artesanal?

\* 20. Descriptores de intención de compra

- Definitivamente compraría  Probablemente no compraría  
 Probablemente compraría  Definitivamente no compraría  
 No estoy seguro

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

10. Instrucciones para realizar el análisis sensorial

Ud. está recibiendo una muestra codificada de CERVEZA ARTESANAL. Para evaluar con éxito esta muestra se sugiere lo siguiente:

- Levante el vaso y observe la muestra a contraluz.
- Luego, olfatear por 3 segundos antes de probar la muestra.
- Al probar la cerveza hacerlo lentamente con la finalidad de apreciar sus atributos.

SEGUNDA MUESTRA

\* 21. Código de la SEGUNDA MUESTRA:

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

11. EVALUACIÓN DE COLOR

Analice el color mediante la VISTA y marque lo que corresponda a la muestra.



\* 22. COLOR

Observe detenidamente el color de la muestra. A continuación, marque la opción que considere más adecuada de acuerdo con sus características visuales.

- AMARILLO  DORADO  CARAMELO  
 MARRÓN

\* 23. INTENSIDAD

Después de identificar el color, perciba con atención la intensidad de la muestra y seleccione el nivel que mejor refleje su percepción

- CLARO  MEDIO  INTENSO

¿CUÁNTO TE GUSTÓ EL COLOR DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 24. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el COLOR, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me disgusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

12. EVALUACIÓN DE LA APARIENCIA

Analice la apariencia mediante la VISTA y marque lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR MÁS DE UNA OPCIÓN.



\* 25. Descriptores de apariencia

- OPACO  Poca ESPUMA  
 BRILLANTE  TRANSPARENTE  
 ESPUMOSO  BURBUJEANTE

¿CUÁNTO TE GUSTÓ LA APARIENCIA DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 26. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el DESCRIPTOR DE LA APARIENCIA, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me disgusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

13. EVALUACIÓN DE AROMA

Usando sólo el sentido del OLFATO, marque todo lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR MÁS DE UNA OPCIÓN.



\* 27. AROMA

Perciba detenidamente el aroma de la muestra y seleccione la opción que considere más adecuada según sus características olfativas.

- FLORAL  ESPECIADO  HERBAL  
 GRASOS TOSTADOS

\* 28. Descriptores de AROMA

Después de identificar el aroma, percíballo con atención y seleccione el nivel de intensidad que mejor refleje su percepción olfativa

- BAJO  MEDIO  INTENSO

¿CUÁNTO TE GUSTÓ EL AROMA DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 29. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el AROMA, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me disgusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

14. EVALUACIÓN DEL SABOR

Usando sólo el sentido del GUSTO, marque todo lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR MÁS DE UNA OPCIÓN.



\* 30. SABOR

Deguste cuidadosamente la muestra y seleccione las opciones que considere más adecuadas según sus características de sabor

- MALTA  AFRUTADO  REFRESCANTE  
 DULCE  CARAMELO  AGRIO  
 AMARGO  CÍTRICO

\* 31. Intensidad DE SABOR

Después de identificar el sabor, percíballo con atención y seleccione el nivel de intensidad que mejor refleje su percepción gustativa

- BAJO  MEDIO  INTENSO

¿CUÁNTO TE GUSTÓ EL SABOR DE LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 32. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó el SABOR, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho  Ni me gusta ni me disgusta  Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

15. EVALUACIÓN DE SENSACIÓN EN BOCA

Usando sólo el sentido del GUSTO, marque todo lo que corresponda a la muestra. PUEDES MARCAR MÁS DE UNA OPCIÓN.



\* 33. Descriptores de Sensación en boca

- VISCOSO  DELICADO  
 ASTRINGENTE  ACUOSO  
 EFERVESCENTE

¿CUANTO TE GUSTO LA SENSACION EN BOCA LA CERVEZA ARTESANAL?

\* 34. Por favor indique con el deslizador cuánto le gustó en SENSACIÓN EN BOCA, utilizando la escala de aceptación que varía de "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho"

Me disgusta mucho      Ni me gusta ni me disgusta      Me gusta mucho

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

16. INTENCIÓN DE COMPRA

\* 35. Descriptores de intención de compra

- Definitivamente compraría  Probablemente no compraría  
 Probablemente compraría  Definitivamente no compraría  
 No estoy seguro

ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZA ARTESANAL

17. AGRADECIMIENTOS

Te agradecemos sinceramente por tu valiosa participación en esta encuesta. Tu aporte es fundamental para comprender las preferencias de los estudiantes, docentes, egresados y personal administrativo de la universidad hacia los innovadores.

MUCHAS GRACIAS



Nota: Se elaboró un formulario digital de evaluación sensorial en SurveyMonkey para analizar dos muestras codificadas de cerveza artesanal. El cuestionario incluyó datos del panelista (nombre, sexo, categoría, ciclo académico y edad), seguido de la evaluación sensorial de cada muestra. Se evaluaron atributos de color (tonalidad e intensidad), apariencia (opaco, brillante, espumoso, etc.), aroma (floral, especiado, herbal, granos tostados), sabor (malta, dulce, amargo, afrutado, entre otros) y sensación en boca (viscoso, efervescente, astringente, etc.), todos con escalas de intensidad y agrado. Finalmente, se valoró la intención de compra mediante una escala desde "definitivamente no compraría" hasta "definitivamente compraría".