

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
ESCUELA DE POSGRADO  
Programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos**



---

**Efecto de la temperatura, agitación y  
concentración de levadura en la calidad  
fisicoquímica y sensorial de la chicha de jora**

---

**Tesis para optar el grado de Doctor en  
Ingeniería de Alimentos**

**Autor:**

**Mg. Godenzi Vargas, Julio Pablo**  
**Código ORCID: 0000-0001-9153-7441**  
**DNI. N° 31653868**

**Asesor:**

**Dr. Ponce Ramírez, Juan Carlos**  
**Código ORCID: 0000-0002-3723-0550**  
**DNI. N° 23008579**

**Línea de investigación  
Estudio y desarrollo de productos de mayor calidad y aceptación**

**Nuevo Chimbote - PERÚ  
2025**

## CERTIFICACIÓN DE ASESORAMIENTO

Yo, **Dr. Ponce Ramírez, Juan Carlos**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis titulada: **Efecto de la temperatura, agitación y concentración de levadura en la calidad fisicoquímica y sensorial de la chicha de Jora**, que tiene como autor al **Mg. Godenzi Vargas, Julio Pablo**, alumno del Doctorado en **Ingeniería de Alimentos**, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, noviembre del 2025.



Dr. Ponce Ramírez, Juan Carlos  
Asesor  
DNI. N° 23008579  
Código ORCID: 0000-0002-3723-0550



### **AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

Tesis titulada: **Efecto de la temperatura, agitación y concentración de levadura en la calidad fisicoquímica y sensorial de la chicha de Jora**, que tiene como autor al Mg. Godenzi Vargas, Julio Pablo.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

**Dr. Castillo Martínez, Williams Esteward**  
Presidente  
DNI: 40169364  
Código ORCID: 0000-0001-6917-1009

**Dr. Sánchez Vaca, Daniel Angel**  
Secretario  
DNI: N° 18146173  
Código ORCID: 0000-0003-4326-1852

**Dr. Ponce Ramírez, Juan Carlos**  
Vocal  
DNI. N° 23008579  
Código ORCID: 0000-0002-3723-0550



**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

A los tres días del mes de noviembre del año 2025, siendo las 15:30 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 769-2025-EPG-UNS de fecha 22.08.2025, conformado por los docentes: Dr. Williams Esteward Castillo Martínez (Presidente), Dr. Daniel Angel Sánchez Vaca (Secretario) y Dr. Juan Carlos Ponce Ramírez (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada: "**EFFECTO DE LA TEMPERATURA, AGITACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LEVADURA EN LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y SENSORIAL DE LA CHICHA DE JORA**"; presentado por el tesista **Julio Pablo Godenzi Vargas**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 866-2025-EPG-UNS de fecha 21 de octubre de 2025.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIEZ NUEVE (19).

Siendo las 16:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Dr. Williams Esteward Castillo Martínez  
Presidente

Dr. Daniel Angel Sánchez Vaca  
Secretario

Dr. Juan Carlos Ponce Ramírez  
Vocal/Asesor

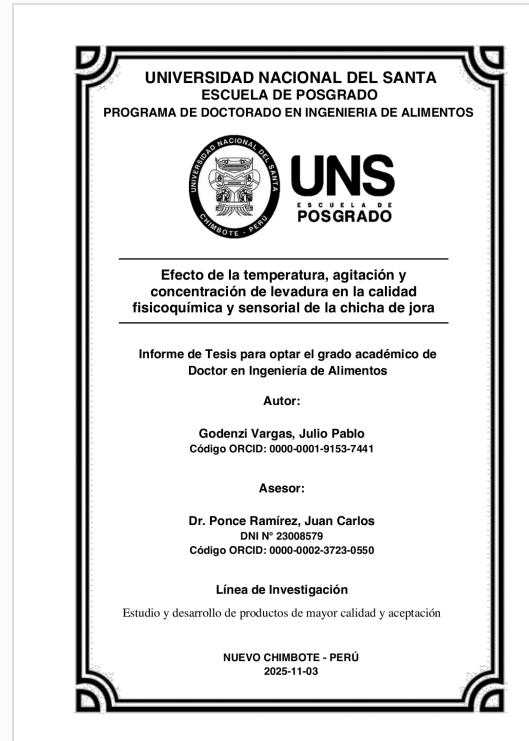


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Julio Pablo Godenzi Vargas  
Título del ejercicio: Efecto de la temperatura, agitación y concentración de levadu...  
Título de la entrega: Efecto de la temperatura, agitación y concentración de levadu...  
Nombre del archivo: Efecto\_de\_la\_temperatura\_agitación\_y\_concentración\_de\_leva...  
Tamaño del archivo: 879.55K  
Total páginas: 100  
Total de palabras: 27,080  
Total de caracteres: 147,884  
Fecha de entrega: 11-nov-2025 10:32a.m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2811062471



# Efecto de la temperatura, agitación y concentración de levadura en la calidad fisicoquímica y sensorial de la chicha de jora-

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

- |   |   |      |
|---|---|------|
| 1 | <a href="http://www.aulavirtualusmp.pe">www.aulavirtualusmp.pe</a>  | 1 %  |
| 2 | <a href="http://cervezal.blogspot.com">cervezal.blogspot.com</a>  | 1 %  |
| 3 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a>  | 1 %  |
| 4 | <a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a>  | 1 %  |
| 5 | <a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a>  | <1 % |
| 6 | <a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a>  | <1 % |
| 7 | Villar Gonzales, Eynier Eloy. "Efecto de abonos orgánicos, Microorganismos eEficaces (EM) en la producción forrajera de avena (Avena sativa L.), y microbiota del suelo del Distrito de Vilque - Puno", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) | <1 % |
| 8 | <a href="http://www.scielo.org.ve">www.scielo.org.ve</a>  | <1 % |
| 9 | <a href="http://repositorio.unamba.edu.pe">repositorio.unamba.edu.pe</a>  | <1 % |
|   | <a href="http://repositorio.udlap.mx">repositorio.udlap.mx</a>  |      |
- Fuente de Internet
- Fuente de Internet
- Fuente de Internet
- Fuente de Internet
- Publicación

## **DEDICATORIA**

A Dios dador de mi vida, a mi querida madre  
por encaminarme en el camino profesional, a mi esposa  
e hijas por ser ellas el motivo de mi crecimiento.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi reconocimiento y mucha gratitud al Alma Máter, la Universidad Nacional del Santa de Chimbote, que me acogió para conseguir y lograr mis anhelos y sueños, por la sabiduría brindada en sus aulas y darnos la formación profesional.

A los catedráticos de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa de Chimbote, en especial a los docentes del Posgrado de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por sus instrucciones y aprendizajes todos los años de nuestra estadía en las aulas doctoras.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogerme como docente en la escuela profesional de Ingeniería en Industrias Alimentaria.

Al Dr. Juan Carlos Ponce, por su orientación y aportación a la ejecución final del presente proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CERTIFICACIÓN DE ASESORAMIENTO.....	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
ACTA DE SUSTENTACIÓN D TESIS. ....	iv
RECIBO TURNITING. ....	viii
REPORTE PORCENTUAL DE TURNITIN. ....	ix
DEDICATORIA. ....	x
AGRADECIMIENTO. ....	xi
ÍNDICE GENERAL. ....	xii
ÍNDICE DE TABLAS. ....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS. ....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS. ....	xvii
RESUMEN. ....	xviii
ABSTRACT. ....	xix
 INTRODUCCIÓN. ....	20
<b>CAPITULO I. Marco Teórico. ....</b>	<b>24</b>
1. Antecedentes de la investigación. ....	24
1.1. Trabajos de investigación en chicha de jora. ....	24
1.2. Bebidas fermentadas alcohólicas no tradicionales. ....	30
1.3. Métodos e instrumentos empleados en la elaboración de bebidas fermentadas. ..	36
1.4. Medidas de control en el procesamiento de bebidas fermentadas. ....	38
2. Marco conceptual. ....	44
2.1. La chicha de jora. ....	44
2.2. Maíz jora. ....	45
2.3. Teoría de la fermentación. ....	45
2.4. Bebida fermentada. ....	47
2.5. Fermentación de la chicha de jora. ....	48
2.6. Cinética de la fermentación. ....	49
2.7. Reacciones bioquímicas en el proceso. ....	50
2.8. Biorreactores. ....	52

2.9. Calidad de bebidas alcohólicas .....	54
2.10. Calidad de bebidas fermentadas. ....	55
2.11. Prueba de análisis de bebidas fermentadas. ....	56
2.12. Parámetros que afectan el proceso de fermentación. ....	58
2.13. Diseño de bloques completos al azar. ....	62
<b>CAPÍTULO II. Marco Metodológico. ....</b>	<b>64</b>
3. Métodos de la investigación. ....	64
4. Diseño de la investigación. ....	64
4.1. Primera etapa. ....	65
4.2. Segunda etapa. ....	68
5. Población y muestra. ....	69
5.1. Población. ....	69
5.2. Muestra. ....	69
6. Hipótesis central de la investigación. ....	69
7. Variables e indicadores de la investigación. ....	70
7.1. Variables independientes. ....	70
7.2. Variables dependientes. ....	74
7.3. Indicadores. ....	77
8. Actividades del proceso investigativo. ....	79
8.1. Preparación de chicha de jora. ....	79
8.2. Determinación de análisis fisicoquímico y microbiológico. ....	82
9. Técnicas e instrumentos de la investigación. ....	83
9.1. Técnicas de la investigación. ....	83
9.2. Instrumentos. ....	88
10. Procedimiento para la recolección de datos. ....	89
10.1. Observación. ....	89
10.2. Recopilación documental. ....	89
10.3. Encuesta (Análisis sensorial). ....	89
11. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos. ....	90
11.1. Primera etapa. ....	90
11.2. Segunda etapa. ....	90
<b>CAPÍTULO III. Resultados y Discusión. ....</b>	<b>92</b>
12. Determinación de parámetros fisicoquímicos. ....	92

12.1. Análisis del grado alcohólico .....	93
12.2. Análisis de la acidez volátil .....	95
12.3. Análisis del pH .....	97
13. Efecto de los parámetros de control .....	100
13.1. Efecto de la temperatura .....	100
13.2. Efecto de la agitación .....	101
13.3. Efecto de la concentración de levadura .....	102
14. Análisis sensorial de los ocho procesos aplicados en la chicha de jora .....	102
14.1. Atributo color .....	103
14.2. Atributo olor .....	106
14.3. Atributo sabor .....	107
14.4. Atributo textura .....	110
15. Composición químico proximal de la chicha de jora tradicional y la del tratamiento más aceptable .....	113
16. Evaluación de la carga microbiana en la chicha de jora tradicional y la del mejor tratamiento .....	114
<b>CAPÍTULO IV. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>116</b>
Conclusiones .....	116
Recomendaciones .....	117
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>125</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tratamientos y codificación experimental. ....	66
<b>Tabla 2.</b> Matriz de operacionalización de variables. ....	72
<b>Tabla 3.</b> Escala hedónica para la evaluación sensorial. ....	85
<b>Tabla 4.</b> Datos obtenidos de los ensayos fisicoquímicos efectuados. ....	92
<b>Tabla 5.</b> ANOVA del factor grados alcohólicos. ....	94
<b>Tabla 6.</b> ANOVA del factor acidez volátil. ....	96
<b>Tabla 7.</b> ANOVA del factor nivel de pH. ....	98
<b>Tabla 8.</b> Evaluación sensorial de la apariencia general de los diferentes tratamientos de la chicha de jora procesada. ....	103
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza del atributo color. ....	104
<b>Tabla 10.</b> Análisis de medias por Tukey para atributo color. ....	105
<b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza del atributo olor. ....	106
<b>Tabla 12.</b> Análisis de medias por Tukey para atributo olor. ....	107
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza del atributo sabor. ....	108
<b>Tabla 14.</b> Análisis de medias por Tukey atributo sabor. ....	109
<b>Tabla 15.</b> Análisis de varianza del atributo textura. ....	110
<b>Tabla 16.</b> Análisis de medias por Tukey para atributo textura ....	111
<b>Tabla 17.</b> Composición químico proximal comparado de la chicha de jora. ....	113
<b>Tabla 18.</b> Análisis microbiológico de la chicha de jora tradicional y la de mejor tratamiento. ....	114

## ÍNDICE DE FÍGURAS

<b>Figura 1.</b> Respiración y fermentación. ....	51
<b>Figura 2.</b> Proceso experimental de evaluación del efecto de la temperatura, agitación y levadura, en la calidad fisicoquímica y sensorial de la chicha de jora. ....	65
<b>Figura 3.</b> Disposición experimental para la evaluación de tratamientos del producto. ....	67
<b>Figura 4.</b> Selección del mejor tratamiento y análisis químico proximal y microbiológico de la chicha de jora artesanal y experimental. ....	68
<b>Figura 5.</b> Flujograma de proceso para la producción de chicha de jora. ....	80
<b>Figura 6.</b> Efecto de los tratamientos en el porcentaje de alcohol. ....	93
<b>Figura 7.</b> Efecto de los tratamientos en la acidez. ....	95
<b>Figura 8.</b> Efecto del tratamiento en el nivel de pH. ....	97
<b>Figura 9.</b> Comparación de niveles de concentración de alcohol, acidez volátil y de pH, de los tratamientos realizados. ....	99
<b>Figura 10.</b> Análisis sensorial del atributo color en la chicha de jora elaborada. ....	104
<b>Figura 11.</b> Análisis sensorial del atributo olor de la chicha de jora procesada. ....	106
<b>Figura 12.</b> Evaluación sensorial en cuanto al atributo gustativo de la chicha de jora procesada. ....	108
<b>Figura 13.</b> Evaluación sensorial en cuanto a las propiedades texturales de la chicha de jora procesada. ....	110
<b>Figura 14.</b> Comparación de niveles de apariencia general de los diferentes tratamientos de la chicha de jora procesada.....	112

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Determinación de análisis fisicoquímico. ....	126
<b>Anexo 2.</b> Ficha de evaluación sensorial. ....	129
<b>Anexo 3.</b> Evaluación sensorial de la chicha de jora. ....	130
<b>Anexo 4.</b> Fotos del trabajo de investigación. ....	133

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad elaborar una bebida fermentada tradicional, la chicha de jora, aplicando parámetros de control para obtener óptimas características fisicoquímicas y sensoriales. Se buscó responder a la pregunta: ¿Cuál sería el efecto de la temperatura, agitación y concentración de levadura en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la chicha de jora? Estos factores fueron considerados de control por su influencia en la calidad y producción.

El estudio se realizó en dos etapas. En la primera, se elaboró la chicha con una formulación tradicional bajo condiciones de laboratorio, evaluando la temperatura (26°C y 32°C), agitación (90 y 120 RPM) y concentración de levadura (0,5% y 1,0%), mediante un diseño factorial de  $2^3$  en un DBCA. Se analizaron las variables independientes: concentración de alcohol (°OH), acidez volátil (% de ácido acético) y pH, junto con una evaluación sensorial. En la segunda etapa se realizó el análisis químico-proximal y microbiológico del tratamiento óptimo.

Los resultados oscilaron entre: °OH (3,0-4,2%), acidez volátil (0,15-0,36%) y pH (3,94-4,04); en la evaluación sensorial: color (5,85-6,70), olor (5,00-6,10), sabor (3,85-5,85) y textura (5,20-6,10). Se concluye que el mejor tratamiento es el T8, al presentar las mejores propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

**Palabras clave:** Bebida fermentada tradicional, maíz jora, fermentación empírica, patrimonio alimentario andino.

## ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a traditional fermented beverage, chicha de jora, applying control parameters to obtain optimal physicochemical and sensory characteristics. The aim was to answer the question: What would be the effect of temperature, agitation, and yeast concentration on the physicochemical and sensory properties of chicha de jora? These factors were considered controlling factors due to their influence on quality and production.

The study was conducted in two stages. In the first, chicha de jora was produced using a traditional formulation under laboratory conditions, evaluating temperature (26°C and 32°C), agitation (90 and 120 RPM), and yeast concentration (0.5% and 1.0%) using a  $2^3$  factorial design in a DBCA. The independent variables analyzed were alcohol concentration ( $^{\circ}\text{OH}$ ), volatile acidity (acetic acid), and pH, along with a sensory evaluation. In the second stage, the chemical-proximal and microbiological analysis of the optimal treatment was carried out.

The results ranged from  $^{\circ}\text{OH}$  (3.0-4.2%), volatile acidity (0.15-0.36%), and pH (3.94-4.04); in the sensory evaluation: color (5.85- 6.70), odor (5.00-6.10), flavor (3.85-5.85) y texture (5.20-6.10). It is concluded that the best treatment is T8, as it has the best physicochemical and sensory properties.

**Keywords:** Traditional fermented beverage, jora corn, empirical fermentation, Andean food heritage.

## INTRODUCCIÓN

Se denomina chicha, en sentido general, a toda bebida refrescante, fermentada o no. Entre las chichas no fermentadas destacan la morada, de cocona, de carambola, de granadilla o de cebada; mientras que entre las fermentadas se incluyen aquellas que, según Guerrero et al. (2012), fueron denominadas “chicha” por los españoles al llegar a América, para referirse a diversas bebidas elaboradas con frutos y semillas locales, como el maíz, molle, oca, quinua, yuca o algarrobo. En el caso particular de la chicha de jora, como bebida tradicional, carece de parámetros estandarizados de calidad, conservación e inocuidad, lo cual impide garantizar su seguridad y uniformidad durante la producción y consumo.

En el Perú, como en gran parte de Sudamérica, el maíz (*Zea mays*) es un cereal de gran importancia cultural, alimentaria y económica, reconocido por su valor energético y nutricional. Existen múltiples variedades que han acompañado a diversas civilizaciones andinas desde tiempos prehispánicos. Melgarejo (2006) destaca que las representaciones más antiguas del maíz se hallaron en dibujos grabados en piedras en Kotosh (1200 a.C.) y en Chavín (900 a.C.), en una representación de las fauces de un jaguar sosteniendo una mazorca, evidenciando su vínculo con la cosmovisión agrícola y ritual. Las culturas Mochica y Chimú también representaron el maíz en sus ceramios, incluso en escenas de preparación de chicha, lo que revela su papel en la vida social y simbólica del antiguo Perú (P. 23).

El maíz, perteneciente a la familia Poaceae, es consumido tradicionalmente tierno, cocido y entero o desecado, desgranado y tostado en cancha. Pero también es consumido en harinas, choclo, germinados y otros desde la época prehispánica. “Hoy en día, el maíz sigue constituyéndose como la base de la alimentación de muchos de los habitantes.... Se consume como tostado, mote, choclo, etc., y para la chicha” (Pinto y Abad, 2017, p. 52).

Según el Ministerio de Salud (MINSA, 2017), “el maíz contiene nutrientes, y por cada 100 g se tiene proteína (5,9 g), grasa total (4,0 g) y carbohidratos (76,1 g), además de muchas vitaminas y minerales” (p. 12). El maíz de germinación controlada para luego ser secada y fraccionada, es denominado como jora o malta (de Fioro, 2019, p. 14), proceso que transforma el almidón en azúcares simples “este grano malteado incrementa su contenido de vitaminas y mejora la digestibilidad del alimento por la formación de enzimas, diastásicas y proteolíticas durante el germinado” (Salazar, et al., 2008, p. 31) y pasa a constituir la materia prima para la elaboración de la chicha de jora, un producto fermentado de sabor agradable además de nutracéutico, como lo mencionan Ara et al. (2018) “Dado que en la chicha de jora se utiliza el maíz germinado como materia prima, todos los nutrientes que este posee se transfieren a la bebida para posteriormente ser asimilados por nuestro organismo” (p. 12).

El presente estudio aborda la problemática de preservar esta tradición ancestral mejorando las condiciones de calidad e inocuidad, de manera que la bebida conserve su aporte nutricional sin comprometer la salud de los consumidores. Por ello se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es el efecto de la temperatura, agitación y concentración de levadura en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la chicha de jora?
- ¿Cuál es la composición químico-proximal y calidad microbiológica de la chicha de jora elaborada en este estudio en relación a la chicha de jora artesanal comercial encontrada en los mercados locales del distrito de Ayacucho?

El propósito de este estudio es establecer los parámetros de procesamiento a nivel semiindustrial de la chicha de jora, con el fin de conseguir un fermentado con características fisicoquímicas y sensoriales de la chicha jora artesanal producida en Ayacucho, debido a que no existen parámetros de procesamiento ni normas de calidad para la chicha de jora que permitan producirla de manera estandarizada para su industrialización. Variables como la temperatura, la velocidad de agitación, la concentración de levadura tienen mayor incidencia en la calidad fisicoquímica y sensorial de las bebidas fermentadas (Ara et al., 2018; Falcón et al., 2019; Custodio y Rivas, 2024; García et al., 2024; entre otros). Así,

el proyecto buscará estandarizar el proceso de fabricación de chicha de jora a escala semiindustrial e industrial.

El objetivo general del estudio es evaluar el efecto de la temperatura, velocidad de agitación y la concentración de levadura en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la chicha de jora.

Los objetivos específicos consistieron en:

- Seleccionar el tratamiento con características fisicoquímicas y sensoriales semejantes a la chicha de jora artesanal comercial de Ayacucho; y
- Comparar su composición químico-proximal y la calidad microbiológica con las muestras artesanales disponibles en el mercado local.

El estudio se justifica porque contribuirá al establecimiento de parámetros de procesamiento semiindustrial para la chicha de jora, tomando en cuenta, la temperatura de fermentación, la agitación necesaria y la concentración de levadura, permitiendo estandarizar su producción y mejorar su inocuidad. Su relevancia se manifiesta en las siguientes tres dimensiones:

- Tecnológica: al proporcionar valores de referencia de temperatura, agitación y concentración de levadura, que aseguren una bebida de calidad estable y susceptible de industrialización.
- Social: al rescatar y revalorar un producto ancestral, fortaleciendo el patrimonio cultural y alimentario andino mediante su incorporación al mercado formal.
- Económica: al generar una base técnica para la producción semiindustrial, abriendo oportunidades de negocio y cadenas de valor en torno a este producto tradicional.

La formulación de la hipótesis central de investigación sostiene que la temperatura, velocidad de agitación y concentración de levadura influyen directamente en la calidad fisicoquímica y sensorial de la chicha de jora, debida a su efecto sobre el crecimiento y metabolismo de la levadura, determinante en la producción de etanol, acidez y pH. Asimismo, se plantea que la bebida elaborada bajo condiciones controladas presentará una composición químico-

proximal semejante a la artesanal, pero con una mejor calidad microbiológica, conforme a los criterios establecidos en la Norma Técnica Sanitaria N.º 071 DIGESA/MINSA-V.01 (2008).

El alcance geográfico del estudio corresponde a la provincia de Huamanga, región Ayacucho, donde la chicha de jora constituye una bebida representativa. Entre sus limitaciones se reconocen la variabilidad de formulaciones tradicionales, el uso de distintas variedades de maíz germinado y los recursos disponibles para la ejecución experimental.

El capítulo I desarrolla el marco teórico, abordando los fundamentos bioquímicos de la fermentación, las reacciones bioquímicas, los factores que inciden en la calidad de las bebidas fermentadas y los atributos que definen la buena elaboración de una chicha de jora. Se hace una revisión de los principales antecedentes de investigaciones en chicha de jora, considerada como una bebida tradicional, tanto a nivel nacional como internacional, debido a que es un producto elaborado y consumido en países como Bolivia, Ecuador y Colombia principalmente. Este capítulo concluye con el marco conceptual definiendo conceptualmente los materiales e insumos para el procesamiento de la chicha de jora.

El capítulo II expone metodología experimental, el diseño factorial, la definición de variables y el análisis de las mismas y sus indicadores, empleando un enfoque cuantitativo y de carácter experimental.

Finalmente, el capítulo III presenta los resultados y la discusión, donde se identificó que el tratamiento experimental T8 (A2B2C2) alcanzó las mejores características fisicoquímicas y sensoriales, cumpliendo con los estándares de inocuidad establecidos para productos fermentados.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

##### 1.1. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN CHICHA DE JORA.

Ara et al. (2018) analizaron distintos métodos de elaboración de chicha de jora con el objetivo de optimizar sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, buscando obtener un producto que cumpla con los estándares de calidad requeridos para su consumo. Para este propósito, emplearon como materia prima maíz jora de tipo comercial (MJC) junto con dos variedades de maíz híbrido: jaspeado rojo (MHR) y negro (MHN), los cuales fueron germinados bajo condiciones controladas de laboratorio. Para la preparación del mosto, se utilizaron 200 gramos de jora previamente molida por cada litro de agua, los cuales se cocieron durante aproximadamente dos horas. Posteriormente, se añadieron 50 g de chancaca y 50 g de azúcar morena, continuando la cocción hasta reducir el volumen en un 50%. Una vez enfriada la mezcla a 28°C, se coló y se almacenó en fermentadores de vidrio, donde se inoculó 0,5 g de levadura *S. cerevisiae* activada. La fermentación se llevó a cabo durante un periodo de dos a cuatro días, evaluándose parámetros de temperatura, densidad, pH, °Brix y grado alcohólico. Finalizado el proceso, la chicha fue filtrada y envasada en botellas de vidrio esterilizadas de 300 mL, conservadas a temperatura ambiente para su evaluación sensorial. Entre los principales resultados se destaca el efecto de pH, durante la fermentación: la temperatura promedio fue de  $28,5 \pm 0,5$  °C, los °Brix se redujeron en un 37% para pH 4,5 y 5,5 y en un 49% para el pH 5,0. En los tres casos, la densidad disminuyó en un 91% y el pH descendió en promedio 1,7 unidades; obtuvieron chichas de jora con un pH final de  $4,13 \pm 0,3$  tras 48 h de fermentación.

Durante este proceso, las variaciones en densidad y grados °Brix fueron mínimas, aunque la producción de etanol (°OH) fue significativamente

mayor cuando el pH inicial superó los 5,5. En relación con la concentración inicial de azúcares (°Brix), se determinó que el 67% de los azúcares presentes en el mosto se transformaron en etanol y dióxido de carbono, lo que se asoció con una disminución del pH y de la densidad en 80 y 86%, respectivamente. Se alcanzaron entre 5 y 6 grados alcohólicos en mostos con concentraciones iniciales de 8,0 a 15,63°Brix.

Respecto al tipo de maíz utilizado, los valores iniciales de pH, °Brix y densidad fueron menores en el maíz morocho, mientras que el comportamiento cinético de los mostos elaborados con maíz negro y rojo fue similar entre sí, pero diferente al del maíz morocho. En cuanto a la caracterización microbiológica, todas las muestras cumplieron con los estándares establecidos por DIGESA.

En la evaluación sensorial, las cuatro variedades de chicha de jora obtuvieron puntuaciones que oscilaron entre 22 y 53 puntos. Mediante un análisis de varianza de Friedman se determinó que existían diferencias significativas en el grado de preferencia (valor  $F = 16$ ), siendo la muestra del código 0860 (jora de maíz negro) la más aceptada, y la de código 5734 (chicha de Incautase) la menos preferida.

El estudio concluye que los parámetros óptimos de fermentación a 30°C, asociados a una alta aceptabilidad sensorial, corresponden a mostos con 15,63 °Brix, pH inicial de 5,5 y una densidad entre 1,15 y 1,35 g/L, obteniéndose una chicha con pH final entre 4,0 y 4,3 y un contenido alcohólico de 4 a 5%. Asimismo, la evaluación sensorial evidenció que la chicha de jora elaborada con jora de maíz negro presentó mayor preferencia en textura, aroma y sabor que las obtenidas de jora de maíz rojo y morocho.

Periche (2018) desarrolló una investigación titulada “Contenido de aminas biogénas (histamina y tiramina) y su relación con características fisicoquímicas en muestras de chicha de jora elaboradas en la provincia de Abancay, Apurímac”, con el objetivo de determinar la presencia de dichas aminas mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y evaluar las características fisicoquímicas de las muestras en términos de porcentaje de acidez, nivel de pH, contenido alcohólico y cantidad de

sólidos totales. Las muestras fueron recolectadas en distintos puntos de las provincias de Abancay y Apurímac.

El estudio comprendió la adecuación del método de determinación de aminas biógenas, la identificación del número total de productores de chicha de jora en los distritos de Abancay y Tamburco, la recolección de muestras y la posterior ejecución de los ensayos analíticos. Los resultados mostraron la aparición de picos cromatográficos correspondientes a histamina y tiramina, los cuales fueron cuantificados mediante estándares de aminas biógenas con concentraciones conocidas. Los niveles máximos detectados de estas sustancias excedieron los límites permitidos, siendo comparables a los encontrados en bebidas fermentadas como vino y cerveza. Esta alta concentración se asoció posiblemente a la presencia de *Lactobacillus plantarum* durante el proceso de fermentación de la chicha.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se obtuvieron valores promedio de pH 3,47, acidez 0,26%, grado alcohólico con 5,1%, sólidos totales de 4,95% y densidad de 1,0111. Estos resultados son similares a los reportados en muestras de fermentación espontánea provenientes de Huancayo, Arequipa, Piura y Lima, lo que sugiere que las propiedades fisicoquímicas de la chicha de jora son relativamente consistentes entre diferentes regiones del Perú.

Las concentraciones detectadas alcanzaron hasta 37,53 mg/L de histamina y 77,96 mg/L de tiramina. Según el análisis estadístico realizado con un nivel de confianza del 95%, se determinó que el 7% de las muestras superaron el límite máximo permitido de histamina (8 mg/L), mientras que el 16% excedieron el valor máximo establecido para tiramina (25 mg/L).

Barbosa et al. (2018) realizaron una investigación sobre las poblaciones de *Saccharomyces cerevisiae* y otras levaduras asociadas a cervezas indígenas (chicha) del Ecuador, con la finalidad de identificar la diversidad de especies de levaduras y describir las poblaciones de *S. cerevisiae* vinculadas a su elaboración. Para ello recolectaron cuarenta y dos muestras de chicha en la región andina y amazónica del Ecuador, usando

frascos estériles de 100 mL, las cuales fueron transportadas en hielo al laboratorio para su procesamiento.

Para el aislamiento de levaduras, se extrajeron alícuotas de 25 mL de cada muestra y se mezclaron con 225 mL de agua estéril conteniendo 0,1% de peptona. Posteriormente, se sembraron 0,1 mL de diluciones decimales adecuadas, por triplicado, sobre YMA (Agar de extracto de levadura y malta), compuesto por 1% de glucosa, 0,5% de peptona, 0,3% de extracto de malta, 0,3% de extracto de levadura, 2% de agar y 0,02% de cloranfenicol. Para el aislamiento específico de levaduras *Saccharomyces* se empleó además el medio YCB, conformado por 1,17% YCB, 0,056% agar lisina, 2% de agar y 0,02% de cloranfenicol. Las placas fueron incubadas a 25°C durante 5 días, y la densidad de cada morfotipo distinto de levadura se expresó en (ufc/mL).

Los aislamientos con características morfológicas y fisiológicas similares fueron agrupados y sometidos a reacción de la polimerasa (PCR) utilizando el cebador (GTG)<sub>5</sub>. Aquellos con patrones de bandas de ADN idénticos se consideraron pertenecientes a la misma especie. La identificación se realizó mediante el análisis de las secuencias de la región ITS-5.8S y los dominios variables D1/D2 de la subunidad mayor del gen ARN ribosomal (rRNA). Las secuencias obtenidas a partir de productos de PCR purificados se procesaron mediante un sistema de secuenciación automatizado ABI3130, y se compararon con las registradas en la base de datos GenBank para confirmar la identidad de las especies de levaduras.

La extracción de ADN mitocondrial (ADNmt) de 121 aislados de *S. Cerevisiae* se efectuó siguiendo un protocolo estandarizado. Los productos fueron resuspendidos en 25 µL de solución TE y almacenándose a -20°C. Para la digestión enzimática, se preparó una mezcla que incluía tampón 10X, 1 µL de ARNasa A, 1 µL de la enzima Hinf I y 10 µL de ADN, completando el volumen con agua desionizada hasta 20 µL. La mezcla se incubó a 37°C durante 6 horas. Los fragmentos de restricción de ADNmt se separaron mediante electroforesis en gel de agarosa al 1,5% en tampón TBE aplicando 80 V durante dos horas. Los geles fueron teñidos con GelRed y visualizados bajo luz ultravioleta para su documentación fotográfica.

En el análisis fisicoquímico se determinaron los parámetros de pH, azúcares reductores totales (empleando el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico), así como los niveles de etanol, glicerol y los ácidos láctico y acético, determinados mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Como resultados presentan que se identificaron 254 aislados de levadura pertenecientes a 26 especies, siendo las más prevalentes *S. cerevisiae* (presente en 33 de las 42 muestras) y *Torulaspora delbrueckii*, (en 18 muestras). También se aislaron especies como *Pichia kudriavzevii*, *Candida sake*, *Dekkera bruxellensis*, *Pichia fermentans* y *Saccharomyces ludwigii*, entre otras, algunas de las cuales se encontraron en más de un tipo de chicha. Las poblaciones de *S. cerevisiae* registraron los recuentos más altos, superiores a  $1,0 \times 10^7$  ufc/mL, y de los 82 aislados de esta especie se identificaron 46 perfiles de restricción de ADNmt únicos, que no ocurren en otras muestras.

En cuanto a parámetros fisicoquímicos, el valor máximo de pH registrados fue de 4,15 a las 24 horas de fermentación, mientras que el mínimo fue de 2,62 al octavo día. Las concentraciones de azúcares reductores totales variaron entre 1,63 g/L y 36,24 g/L; el contenido máximo de glicerol alcanzó los 3,65 g/L, y los niveles de ácido láctico fluctuaron entre 1,59 y 6,90 g/L. En diez muestras no se detectó la presencia de etanol, mientras que la concentración más alta alcanzó 5,97% v/v tras 24 horas de fermentación.

El estudio concluyó que las chichas ecuatorianas son fermentadas principalmente por una amplia diversidad de cepas de *S. cerevisiae*, mientras que otras especies de levadura participan en menor proporción en el proceso. Finalmente, los parámetros fisicoquímicos obtenidos fueron comparables con los de otras bebidas fermentadas tradicionales, lo que permite clasificar a la chicha de jora como una bebida fermentada de carácter ácido.

Suarez (2017) realizó una investigación titulada “Características sensoriales y determinación de parámetros físico-químicos de la chicha de jora preparada por método tradicional y método de muk'eado”, con el objetivo de comparar ambos procedimientos de elaboraron. Para ello, se

prepararon muestras de 1500 mL por cada método, las cuales fueron sometidas a ensayos fisicoquímicos y organolépticos en el Laboratorio de Calidad Total de la Universidad Nacional Agraria de La Molina.

En cuanto a los resultados fisicoquímicos, la chicha elaborada mediante método tradicional presentó valores promedio de acidez total de 0,2 g/100 g, pH de 3,8, contenido de cenizas de 0,2 g/100 g y grado alcohólico de 2,7%. En el caso de la chicha de jora producida por el método de muk'eado, los valores promedio obtenidos fueron: acidez total de 0,15 g/100 g, pH de 4,2, contenido de cenizas de 0,2 g/100 g y grado alcohólico 1,3%.

Respecto a las características sensoriales, color, olor, sabor y consistencia, la chicha elaborada por el método tradicional presentó atributos característicos propios de esta bebida, mientras que la obtenida mediante el método de muk'eado mostró color, olor y sabor no característicos en la primera evaluación.

El estudio concluye que las peculiaridades sensoriales de la chicha de jora son representativas distintivas de la bebida tradicional, a diferencia de las observadas en el método de muk'eado. Asimismo, los parámetros fisicoquímicos obtenidos en ambas preparaciones se encuentran dentro de los rangos esperados para este tipo de bebidas fermentadas.

Bartolo et al. (2013) realizaron un estudio titulado “Efecto del vacío en la absorbancia y el grado alcohólico (GA) en dos tipos de chicha de jora (Blanca y Oscura)”, con el objetivo de evaluar cómo la presión aplicada durante la destilación influye en el contenido alcohólico del destilado y en su absorbancia, con miras a establecer parámetros útiles para la obtención de una bebida destilada más comercial, similar al pisco u otros productos derivados.

Para ello, emplearon chicha de jora blanca (CJB) y otra oscura (CJO) adquiridas en el mercado de Trujillo, región La Libertad. La metodología consistió en caracterizar inicialmente las muestras determinando su porcentaje de alcohol y su absorbancia, para luego someterlas a un proceso de destilación a distintas presiones específicas. Posteriormente,

se volvió a evaluar la absorbancia y se procesaron los datos mediante el programa DATA FIT.

Los resultados mostraron que la CJB presentó un grado alcohólico inicial de 5°GL y una absorbancia de 1,833 a una longitud de onda de 680 nm, mientras que la CJO registró un grado alcohólico inicial de 3°GL y una absorbancia de 1,942 a la misma longitud de onda. Tras aplicar un proceso de destilación discontinua, se observó que la menor temperatura de ebullición para CJO se alcanzó a un vacío de -0,2 bar; mientras que para la CJB se obtuvo a -0,5 bar.

Asimismo, se determinó que, a medida que disminuye la presión, el grado alcohólico aumenta en ambas chichas analizadas. En cuanto al modelo de regresión, la CJO presentó el mejor ajuste, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,92, en contraste con el valor de 0,81 obtenido para la CJB.

En conclusión, la absorbancia de las muestras se ve significativamente afectada por el tipo de chicha (clara u oscura) como por la presión aplicada, dentro de un rango de 385 a 760 mmHg. La presión óptima para obtener el mayor contenido alcohólico en el destilado de la chicha blanca (30°GL) fue de 400 mmHg. En el caso de la chicha oscura, aunque se alcanzó la misma presión, el grado alcohólico máximo fue menor, con un valor de 17° GL. Finalmente, se evidenció una relación inversa entre la presión aplicada y la absorbancia, registrándose el valor más alto de absorbancia (0,020) en la chicha blanca a 400 mmHg, atribuible a una mayor clarificación y pureza en la muestra, lo que permite una mayor transmisión de radiación.

## **1.2. BEBIDAS FERMENTADAS ALCOHÓLICAS NO TRADICIONALES.**

Herrera et al. (2019) desarrollaron un trabajo de investigación titulada “Selección y evaluación de levadura comercial para el proceso de fermentación alcohólica de hidromiel”, llevada a cabo en la Universidad de Cartagena, Colombia. El estudio tuvo como finalidad analizar el proceso de fermentación alcohólica para la producción de hidromiel, empleando tres diferentes marcas de levaduras comerciales.

La fermentación se realizó siguiendo un protocolo estandarizado descrito en la literatura, manteniendo una temperatura constante de 25 °C durante 48 horas. El mosto utilizado estuvo compuesto por miel de abeja y agua, con una concentración de 24 °Brix. Una vez obtenido el producto final, se efectuó una evaluación sensorial por un panel de 30 jueces no entrenados, con el propósito de determinar el nivel de preferencia entre las muestras.

Los resultados mostraron que el °Brix fue similar en todos los casos, en concordancia con lo reportado en la literatura especializada. Sin embargo, el contenido alcohólico y el nivel de aceptación variaron según la levadura utilizada. La levadura B produjo una bebida con un contenido de etanol 17,5% (v/v) y una aceptación general de 36,7%, mientras que la levadura C, generó un producto con un 10,95% (v/v) de etanol, siendo esta la más preferida por los consumidores potenciales.

Finalmente, los autores concluyeron que la levadura C fue la más adecuada para la elaboración de hidromiel, debido a su equilibrio entre contenido alcohólico moderado y mayor aceptación sensorial por parte de los evaluadores.

González (2019), en su tesis titulada “Caracterización y potencial del *Saccharomyces uvarum*, de ambientes naturales y bebidas fermentadas, para elaborar sidras a bajas temperaturas”, desarrollada en la Universidad Nacional de Comahue, Argentina, tuvo como propósito identificar la presencia de *Saccharomyces uvarum* en sidras fermentadas a baja temperatura en la región de Norpatagonia y en diversos entornos naturales, con fin de analizar sus diferencias según su origen y evaluar su potencial como cultivo iniciador en la producción de sidras con características organolépticas específicas.

Para ello, se evaluó el desempeño fermentativo, así como las propiedades tecnológicas y fisiológicas relevantes para la elaboración de sidra, en 21 cepas de *Saccharomyces uvarum* aisladas de chicha de manzana y 13 cepas de *Saccharomyces eubayanus* obtenidas de los mismos ambientes naturales. Además, se analizó la generación de metabolitos secundarios

asociados al aroma de la sidra, empleando una cepa representativa de cada especie y origen.

Los resultados mostraron que las cepas procedentes de ambientes naturales presentaron comportamientos similares entre sí, aunque distintos a los observados en las cepas aisladas de chicha. Asimismo, se identificaron concentraciones de 2-feniletanol en las cepas silvestres, mientras que la cepa proveniente de chicha destacó por su mayor producción de ésteres. En el análisis sensorial, los jueces mostraron mayor preferencia por las sidras fermentadas con *S. uvarum* a 20°C y con *S. cerevisiae* a 13°C, evidenciando diferencias sensoriales relacionadas con la temperatura y el tipo de levadura.

En conclusión, se constató una mejor adaptación y desempeño de la cepa seleccionada *S. uvarum* en fermentaciones a escala semipiloto. Además, se observó que la fermentación maloláctica espontánea ocurrió únicamente en las sidras elaboradas con *S. cerevisiae* durante la segunda fermentación en botella, lo que sugiere una posible inhibición de dicho proceso por parte de *S. uvarum*.

Ríos (2019) en su tesis doctoral titulada “*Desarrollo de bebidas fermentadas a partir de frutas no convencionales ricas en antioxidantes*”, realizada en el Departamento de Ingeniería Química y Alimentos de la Universidad de las Américas en Puebla (México), tuvo como objetivo elaborar bebidas fermentadas a base de granada y capulín, empleando tecnologías de preservación no térmica como las altas presiones hidrostáticas (HHP) y los pulsos eléctricos (PEF), con el fin de garantizar su estabilidad microbiológica y conservar sus propiedades antioxidantes, fisicoquímicas y sensoriales.

Para el tratamiento mediante HHP, se utilizó un equipo especializado que sometió las bebidas fermentadas de granada a presiones de 200, 400, 500 MPa durante 10 minutos, y de 600 MPa durante 5 minutos. En el caso de la técnica de PEF, se aplicó un sistema de flujo continuo sobre las bebidas, con intensidades de campo eléctrico de 11,7 kV/cm (50%, 15 µs) y 18,8 kV/cm (80%, 20 µs), manteniendo una frecuencia de 200 Hz.

Posteriormente los licores fueron pasteurizados mediante tecnologías VAT y HTST, almacenados a 4°C y se analizaron en distintos intervalos de tiempo (42, 49 y 56 días) para determinar la actividad antioxidante, los fenoles totales, flavonoides y antocianinas, utilizando el método DPPH.

Los resultados mostraron ligeros cambios en los parámetros fisicoquímicos de las bebidas fermentadas tratadas con HHP y PEF. Se observaron alteraciones significativas en el color, especialmente al final del período de almacenamiento en las muestras procesadas con HHP, coincidiendo con un incremento en la actividad antioxidante. Sin embargo, los compuestos antioxidantes presentaron una disminución progresiva durante el almacenamiento en todos los tratamientos. En la evaluación sensorial, no se evidenciaron diferencias significativas entre las muestras tratadas con HHP, PEF y las pasteurizadas.

En conclusión, el estudio demostró que la aplicación de las tecnologías HHP y PEF constituyen una alternativa prometedora para el procesamiento de bebidas fermentadas de frutas no convencionales como la granada y el capulín, ya que contribuyen eficazmente a mantener sus cualidades microbiológicas, sensoriales y antioxidantes, prolongando su vida útil sin afectar sus atributos de calidad.

Barco (2017), en su investigación titulada “bebida fermentada a base del extracto de quinua y soya con aplicación de probióticos y una bacteria nativa aislada”, desarrollada en colaboración entre la Universidad Estadual de Londrina en Brasil y la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras), tuvo como propósito caracterizar las propiedades físicas y químicas de una bebida fermentada elaborada a partir del extracto de quinua y soya, así como evaluar su nivel de aceptación sensorial.

El proceso experimental comprendió fermentaciones a 37°C durante 20 horas empleando *Lactobacillus casei* (FC) y *Lactobacillus plantarum*, y a 25°C durante 24 horas utilizando una cepa bacteriana nativa. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas a 4°C por 28 días. Se compararon las características de las bebidas fermentadas y no fermentadas mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres

repeticiones por tratamiento. Asimismo, para evaluar los cambios durante el almacenamiento, se aplicó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones y cuatro tiempos de análisis: 0, 7, 14 y 28 días.

Se determinaron diversos parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, con el fin de analizar la estabilidad y calidad de las bebidas desarrolladas. Los resultados mostraron que el tratamiento con *Lactobacillus casei* (FC) presentó los valores más favorables, alcanzando un contenido de 3,23% de proteína y 0,99% de lípidos, además de obtener una puntuación promedio de 6,43 en la evaluación sensorial, equivalente a la categoría “me gusta poco” en la escala de aceptación empleada.

En conclusión, el estudio evidenció que las bebidas fermentadas a base de quinua y soya enriquecidas con probióticos poseen un perfil nutricional y sensorial aceptable, destacando el tratamiento con *Lactobacillus casei* como el de mejor desempeño global, lo que sugiere su potencial aplicación en la industria de alimentos funcionales fermentados.

Becerra (2014), en su investigación titulada “*Bebida fermentada a partir de maíz y arroz*” desarrollada en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, tuvo como objetivo obtener una bebida fermentada susceptible de ser introducida fácilmente en el mercado colombiano. Para ello, elaboró bebidas fermentadas tipo *masato* a partir de maíz y de arroz, tomando como base recetas tradicionales y realizando un control diario del contenido de °Brix, así como análisis fisicoquímicos y organolépticos del producto final.

Los resultados mostraron que la bebida fermentada de maíz presentó una reducción significativa de los grados °Brix durante el proceso de fermentación, lo que evidencia una mayor actividad en este parámetro. En cuanto a las características finales, la bebida de maíz presentó niveles adecuados de acidez y contenido alcohólico, considerándose un producto de calidad aceptable. Sin embargo, las propiedades sensoriales obtenidas no alcanzaron los estándares deseados por los consumidores.

Respecto a los métodos de conservación, el estudio determinó que la pasteurización permitió conservar el producto, pero alteró significativamente sus características sensoriales, mientras que el almacenamiento por refrigeración mantuvo las propiedades originales, aunque con limitada capacidad de conservación.

En conclusión, Becerra destacó que la bebida fermentada de maíz presenta mejor comportamiento fermentativo y calidad fisicoquímica que la de arroz, aunque persisten desafíos en la preservación de sus atributos sensoriales y en la extensión de su vida útil, aspectos para su potencial comercialización.

Estela et al. (2011), en su estudio titulado “*Actividad fermentativa de Hanseniaspora uvarum y su importancia en la producción de bebidas fermentadas*”, tuvieron como propósito profundizar en el conocimiento de la capacidad fermentativa de la levadura *Hanseniaspora uvarum* RIVE 6-2-2, con especial énfasis en su potencial aplicación para la elaboración de bebidas fermentadas no convencionales.

Para ello, la cepa se cultivaba en frascos Erlenmeyer que contenían jugo de manzana esterilizado y libre de compuestos aromáticos, a fin de evaluar la producción de compuestos químicos de relevancia sensorial durante la fermentación, tanto en condiciones con agitación como sin ella.

Los resultados mostraron que la cepa fue capaz de generar hasta 4,02% v/v de etanol en condiciones estáticas a 28 °C. Asimismo, la agitación del medio de cultivo promovió un incremento en la producción de alcoholes superiores (488,2 mg/L) y ácido acético (468,0 mg/L) en comparación con el cultivo estático. Por el contrario, la síntesis de acetato de etilo (189,0 +/- 12,0 mg/L) y glicerol (3,2 +/- 0,3 g/L) fue superior bajo condiciones estáticas, mientras que en cultivo agitado se redujo a 142,0 +/- 8,0 mg/L y 2,3 +/- 0,25 g/L, respectivamente.

Como conclusión, los autores determinaron que la *H. uvarum* RIVE 6-2-2 presenta un alto potencial para su uso en la producción de bebidas fermentadas a base de jugos de frutas, siendo especialmente adecuada para la elaboración de bebidas de bajo contenido alcohólico (4% v/v).

Además, se estableció que la aireación durante la fermentación influye directamente en la síntesis de metabolitos secundarios, aumentando la producción de alcoholes superiores y ácido acético, pero reduciendo la de ésteres y glicerol. De este modo, se concluye que la tasa de agitación puede ser un factor clave para regular la composición aromática sensorial de las bebidas fermentadas producidas con esta levadura.

### **1.3. MÉTODOS E INSTRUMENTOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE BEBIDAS FERMENTADAS.**

Novillo y Esparza (2019), en su investigación sobre arqueología de las bebidas fermentadas, enfocada en la chicha mesoamericana, buscaron determinar el uso específico de las tinajas arqueológicas halladas en el sitio Guachimontones, México. Partieron de la hipótesis de que dichas tinajas habrían sido empleadas en la preparación de una bebida fermentada. El estudio se desarrolló bajo un enfoque multidisciplinario, combinando métodos cualitativos, basados en el análisis de fuentes bibliográficas de arqueología, etnografía e historia, y cuantitativos, correspondientes a los datos obtenidos mediante análisis de laboratorio y técnicas de arqueometría.

Los resultados confirmaron la asociación de las piezas cerámicas con la elaboración de fermentos, al evidenciarse un alto grado de enriquecimiento químico en los materiales, especialmente en carbohidratos. Se identificaron restos de *Zea mays* en más del 90% de las muestras, con signos de gelatinización producto del calentamiento en medio acuoso.

En conclusión, las tinajas del sitio Guachimontones habrían sido utilizadas para la elaboración de bebidas fermentadas como el *tesgüíño*. Además, se descartó que estas cumplieran funciones como contenedores de agua, ya que este no provoca el enriquecimiento cerámico con fosfatos, proteínas, carbohidratos ni residuos grasos. Tampoco se determinó una doble funcionalidad, debido a que los fermentos tienden a concentrarse en los poros de la cerámica, y el contacto posterior con agua alteraría el sabor del líquido y favorecería su contaminación.

Falcón et al. (2019) desarrollaron una investigación sobre los efectos del tiempo de maceración prefermentativa en la capacidad antioxidante de una bebida fermentada de aguaymanto, realizada en los laboratorios de la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo en Ancash, Perú. El estudio tuvo como objetivo caracterizar el fruto del aguaymanto (*physalis peruviana*) y evaluar la aptitud del fruto maduro para el procesamiento de bebidas fermentadas. Para ello, se estableció una correlación entre la capacidad antioxidante y el tiempo de maceración prefermentativa de la fruta (0, 30 y 60 días), tanto al momento del embotellado como después de 90 días de maduración. Como instrumento de registro se emplearon fichas de observación de los análisis realizados.

Los resultados mostraron que el mayor grado de madurez del aguaymanto favorece procesos de biosíntesis que incrementa el contenido de nutrientes, carotenoides, compuestos fenólicos y ácido ascórbico. En consecuencia se concluyó que en el aguaymanto en estado maduro presenta una adecuada aptitud para la elaboración de bebidas fermentadas.

Lataza (2016) en su tesis titulada “Modelo de optimización del proceso de estabilización de bebidas fermentadas”, desarrolló un modelo orientado a optimizar dicho proceso en la Universidad Nacional de Misiones, Argentina. El propósito de su investigación fue mejorar la medición turbidimétrica del ácido tánico (AT), considerando su interacción con las proteínas y polisacáridos presentes de forma natural en la cerveza. Para ello, se prepararon muestras con distintas concentraciones de polisacáridos totales y proteínas, aplicando la metodología de superficie de respuesta con el fin de evaluar la influían los polisacáridos totales (PST), en un rango de 1,34 a 2,23 g/L, y de las proteínas, entre 0,11 a 0,18 g/L, en la formación del velo. Los experimentos se diseñaron siguiendo un esquema de Diseño Central Compuesto (DCC).

Los resultados evidenciaron que el incremento de la turbidez tras la incorporación de polisacáridos totales (PST) fue comparable al efecto generado por la adición de proteínas. Este hallazgo sugiere que el empleo del ácido tánico (AT) como indicador de la presencia de proteínas

responsables de la formación de velo, una práctica común en la industria cervecera, podría ocasionar errores de interpretación, ya que los polisacáridos también interactúan con el AT y contribuyen significativamente al aumento de la turbidez. Como conclusión, el estudio determinó que una fuerza iónica de 0,05 +/- 0,01M, basada en la concentración de KCl, no altera la interacción entre los precursores de turbidez de la cerveza y el ácido tánico, confirmando que las proteínas como los polifenoles naturales intervienen de manera sustancial en la formación del velo, aunque la participación de los polisacáridos es también significativa.

Herrera et al. (2014) realizaron una investigación sobre el empleo de programas en LabVIEW para la elaboración de bebidas alcohólicas artesanales, desarrollada en los laboratorios de Ciencias Básicas de la Universidad Experimental del Táchira, Venezuela. El objetivo del estudio fue diseñar un programa que permitiera a los productores artesanales de bebidas fermentadas a base de caña de azúcar cumplir con las especificaciones técnicas de grado alcohólico y concentración de metanol exigidas para su legalización. Para alcanzar este propósito, se estableció la relación entre el porcentaje volumétrico y mísico de etanol-agua en diferentes concentraciones y su dependencia con la temperatura, además de determinar las temperaturas de ebullición del etanol, metanol y agua.

Con los resultados obtenidos, se desarrollaron programas en LabVIEW que permiten a los productores definir los parámetros de recolección del destilado, determinar la concentración de etanol a partir de la densidad y eliminar la presencia de compuestos tóxicos en los productos finales. En conclusión, los programas diseñados posibilitan mantener las características artesanales del proceso de producción de etanol, ya que establecen los parámetros técnicos necesarios sin sustituir la intervención manual predominante en la elaboración tradicional.

#### **1.4. MEDIDAS DE CONTROL EN EL PROCESAMIENTO DE BEBIDAS FERMENTADAS.**

Custodio y Rivas (2024) evaluaron el efecto de la temperatura y el pH como pre tratamientos destinados a mejorar el rendimiento de la

fermentación alcohólica en cultivos por lotes de “*Saccharomyces cerevisiae*”. El objetivo del estudio fue determinar el rendimiento de biomasa y de producto en relación con el sustrato, aplicando distintos tratamientos de pH y temperatura, así como realizar el análisis estadístico en función de los azúcares residuales y el etanol obtenido como producto final. Para ello, se utilizó un inóculo de 1 g/L de levadura *S. cerevisiae* en un volumen de 23 mL, el cual fue sometido a análisis de viabilidad, brotación y biomasa mediante microscopía con cámara de Neubauer. Además, se determinó el nivel de contaminación por recuento total de bacterias ácido lácticas viables (BALV), los azúcares totales (%ART) mediante el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), la sacarosa por polarimetría, la biomasa por densidad óptica y el etanol por cromatografía de gases. El diseño experimental aplicado fue factorial 2<sup>2</sup>, con dos factores (Temperatura y pH) y dos niveles por factor (-1, +1).

Los resultados evidenciaron que la viabilidad celular se vio afectada por factores de estrés externo, como la alta temperatura, la dosis de antibióticos o posibles fallas operativas, lo que influyó en el rendimiento alcohólico. Los valores más altos de viabilidad y biomasa se alcanzaron en el tratamiento 3 (4.8 pH y 60°C), mientras que el nivel de infección se mantuvo similar en todos los ensayos. El estudio cinético mostró que el valor máximo de azúcares reductores (87,9 g/L) se alcanzó a las 18 h, y el de la biomasa (29,6 g/L) a las 24 h, mientras que la concentración de etanol aumentó de 0 a 74,4 g/L hacia el final de la fermentación, momento en que los azúcares reductores disminuyeron a 16,6 g/L, evidenciando un comportamiento asintótico. Respecto al rendimiento celular por consumo de sustrato, el tratamiento 3 (T3) obtuvo un valor de 0,166 g/g, mientras que el T4 (pH 4,8 y 80°C) presentó el mejor rendimiento en formación del producto, con 0,531 g/g, ligeramente superior al rendimiento teórico.

En conclusión, el estudio demostró que el pretratamiento correspondiente al T4 ofrece un mayor rendimiento y productividad en la formación de etanol, confirmando que las fermentaciones con pretratamiento superan en eficiencia a las fermentaciones convencionales.

Samaniego y Taipe (2022) desarrollaron una investigación titulada “*Efecto del tiempo, temperatura y cantidad de levadura en la obtención de etanol por fermentación de residuos sólidos orgánicos hidrolizados*”, realizada en el laboratorio de bioprocessos de la Universidad Nacional del Centro del Perú. El estudio tuvo como objetivo determinar el tiempo, la temperatura y la cantidad óptima de levadura para la fermentación de residuos sólidos orgánicos previamente hidrolizados, con el propósito de optimizar la producción de etanol. Para ello, se emplearon desechos de cocina recolectados del comedor universitario, los cuales fueron molidos (100 g) y sometidos a un pretratamiento con ácido clorhídrico al 0,1% (v/v) durante dos horas a 60°C en baño María. En la etapa de hidrólisis se utilizaron las enzimas -amilasa (0,005 g), glucoamilasa (0,25 ml) y celulasa (0,25 ml), manteniendo la temperatura a 65°C. El pH se ajustó a 4,5 mediante ácido clorhídrico (3M) e hidróxido de sodio (6M), manteniéndose la mezcla durante dos horas con agitación constante a 1000 rpm para asegurar la homogeneidad entre las enzimas y el sustrato. Una vez completado el pretratamiento, la mezcla se enfrió a temperatura ambiente para iniciar la fermentación.

La fermentación se llevó a cabo en un recipiente de vidrio cilíndrico de 500 mL, al que se añadieron 250 mL del sustrato tratado, utilizando un agitador magnético a 600 rpm durante 24, 48 y 72 horas, a temperaturas de 30, 32 y 34°C. Se evaluaron distintas concentraciones de levadura (5%, 8% y 10%), agregando 50 mL del volumen correspondiente (v/v) a cada ensayo. Para la determinación del porcentaje de etanol, se destilaron 300 mL del concentrado fermentado, cuantificándose el volumen mediante picnómetro. Los resultados, junto con el análisis de varianza (ANOVA) de los factores estudiados, demostraron que tanto el tiempo de fermentación como la cantidad de levadura influyen significativamente en la concentración de etanol obtenida a partir de residuos sólidos orgánicos hidrolizados. Las condiciones óptimas determinadas fueron 48 horas de fermentación, 10% de levadura y 30 °C de temperatura, alcanzándose una concentración promedio de etanol del 12,2%. Asimismo, se observó que la temperatura, de manera individual, no presentó un efecto significativo sobre la

concentración de etanol; sin embargo, la interacción entre temperatura y cantidad de levadura sí mostró una influencia relevante. En conclusión, los parámetros óptimos para maximizar la producción de etanol fueron 48 horas de fermentación, 10% de levadura y 30°C como temperatura ideal.

García et al. (2024) desarrollaron la investigación titulada “*Efecto de la agitación de una fermentación alcohólica por Pichia fermentans (PF) mediante modelado mecanicista*”, con el objeto de describir la dinámica de producción de etanol a través de la formulación de un modelo matemático basado en ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO). El método consistió en analizar la cinética de crecimiento de la levadura en tres variables fundamentales: biomasa  $x(t)$ , concentración de sustrato  $y(t)$  y producción de etanol  $z(t)$ , con datos proporcionados por el Laboratorio de Biotecnología Microbiana (UPIDET). El medio de fermentación se elaboró a base de glucosa, y los inóculos se prepararon en medio Yeast Peptone Dextrose (YDP) en caja Petri, incubadas durante 12 horas a 28°C, con una concentración inicial de  $1 \times 10^8$  células/mL viables de *Pichia fermentans* conservadas posteriormente a -70°C. El conteo de células se realizó con una cámara Neubauer mediante microscopía, obteniendo pellets de  $1 \times 10^6$  células/mL. Las muestras de fermentación fueron analizadas por espectrofotometría a una longitud de onda de 600 nm, realizándose el proceso por duplicado con una concentración de 35 g/L de sustrato y diferentes velocidades de agitación (100, 125 y 150 rpm). Para cuantificar la concentración de glucosa, las muestras fueron analizadas por HPLC.

El modelo mecanicista propuesto describió la dinámica de la fermentación alcohólica considerando la influencia de la velocidad de agitación sobre el comportamiento de la levadura *pichia fermentans*. Dicho modelo se basó en un sistema de tres ecuaciones diferenciales:  $\dot{x} = x_1 - x_2 z$ ,  $\dot{y} = -x_3 y - x_4 y$ ,  $\dot{z} = x_5 y + x_6 z (1 - x_7 z)$ , donde:  $x(t)$  representa la biomasa (levadura),  $y(t)$  el sustrato (glucosa),  $z(t)$  el producto (etanol), todos expresados en g/L, y el tiempo en horas. Los parámetros  $x_1$  a  $x_7$ , fueron estimados utilizando el software Eureqa, basado en algoritmos genéticos, que permitió definir la ecuación del parámetro  $x_1$  como:  $x_1 = 0,0107r - 0,5457 - 1,4787^{-5}ry_0 -$

$4,0181^{-5}r^2$ , donde  $r$  representa la velocidad de agitación y  $y_0$  la concentración inicial de sustrato, crecimiento de biomasa.

Los resultados demostraron que la velocidad de agitación influye significativamente en la fermentación alcohólica con *Pichia fermentans*, al favorecer la distribución homogénea de los nutrientes y mejorar la tasa de crecimiento celular. El parámetro correspondiente a la tasa máxima de crecimiento de la biomasa ( ) alcanzó su valor más alto a una velocidad intermedia de 125 rpm, lo que se tradujo en una mayor producción de etanol. Sin embargo, también se observó una inhibición del crecimiento de biomasa a causa de la acumulación de etanol hacia las etapas finales del proceso.

Briceño (2023), en investigación sobre la “*caracterización del producto de fermentación del nopal (Opuntia spp.) bajo diferentes condiciones de fermentación*”, tuvo como objetivo analizar la metodología de fermentación en estado sólido y semisólido del nopal, con el fin de identificar posibles cambios en su composición proximal.

Para ello, se aplicaron dos técnicas de mezclado combinadas con dos tipos de fermentación, generando un total de cuatro tratamientos, cada uno por triplicado, bajo un diseño completamente aleatorizado. Se utilizó nopal de descarte picado como sustrato, suplementado con urea y sulfato de amonio para favorecer el desarrollo de levaduras. Se realizaron tres pruebas orientadas a incrementar el contenido proteico del nopal y reducir los costos del proceso, con un tiempo aproximado de fermentación de 24 horas. Uno de los ensayos consistió en comparar fermentaciones con y sin agitación, utilizando 1 kg de sustrato, suplementado con 0,1% de sulfato de amonio y 1% de urea, inoculado con levadura al 1% (m/m). Cada tratamiento se replicó tres veces y se efectuó un análisis químico proximal. Para la comparación de resultados se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con pruebas de  $t$  de Student o Tukey, considerando un nivel de significancia de 0,05.

Los resultados mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos con y sin agitación, lo que

sugiere que la agitación no es indispensable. Esto simplificaría el proceso de fermentación y reduciría los costos de implementación, aunque se recomienda confirmar estos hallazgos al escalar el volumen del proceso.

López y Merino (2024), en su investigación del “*efecto de la temperatura, el pH y la concentración de la levadura en la fermentación alcohólica de cáscara de naranja para la obtención de bioetanol*”, buscaron establecer los parámetros más adecuados para la producción de alcohol, empleando un diseño factorial 2<sup>3</sup>, dos niveles y tres variables. El procedimiento consistió en eliminar la lignina de la cáscara de naranja mediante lavado con hipoclorito de sodio al 2,5% por 30 minutos, seguido de una hidrólisis de 5 g de cáscara seca y molida, a la que se añadió 4 mL de ácido clorhídrico a 1M, manteniéndose en una estufa a 90°C por 30 minutos. Luego de enfriado, la muestra se disolvió en 20 mL de agua destilada y se filtró para su fermentación, adicionando *S. cerevisiae*, glucosa, peptona, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub> y MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, con un pH entre 4,5 y 5,5, temperatura entre 30°C y 35°C y con agitación de 130 rpm por 96 horas. El sobrenadante alcohólico se obtuvo por decantación y filtrado, seguido de destilación de 100 mL a 78°C por 3 horas.

Los resultados indicaron que la temperatura tuvo una significancia de  $p < 0,05$ , es decir, no presentó una influencia significativa sobre los grados de alcohol obtenidos; de igual forma, el pH no mostró influencia significativa ( $p > 0,05$ ). En cambio, la concentración de levadura, al incrementarse de 10 g/L a 20 g/L, tuvo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) en los grados de alcohol del bioetanol, aumentando de 8,73% a 10,63%.

El estudio concluye que las variaciones de temperatura y pH no influyen significativamente en el grado alcohólico del bioetanol, mientras que la concentración de levadura sí afecta de manera significativa el grado de alcohol, el volumen y el rendimiento del producto, aunque no su densidad.

## 2. MARCO CONCEPTUAL.

### 2.1. LA CHICHA DE JORA.

La chicha de jora es una de las bebidas más consumidas durante las fiestas patronales de la sierra peruana; sin embargo, también se elabora y consume en la costa, principalmente en el norte del país. Según ADEX (2009), la chicha de jora es una bebida alcohólica, originaria del Perú, elaborada a partir de la fermentación del mosto de maíz. En este proceso, se activa la microflora presente en el entorno, responsable de llevar a cabo la fermentación. De esta manera, la chicha de jora es identificada y reconocida como un producto nacional.

Su elaboración es relativamente sencilla, presentando solo ligeras variaciones en los aditivos secundarios, las cuales dependen de la zona o región donde se produce. Los ingredientes básicos empleados en su preparación son la jora (maíz germinado), harina de cebada, la harina de habas y chancaca o azúcar rubia. El proceso tradicional consiste en hervir la jora y las harinas durante dos o tres horas en una olla; luego la mezcla se cuela y se vierte en cántaros (recipiente de barro), donde se añade la chancaca o azúcar. Posteriormente, se tapa y se deja fermentar durante aproximadamente una semana (Mimbela, 2018). De esta forma, la chicha de jora se elabora artesanalmente en diversas regiones del país.

Para pasar de una producción artesanal a una elaboración semiindustrial o industrial de la chicha de jora, es necesario considerar aspectos relacionados con la uniformidad del proceso y el control de los materiales y medios de procesamiento. En la optimización de los medios de cultivo de levadura para la fermentación, deben tenerse en cuenta factores como el tipo y la calidad de nutrientes, el uso de medios de cultivo adecuados que eviten la presencia de inhibidores del crecimiento, así como información sobre los coeficientes de rendimiento y el control de actividades o agentes inhibidores (Ertola et al., 2006). Tradicionalmente, el nutriente empleado en la elaboración de la chicha de jora es el maíz, utilizado en una fermentación espontánea y sin control de temperatura y mezclado.

La forma más práctica de mejorar el proceso consiste en realizar ensayos y experimentaciones en los que se modifique uno de los factores de producción, manteniendo inalterados los demás insumos y condiciones del proceso.

## **2.2. MAÍZ JORA.**

Se denomina maíz jora a la malta de maíz, producto que se obtiene mediante un proceso similar al malteado de la cebada, utilizado tradicionalmente en la elaboración de cervezas y bebidas fermentadas. De acuerdo con De Florio, (2019), el maíz seco, con un contenido de humedad entre 12 a 13%, se somete a un proceso de remojo, germinado y secado hasta alcanzar un nivel de humedad final de entre 3 y 4%. Posteriormente, los granos son tostados ligeramente, lo que permite desarrollar aromas y sabores característicos, además de contribuir a la conservación del producto. Una vez tostado, el maíz se muele y se almacena adecuadamente para su posterior utilización en la producción de chicha de jora.

El tipo de maíz empleado para la obtención de jora varía según la región de procedencia. En las zonas costeras del Perú, se utiliza con mayor frecuencia el maíz amiláceo, mientras que en las zonas altoandinas, predominan, predominan el uso del maíz colorado (Ara et al., 2018). Esta diferencia en las variedades de maíz influye en las propiedades organolépticas, fisicoquímicas y fermentativas del producto final, aportando matices propios a la bebida tradicional.

La jora ha sido empleada por el poblador andino desde épocas prehispánicas, constituyéndose en un insumo esencial dentro de la cultura alimentaria del antiguo Perú. En la actualidad, el conocimiento ancestral sobre la germinación y el malteado del maíz continúa vigente, siendo transmitido de generación en generación y conservando su importancia como base para la elaboración de la tradicional chicha de jora.

## **2.3. TEORÍA DE LA FERMENTACIÓN.**

La fermentación es un proceso microbiológico aprovechado por el ser humano desde tiempos muy antiguos, desde los inicios de las

civilizaciones, para la elaboración de productos como el pan, la cerveza, el vino, entre otros. Según Alvarado-Ortíz y Blanco (2011), la fermentación es producida por microorganismos como son las bacterias y los hongos, los cuales han sido utilizados desde miles de años para obtener productos beneficiosos para el hombre. Las evidencias arqueológicas halladas en Mesopotamia y Egipto (6000 a. C.), así como en América Latina (2000 a. C.), confirman la existencia de prácticas rudimentarias de fermentación, demostrando que este proceso estuvo presente en todas las culturas importantes del mundo antiguo.

La fermentación ocurre de manera natural por acción microbiana, a través de la descomposición de sustratos de origen vegetal o animal. Este proceso puede ser aeróbico o anaeróbico, dependiendo de las características del microorganismo. Gava (1998) explica que, en la fermentación aeróbica, el microorganismo, al respirar, descompone el compuesto orgánico hasta dióxido de carbono y agua, generando una cantidad mayor de energía (ATP); mientras que, en la fermentación anaeróbica, la descomposición es parcial, produciendo alcohol, ácidos, u otra sustancia, además de dióxido de carbono, con una formación de energía menor que en el proceso aeróbico. Esto demuestra que los productos obtenidos en la fermentación dependen del tipo de microorganismo que actúa, así como del tipo y cantidad de sustrato disponible.

En la elaboración de chicha de jora, la fermentación se produce por generación espontánea, a diferencia de la cerveza, cuya fermentación es inducida mediante inóculo de levaduras seleccionadas. Según Muñoz (2012), el proceso fermentativo industrial se inicia con la elección de un agente biológico apropiado para la transformación de la materia prima bajo condiciones controladas de temperatura, aireación y pH, culminando con la separación y purificación del producto final. Además, se debe elegir un sustrato económico y de fácil control para garantizar la rentabilidad del proceso. En este sentido, se reconoce que la chicha de jora es fermentada

principalmente por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, aunque también intervienen otras especies propias de la flora microbiana del mosto.

## **2.4. BEBIDA FERMENTADA.**

A lo largo de la historia, prácticamente todas las culturas del mundo descubrieron y aprovecharon el proceso de fermentación para desarrollar algún tipo de bebida alcohólica, utilizando los recursos e insumos disponibles en su entorno, tales como frutas, semillas, raíces, hojas u otros productos vegetales (Muñoz, 2012). Este conocimiento empírico, transmitido de generación en generación, permitió que cada región adaptara la fermentación a sus condiciones geográficas y culturales, dando origen a una amplia diversidad de bebidas tradicionales. En el caso del Perú, los antiguos pobladores andinos emplearon principalmente los granos de maíz para elaborar una bebida fermentada que, con el paso del tiempo, se consolidó como una de las expresiones más representativas de la cultura nacional: la chicha de jora.

El proceso fermentativo que caracteriza a estas bebidas depende fundamentalmente de la actividad de microorganismos, entre los cuales destacan las levaduras, que transforman los azúcares simples en etanol y dióxido de carbono. En particular, la especie *Saccharomyces cerevisiae* es la principal responsable de producir el etanol durante la fermentación alcohólica. Sin embargo, esta levadura no posee la capacidad de hidrolizar el almidón presente en los granos de maíz, por lo que se requiere de la acción previa de enzimas amilasas para convertir el almidón en azúcares fermentables. Dichas enzimas se obtienen durante el malteado de maíz (proceso que da origen a la jora), en el cual la germinación induce la síntesis de amilasas que degradan el almidón en glucosa, la cual posteriormente es metabolizada por la levadura para generar etanol y compuestos secundarios aromáticos (Páez, 2010).

De este modo, la bebida fermentada tradicional conocida como chicha de jora constituye un claro ejemplo de cómo el conocimiento ancestral sobre los procesos biotecnológicos ha sido aplicado de manera empírica, logrando transformar un cereal básico en un producto de gran valor

cultural, nutritivo y simbólico. Su elaboración integra principios fundamentales de la fermentación alcohólica, combinando el saber tradicional con mecanismos naturales de transformación bioquímica que hoy son objeto de interés científico y tecnológico.

## **2.5. FERMENTACIÓN DE CHICHA DE JORA.**

La elaboración de chicha de jora se caracteriza por ser un proceso artesanal, transmitido de generación en generación y conservado como parte del patrimonio cultural de las comunidades andinas. En este procedimiento, la jora (maíz malteado) es hervida y macerada, para luego ser trasvasada a un cántaro o recipiente de barro, el cual se tapa y almacena durante varios días para permitir la fermentación. En su preparación tradicional no se adiciona levadura de forma directa, motivo por el cual el proceso se considera de fermentación espontánea. Sin embargo, como señala Muños (2012), en realidad se aprovecha la levadura acumulada en las paredes internas del cántaro o cuba, la cual proviene de fermentaciones previas y actúa como inóculo natural, dando continuidad al proceso biológico.

Durante la fermentación de la chicha de jora interviene una diversidad de microorganismos, entre los que destacan principalmente las levaduras, responsables de la producción del alcohol etílico. No obstante, la composición microbiana de fermento puede variar según las condiciones ambientales, el tipo de recipiente, la materia prima y la región de elaboración. De allí la importancia de identificar con precisión el género y la especie microbiana que participa en la fermentación, ya que ello determina las características sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas del producto final.

En este contexto, investigaciones como las realizadas por Barbosa et al. (2018) aportan evidencia relevante. Dichos autores analizaron 42 muestras de chichas tradicionales provenientes de distintas regiones del Ecuador: 34 correspondieron a chicha de jora, mientras que las restantes incluyeron variedades elaboradas con yuca, siete semillas y morocho. A partir del aislamiento y análisis microbiológico de estas muestras, se identificó que

en 33 de las 42 muestras, la especie *Saccharomyces cerevisiae* fue la más prevalente. Este hallazgo confirma el papel predominante de esta levadura en los procesos fermentativos tradicionales de bebidas a base de maíz.

Por tanto, se puede afirmar que, para avanzar hacia una producción semiindustrial o industrial de la chicha de jora, es recomendable inocular el mosto de jora con cepas seleccionadas de *S. cerevisiae*, con el propósito de estandarizar la fermentación, mejorar el control del proceso y garantizar una bebida constante, sin perder las propiedades sensoriales y culturales que la caracterizan.

## 2.6. CINÉTICA DE LA FERMENTACIÓN.

La cinética de la fermentación alcohólica se refiere al estudio de la velocidad de reacción y componentes involucrados, biomasa, sustrato y producto, los cuales varían en el tiempo a medida que avanza el proceso. Según Ertola et al. (2006), cuando se cultivan microorganismos en un medio adecuado, las células se multiplican utilizando los nutrientes disponibles. Este crecimiento continúa hasta que el nutriente limitante se agota o hasta que se acumulan sustancias inhibidoras generadas por los propios microorganismos, provocando la detención del crecimiento celular.

Si se designa con  $X$  a la concentración de biomasa, y considerando la naturaleza autocatalítica del crecimiento microbiano, dicha concentración influye directamente en la velocidad de incremento de la población, representada por  $r_x$ . Así, se tiene la relación:

$$r_x = \mu X \dots \quad (1)$$

donde  $\mu$  representa la velocidad específica de crecimiento, la cual depende, según el tipo de microorganismo, de factores como la composición del medio de cultivo, la concentración de nutrientes, la presencia de inhibidores, la temperatura y el pH. Esta velocidad específica está descrita por la ecuación de Monod, que establece su relación con la concentración del sustrato disponible en el medio.

$$\mu = \mu_m [S / (K_s + S)] \dots \quad (2)$$

En esta ecuación, **S** representa la concentración del sustrato limitante,  $\mu_m$  es la velocidad específica máxima de crecimiento y **K<sub>s</sub>** corresponde a la constante de saturación, la cual tiene una relación inversa con la afinidad del microorganismo hacia el sustrato. Cuando la concentración de **S** es considerablemente mayor que **K<sub>s</sub>**, el valor de  $\mu$  tiende a aproximarse a  $\mu_m$ , dependiendo únicamente de **X**.

En términos generales, los valores de **K<sub>s</sub>** suelen ser muy bajos, normalmente en el rango de miligramos por litro (mg/L), lo que indica que concentraciones relativamente pequeñas de sustrato bastan para que  $\mu$  alcance su valor máximo ( $\mu_m$ ). En promedio, las bacterias presentan valores de  $\mu_m$  cercanos a 0,9 h<sup>-1</sup>, las levaduras alrededor de 0,45 h<sup>-1</sup> y los hongos filamentosos aproximadamente 0,25 h<sup>-1</sup>. Sin embargo, es importante tener en cuenta que  $\mu_m$  debe determinarse experimentalmente para cada situación particular (Ertola et al., 2006, p. 49).

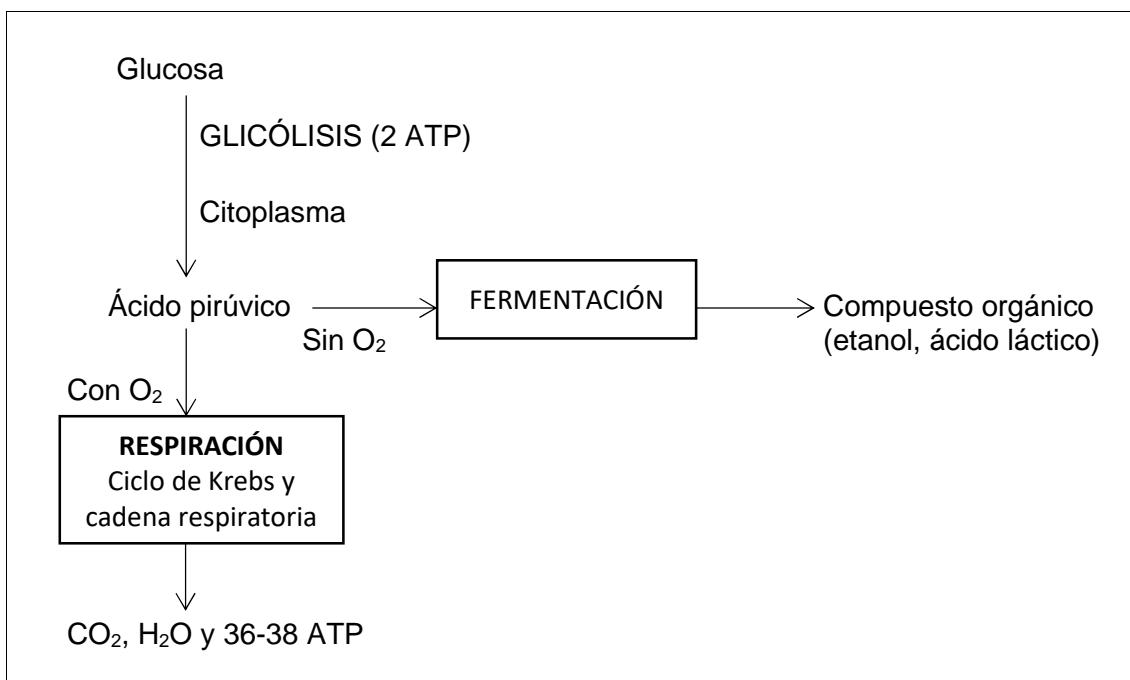
Las reacciones fermentativas ocurren en el interior de las células microbianas y dependen de la acción de enzimas específicas que actúan como catalizadores biológicos, mientras que los microorganismos desempeñan el papel de reactores vivos, responsables de transformar los sustratos en productos mediante su metabolismo.

## 2.7. REACCIONES BIOQUÍMICAS EN EL PROCESO.

Los microorganismos y las células realizan continuamente un conjunto de transformaciones químicas conocidas como metabolismo, con el fin de cumplir funciones biológicas y mantener su crecimiento. Este metabolismo comprende dos fases complementarias: el anabolismo, que corresponde a los procesos de síntesis de moléculas complejas a partir de compuestos simples, y el catabolismo, que consiste en la degradación de sustancias orgánicas para liberar energía.

Dentro de las rutas del proceso catabólico, la respiración y la fermentación constituyen los mecanismos principales de obtención de energía. La cantidad de ATP generada, así como los productos finales formados,

dependen en gran medida de si la oxidación de la materia orgánica ha sido completa o incompleta, tal como se observa en la figura 1.



**Figura 1:** Respiración y fermentación.

Nota. Datos tomados de Muñoz, 2012. Biotecnología.

Durante estos procesos, la glucosa se transforma inicialmente en azúcares muy simples o piruvato. En condiciones aeróbicas, el piruvato ingresa al ciclo de Krebs, donde, mediante la fosforilación oxidativa, se convierte finalmente en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), liberando una gran cantidad de energía en forma de ATP. En cambio, bajo condiciones anaeróbicas, el piruvato se reduce y da origen a la fermentación, proceso en el cual se generan productos orgánicos como etanol, ácido láctico, ácido acético, cetona, butanol, glicerol, entre otros, dependiendo del tipo de microorganismo involucrado (Muñoz, 2012).

A continuación, se presentan los principales tipos de reacciones bioquímicas involucradas en estos procesos:

#### *Respiración Aeróbica*

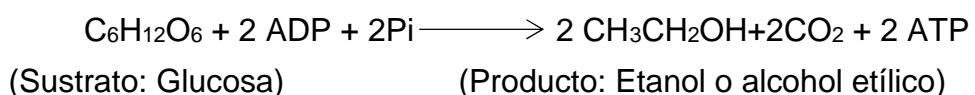
En este proceso, la glucosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) reacciona en presencia de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) con 38 moléculas de ADP y fosfato inorgánico ( $\text{Pi}$ ), para producir

dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y 38 moléculas de ATP, que representan la energía liberada durante la oxidación completa del sustrato:



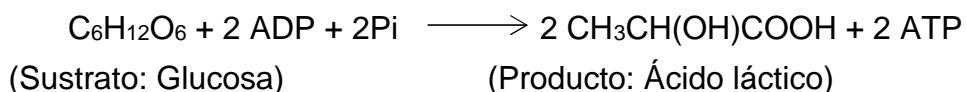
#### *Fermentación alcohólica*

Este tipo de fermentación, llevada a cabo principalmente por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y algunas bacterias, transforman la glucosa en etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), generando simultáneamente dos moléculas de ATP:



#### *Fermentación láctica*

En la fermentación láctica, realizada por bacterias como *Streptococcus* y *Lactobacillus*, la glucosa se convierte en ácido láctico ( $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ ), produciendo también dos moléculas de ATP. Este tipo de fermentación es característico de la maduración de productos lácteos y de ciertos alimentos vegetales:



### **2.8. Biorreactores.**

Los biorreactores son equipos especializados diseñados para llevar a cabo procesos de fermentación bajo condiciones controladas, con el objetivo de propiciar el crecimiento y desarrollo óptimo de microorganismos o células específicas. Su finalidad es obtener biomasa o un metabolito de interés (como enzimas, ácidos orgánicos, alcoholes, vitaminas o polímeros), que resulta del metabolismo microbiano en condiciones adecuadas.

Estos sistemas permiten mantener un control preciso de los parámetros físico-químicos del medio de cultivo, tales como temperatura, pH, agitación, aireación, presión y concentración de nutrientes, asegurando así un entorno estable y homogéneo. De esta manera, los biorreactores

garantizan que las reacciones bioquímicas ocurran de forma eficiente y reproducible, evitando fluctuaciones que puedan alterar el rendimiento o la calidad del producto final (Doran, 1998).

Estructuralmente, los biorreactores suelen tener la forma de tanques cilíndricos verticales fabricados en acero inoxidable u otros materiales inocuos, equipados con sistemas automáticos de monitoreo y control. Estos sistemas incluyen sensores de pH, temperatura y oxígeno disuelto, además de mecanismos de agitación y aireación que aseguran la adecuada mezcla del sustrato y la distribución uniforme de los nutrientes y del oxígeno en el medio.

En función de la escala y el tipo de operación, los biorreactores pueden clasificarse en diferentes categorías:

- De laboratorio o piloto, empleados para estudios experimentales y de optimización de procesos.
- Semiindustriales, utilizados para el escalamiento de la producción antes de su implementación comercial.
- Industriales, destinados a la producción masiva de metabolitos o biomasa a gran escala.

Asimismo, los biorreactores pueden operar bajo distintos modos de funcionamiento, según las necesidades del proceso:

- En modo discontinuo o por lotes, donde todo el sustrato se introduce al inicio y la fermentación se realiza hasta agotar los nutrientes.
- En modo continuo, donde existe un suministro constante de sustrato y una extracción simultánea de producto, lo cual permite mantener un cultivo estable en el tiempo.
- En modo fed-batch o semicontinuo, una variante intermedia en la que se adiciona sustrato progresivamente sin retirar el medio, para prolongar la fase productiva del microorganismo.

El diseño y selección del biorreactor dependen principalmente del tipo de microorganismos, del sustrato utilizado y del producto deseado. En el caso de las fermentaciones tradicionales, como la chicha de jora o las bebidas

fermentadas a base de tuna o maíz, la adaptación de estos principios permite mejorar la calidad, seguridad y estandarización del proceso, favoreciendo una producción más eficiente y controlada.

## **2.9. CALIDAD DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS.**

La calidad de las bebidas alcohólicas constituye un aspecto fundamental en su elaboración, comercialización y aceptación por parte del consumidor. Su evaluación implica la determinación del contenido alcohólico, así como la identificación y cuantificación de los compuestos volátiles presentes, los cuales definen las propiedades sensoriales y la autenticidad del producto final. Estos parámetros son esenciales para garantizar la uniformidad, pureza y seguridad de las bebidas, además de permitir la trazabilidad de su origen y su correcta clasificación comercial.

Una bebida alcohólica se define como aquella que contiene etanol (alcohol etílico) en proporciones que varían aproximadamente entre 2% y 55% v/v, dependiendo del tipo de producto y del proceso de fermentación o destilación empleado. Sin embargo, además del etanol, estas bebidas contienen una amplia gama de compuestos secundarios y volátiles, tales como aldehídos, ésteres, metanol, alcoholes superiores, ácidos orgánicos y cetonas, que en conjunto determinan las características aromáticas, gustativas y sanitarias de la bebida (Microlab, 2019).

La presencia de estos compuestos debe encontrarse dentro de rangos controlados, ya que su exceso puede generar sabores indeseables o incluso efectos tóxicos. Por ejemplo, concentraciones elevadas de metanol o de alcoholes superiores afectan negativamente la calidad sensorial y representan un riesgo para la salud. Por el contrario, una adecuada proporción de ésteres y aldehídos aromáticos contribuye al bouquet característico de las bebidas fermentadas, otorgándoles complejidad y distinción.

El control de calidad en bebidas alcohólicas incluye análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales. Entre los parámetros más relevantes se encuentran el grado alcohólico, pH, densidad, acidez total y volátil,

contenido de azúcares reductores y la determinación cromatográfica de compuestos volátiles. Estos estudios permiten no solo garantizar la calidad y seguridad del producto, sino también diferenciar variedades, tipos y marcas en el mercado.

En el caso de las bebidas tradicionales fermentadas, como la chicha de jora, la estandarización de los parámetros de calidad representa un desafío, pues su elaboración artesanal genera variaciones en la composición. Por ello, la aplicación de métodos analíticos precisos y controles tecnológicos durante el proceso fermentativo resulta esencial para obtener productos consistentes, inocuos y con identidad cultural preservada.

## **2.10. CALIDAD DE BEBIDAS FERMENTADAS.**

La calidad de las bebidas fermentadas está determinada por una combinación de factores fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, los cuales influyen directamente en su aceptabilidad, estabilidad y seguridad para el consumo humano. En el caso de las bebidas alcohólicas, además de la inocuidad sanitaria, deben considerarse parámetros como el grado alcohólico, el tipo de alcohol formado, la presencia de compuestos secundarios y las condiciones del proceso fermentativo (INACAL, 2016).

Las bebidas fermentadas, como la cerveza o el vino, son el resultado de procesos de fermentación controlada, donde se seleccionan y regulan las condiciones de los microorganismos, la temperatura, el pH y el tiempo de fermentación para obtener productos estables y de calidad uniforme. En contraste, la chicha de jora, al ser una bebida artesanal y ancestral, se produce mediante una fermentación espontánea, sin control riguroso de los factores mencionados. Esta falta de estandarización puede ocasionar variaciones significativas en su composición química y microbiológica, afectando su calidad e incluso generando riesgos potenciales para la salud si aparecen metabolitos no deseados o microorganismos contaminantes.

Evaluar la calidad de una bebida fermentada implica realizar análisis fisicoquímicos que permitan determinar parámetros como el contenido de

sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix), densidad, viscosidad, pH, acidez total y volátil, entre otros (DGAPA, 2015). Estos indicadores permiten establecer si la bebida alcohólica se encuentra dentro de los rangos aceptables de calidad y, por tanto, si es apta para el consumo y conforme a los estándares normativos. Asimismo, las características sensoriales, color, aroma, sabor y cuerpo, desempeñan un papel fundamental en la aceptación del consumidor. En este aspecto, el análisis de compuestos volátiles resulta esencial, pues dichos compuestos determinan tanto el perfil organoléptico como la calidad sanitaria de la bebida (Microlab, 2019). Sustancias como los ésteres, aldehídos, alcoholes superiores y ácidos orgánicos contribuyen de manera decisiva al aroma y sabor característico del producto.

Finalmente, la calidad de las bebidas fermentadas no depende únicamente del contenido alcohólico, sino del equilibrio entre los factores tecnológicos, microbiológicos y sensoriales que intervienen en su producción. En el caso de la chicha de jora, el desafío radica en preservar su identidad tradicional, a la vez que se introducen métodos de control y análisis que garanticen un producto inocuo, estandarizado y con características sensoriales aceptables para el consumidor actual.

## **2.11. PRUEBA DE ANÁLISIS DE BEBIDAS FERMENTADAS.**

Para determinar la calidad de las bebidas fermentadas, se aplican diversas pruebas físico-químicas que permiten evaluar sus propiedades y el grado de control alcanzado durante la fermentación. Estas pruebas contribuyen a establecer parámetros de calidad, estabilidad e inocuidad del producto final (DGAPA, s. f.). A continuación, se describen los principales análisis utilizados para este propósito.

### **2.11.1. Grados Brix.**

El contenido de sólidos solubles totales en una bebida se expresa en grados ( $^{\circ}$ Brix), los cuales representan el porcentaje de sacarosa disuelta en la solución. El instrumento utilizado para su determinación es el brixómetro o refractómetro, el cual mide no solo la cantidad de azúcares, sino también la presencia de sales, ácidos y otros

compuestos solubles que contribuyen al sabor y cuerpo de la bebida. En las bebidas fermentadas, esta medida permite estimar el contenido inicial de azúcares fermentables y controlar la eficiencia del proceso fermentativo.

#### **2.11.2. Densidad.**

La densidad es un parámetro útil para verificar el grado de fermentación alcanzado. Este valor se relaciona directamente con la conversión del azúcar en alcohol y dióxido de carbono durante el proceso fermentativo. En general, una disminución en la densidad indica un avance en la fermentación, ya que el azúcar (de mayor densidad) se transforma en etanol (de menor densidad). Por ello, la comparación entre la densidad inicial y final permite estimar la eficiencia del proceso y el grado alcohólico potencial.

#### **2.11.3. Viscosidad.**

La viscosidad se asocia con la resistencia al flujo de una bebida y depende de la fuerza de cohesión de los compuestos disueltos, principalmente pentosas, beta-glucanos y fibras solubles. Una viscosidad elevada puede causar dificultades en la filtración, alterar la claridad del producto y reducir su vida útil en anaquel.

Según DGAPA (s. f.), “una alta viscosidad es indeseable porque causa problemas en la filtración y almacenamiento de las bebidas”. Por ello, mantener valores adecuados de viscosidad es fundamental para asegurar una textura y apariencia óptimas en las bebidas fermentadas.

#### **2.11.4. pH.**

El pH es un indicador esencial en el control de calidad de las bebidas fermentadas, ya que influye directamente en la maduración, estabilidad microbiológica y características sensoriales del producto final. El control del pH permite reducir el tiempo de maduración y filtración, mejorar el rendimiento, evitar la pardiación no enzimática durante la cocción y favorecer una formación adecuada de espuma.

Además, su monitoreo puede alertar sobre posibles defectos de calidad, como procesos de sulfuración o contaminación microbiana. Un rango de pH apropiado garantiza la estabilidad, sabor y seguridad de la bebida.

#### **2.11.5. Acidez.**

La acidez total de una bebida se determina por la cantidad de ácidos orgánicos generados por la acción metabólica de las levaduras y bacterias durante la fermentación. Este parámetro se emplea como indicador del vigor fermentativo y del grado de madurez del producto. En general, las bebidas fermentadas presentan una acidez cercana al 0,3% expresada como ácido láctico; niveles superiores pueden modificar el sabor, reducir la estabilidad de la espuma y afectar la aceptabilidad sensorial. La acidez, por tanto, es un criterio clave para asegurar la armonía sensorial y la calidad tecnológica del producto.

#### **2.11.6. Grado alcohólico.**

El grado alcohólico corresponde a la proporción entre el volumen de alcohol etílico puro presente en una bebida y el volumen total de la misma, medidos a una temperatura de 20 °C. En las bebidas fermentadas, esta graduación suele oscilar entre 5% y 15% v/v, dependiendo del tipo de materia prima y la duración de la fermentación.

La determinación del contenido alcohólico se realiza mediante destilación simple del producto y la posterior medición de la densidad del destilado con un picnómetro. Este análisis permite verificar la calidad del producto, garantizar el cumplimiento normativo y ofrecer al consumidor información confiable sobre su contenido de alcohol, lo cual resulta fundamental para la seguridad y control de consumo responsable.

### **2.12. PARÁMETROS QUE AFECTAN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN.**

El comportamiento de un microorganismo en crecimiento es el resultado de la interacción entre este y su entorno (Pallares, 2006). La fermentación se

define como el desarrollo controlado de determinados microorganismos, como bacterias, hongos y levaduras, mediante el establecimiento de condiciones adecuadas de temperatura, pH, actividad de agua, disponibilidad de oxígeno y aporte de micro y macronutrientes. Durante este proceso se generan más de 800 metabolitos en pequeñas cantidades (Shirai y Malpica, 2013).

El concepto de fermentación fue introducido por Louis Pasteur en 1860, quien la describió como “vida sin aire” (Badui, 2012). Un mismo microorganismo puede emplear diferentes rutas bioquímicas dependiendo de las condiciones en que se lleve a cabo la fermentación. Dichas condiciones constituyen los parámetros o factores de control que deben regularse para obtener los resultados deseados.

#### **2.12.1. Tipo y concentración del sustrato.**

La velocidad de crecimiento microbiano durante la fermentación está determinada por la calidad y cantidad de los nutrientes disueltos en el medio, los cuales deben aportar todos los elementos químicos esenciales requeridos por los microorganismos, como carbono, nitrógeno, hidrógeno, azufre e iones inorgánicos, entre otros. Estos nutrientes son indispensables tanto para la biosíntesis de los componentes celulares como para la obtención de la energía necesaria para su metabolismo, siendo igualmente relevante la concentración en la que se encuentren presentes (Cerra et al., 2013).

La cantidad óptima de cada nutriente permite alcanzar la máxima tasa de crecimiento bajo condiciones específicas. No obstante, la actividad de fermentación disminuye cuando la disponibilidad del sustrato principal, generalmente los azúcares, alcanza una concentración limitante, observándose en ese momento una reducción notable en la liberación de burbujas (Shirai y Malpica, 2013).

#### **2.12.2. Aireación.**

Según Carbonero (1975), en las etapas iniciales del crecimiento del inóculo, la producción de etanol tiende a ser similar en la mayoría de

los procesos fermentativos. Sin embargo, el producto final puede variar dependiendo de si se activa o no el mecanismo de control metabólico denominado *efecto Pasteur*, el cual inhibe la fermentación en condiciones aeróbicas.

El cultivo inicia con la inoculación de la levadura; en esta fase predomina el metabolismo aeróbico gracias al oxígeno disuelto en el mosto. Una vez agotado este gas, el sistema transita hacia un metabolismo anaeróbico, que se ve favorecido por la saturación del medio con el dióxido de carbono generado. A partir de este momento se desarrolla la fermentación alcohólica primaria o tumultuosa (Shirai y Malpica, 2013).

En este proceso, el piruvato puede seguir dos rutas distintas. Bajo condiciones aeróbicas y de crecimiento óptimo de la levadura, se descarboxila oxidativamente para formar acetil-coenzima A, la cual ingresa al ciclo de Krebs. En cambio, bajo condiciones anaeróbicas y con altas concentraciones iniciales de azúcares (10-19%, p/v) y fosfatos, el piruvato se descarboxila de manera no oxidativa para generar acetaldehído, que posteriormente se reduce a etanol (Carbonero, 1975).

#### **2.12.3. Actividad de agua ( $a_w$ ).**

Para su desarrollo, las levaduras requieren la presencia de agua en su entorno. La disponibilidad de agua en un medio está determinada por el efecto osmótico originado por la interacción entre los solutos y la capacidad de adsorción de las superficies sólidas (Cerra et al., 2013).

La actividad de agua ( $a_w$ ) se relaciona de forma inversa con la presión osmótica: a mayor presión osmótica, menor será la actividad de agua. En general, las levaduras presentan un valor óptimo de  $a_w$  superior a 0,87. Variaciones significativas en este parámetro pueden afectar negativamente su tasa de crecimiento, la composición celular y el desempeño de sus funciones metabólicas.

#### **2.12.4. Temperatura.**

La temperatura de cultivo constituye uno de los principales factores que influyen en la cinética de la fermentación alcohólica, afectando tanto el rendimiento y velocidad de producción de etanol como la formación de compuestos aromatizantes, entre ellos los alcoholes superiores y los ésteres (Shirai y Malpica, 2013).

Cada microorganismo presenta una temperatura óptima que permite alcanzar la máxima velocidad de crecimiento. Sin embargo, las levaduras pueden seguir desarrollándose a ritmos progresivamente menores conforme la temperatura se aleja de su nivel óptimo. Cuando esta se supera, la tasa de crecimiento disminuye de manera significativa (Cerra et al., 2013). Las levaduras son microorganismos mesófilos y no sobreviven a temperaturas cercanas o superiores a 55 °C durante cinco minutos. En general, su actividad metabólica óptima se alcanza alrededor de los 30 °C.

#### **2.12.5. Acidez del sustrato.**

Cada especie microbiana posee un rango específico de pH en el que puede desarrollarse y cuenta con un valor óptimo que favorece su crecimiento. En el caso de las levaduras, la mayoría se desarrolla adecuadamente en un rango relativamente reducido de pH, comprendido entre 3,5 y 5,5. Cuando el pH disminuye por debajo de este intervalo, también lo hace la velocidad de crecimiento.

Es común que los propios microorganismos modifiquen el pH de su entorno como consecuencia de la liberación de metabolitos con naturaleza ácida o básica. Para mantener estable este parámetro, se suelen añadir al medio de cultivo soluciones reguladoras, mezclas de fosfatos monoácidos y diácidos, o aplicarse correcciones automáticas mediante la adición de ácidos o bases (Cerra, et al., 2013).

#### **2.12.6. Agitación del medio.**

Tradicionalmente, los fermentadores empleados en cultivos anaerobios son de construcción sencilla y no requieren de sistemas

de agitación o de inyección de aire. Sin embargo, la adecuada mezcla y dispersión del sustrato y biomasa resultan fundamentales para mejorar el rendimiento en la producción de etanol durante la fermentación.

En los biorreactores con agitación mecánica, se utilizan diversos tipos y tamaños de rodetes que generan distintos patrones de flujo. Además, se incorporan deflectores que se utilizan con la finalidad de reducir la formación de vórtices dentro del recipiente, lo que favorece una mejor homogeneización del medio y un intercambio más eficiente entre las fases líquida y gaseosa (Doran, 1998).

## 2.13. DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR.

Los diseños factoriales  $3^k$  se caracterizan por incluir  $k$  factores, cada uno evaluado en tres niveles (por ejemplo, bajo, medio y alto). Como resultado, una réplica completa del diseño requiere un total de  $3^k$  tratamientos o combinaciones experimentales posibles. Este tipo de diseño permite estudiar simultáneamente el efecto principal de cada factor y las posibles interacciones entre ellos.

No obstante, una de sus limitaciones frente al diseño factorial  $2^k$  es el incremento considerable en el número de corridas experimentales necesarias, lo cual implica mayores costos, tiempo y recursos (Fernández, 2020). Sin embargo, los diseños  $3^k$  ofrecen una ventaja importante: permiten detectar relaciones no lineales entre los factores y las variables de respuesta, lo que los hace especialmente útiles en procesos biotecnológicos y de fermentación, donde los efectos suelen ser de naturaleza curvilínea.

El modelo estadístico del diseño factorial general de un diseño factorial puede expresarse como:

$$Y_i = \alpha + T_i + b_j + \varepsilon_i$$

Dónde:

- $Y_i$  representa la variable de respuesta observada,
- $\alpha$  es la media general,

- $T_i$  corresponde al efecto del tratamiento o factor principal,
- $b_j$  representa el efecto del segundo factor (si lo hubiera), y
- $\varepsilon_{ij}$  es el término de error aleatorio asociado a cada observación.

En los diseños  $3^k$ , el análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para evaluar la significancia estadística de los efectos principales y las interacciones. Este enfoque permite determinar las combinaciones óptimas de niveles de los factores que maximizan o minimizan la respuesta del sistema, brindando información valiosa para optimizar procesos de fermentación y otras operaciones industriales.

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### **3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

La presente investigación es de tipo aplicada, busca generar conocimiento orientado a resolver un problema práctico mediante la optimización del proceso de elaboración de chicha de jora. Se empleó un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, puesto que se realizaron cálculos estadísticos con el propósito de determinar el tratamiento más adecuado para la producción de la bebida.

Durante el experimento se manipularon tres variables independientes: la temperatura, la velocidad de agitación y la concentración de levadura, procurando mantener las condiciones naturales del proceso. La variable dependiente fue la calidad de la bebida, evaluada a través de dos componentes:

- La variable fisicoquímica, determinada mediante análisis de laboratorio.
- La variable sensorial, evaluada a través de pruebas de aceptabilidad.

El control de las variables experimentales se efectuó en la Planta Piloto de Jugos y Frutas, perteneciente a la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Todas las condiciones experimentales fueron rigurosamente supervisadas de acuerdo con el diseño establecido, y los datos obtenidos fueron procesados, analizados e interpretados con base en el modelo estadístico correspondiente (véase Figura 2).

Los análisis de composición químico-proximal, evaluación sensorial y análisis microbiológico se realizaron en los Laboratorios de Análisis de Alimentos y Control de Calidad de la misma escuela de Industrias Alimentarias, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados.

#### **4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

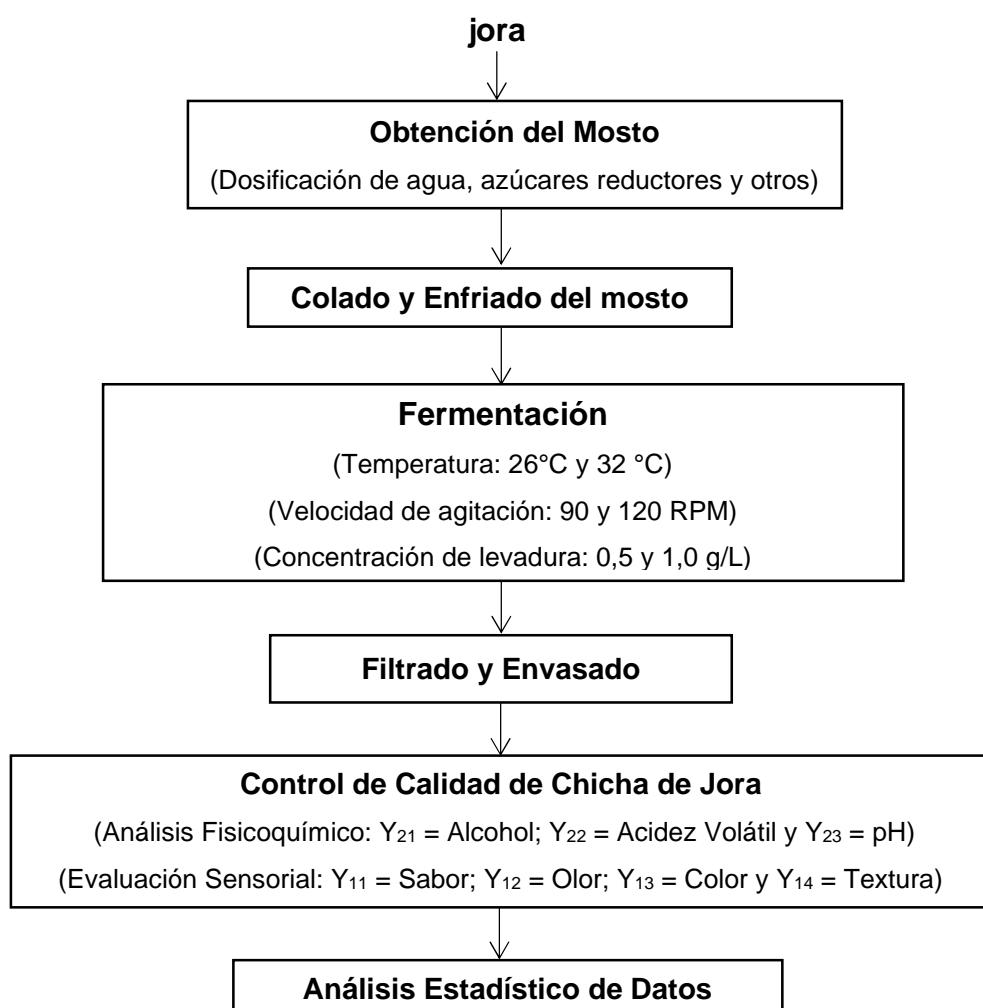
La investigación se desarrolló en dos etapas, tal como se muestra en las figuras 2 y 3. En la primera, se elaboró la bebida fermentada tradicional, chicha de jora,

controlando los parámetros de temperatura, velocidad de agitación (mezclado) y concentración inicial de levadura. Los datos experimentales obtenidos fueron sometidos a tratamiento estadístico y evaluación sensorial, lo que permitió identificar el tratamiento óptimo.

En la segunda etapa, se realizaron los análisis químicos proximales y microbiológicos correspondientes al tratamiento seleccionado como el más adecuado.

#### 4.1. PRIMERA ETAPA:

Durante esta fase, se elaboró la chicha de jora (malta de maíz) bajo condiciones de laboratorio, utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae* como inóculo y controlando los parámetros de temperatura y de agitación. El proceso experimental seguido se detalla en el diagrama de bloques presentado en la Figura 2.



**Figura 2.** Proceso experimental para la evaluación del efecto de la temperatura, agitación y concentrado de levadura en la calidad fisicoquímica y sensorial de la chicha de jora.

El objetivo de esta etapa fue establecer un fluograma de procedimiento para la elaboración de chicha de jora en condiciones controladas, orientado a un proceso de tipo industrial que cumpla con los estándares de inocuidad y calidad fisicoquímica y sensorial. Se buscó obtener una bebida fermentada con características organolépticas similares a la chicha de jora tradicional, pero con mejores propiedades de calidad e inocuidad.

Para ello, se definieron ocho (08) tratamientos experimentales, cuyos valores de temperatura, agitación y concentración de levadura se muestran en la Tabla 1 y la Figura 3.

**Tabla 1:** Tratamientos y codificación experimental.

Trata-miento	Código	Temperatura (°C)	Agitación (RPM)	Concentración de Levadura (%)
1	A1 B1 C1	26	90	0,5
2	A1 B1 C2	26	90	1,0
3	A1 B2 C1	26	120	0,5
4	A1 B2 C2	26	120	1,0
5	A2 B1 C1	32	90	0,5
6	A2 B1 C2	32	90	1,0
7	A2 B2 C1	32	120	0,5
8	A2 B2 C2	32	120	1,0

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

En la tabla 1, se presenta el número y codificación de los tratamientos definidos para el análisis fisicoquímico de la chicha de jora, de acuerdo con los tres parámetros técnicos controlados durante el proceso: temperatura (°C), agitación (RPM) y la concentración inicial de levadura (%).

El modelo estadístico empleado en esta primera etapa corresponde a un diseño factorial de  $2 \times 2 \times 2$  en un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA), expresado mediante la siguiente ecuación:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_k + \alpha_{i,j} + \alpha_{i,k} + \beta_{j,k} + \alpha_{i,j,k} + \delta_i + \varepsilon_i \dots \text{ (Ec. 1)}$$

**Dónde:**

$Y_i$  = Variable respuesta observada,

$\mu$  = Media poblacional,

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Temperatura: 26, y 32 °C)

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo nivel del factor B (Agitación: 90 y 120 RPM)

$\theta_k$  = Efecto del k-ésimo nivel del factor C (Levadura: 0,5 y 1,0 %)

$\alpha_{i,j}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A (Temperatura), con el j-ésimo nivel del factor B (Agitación)

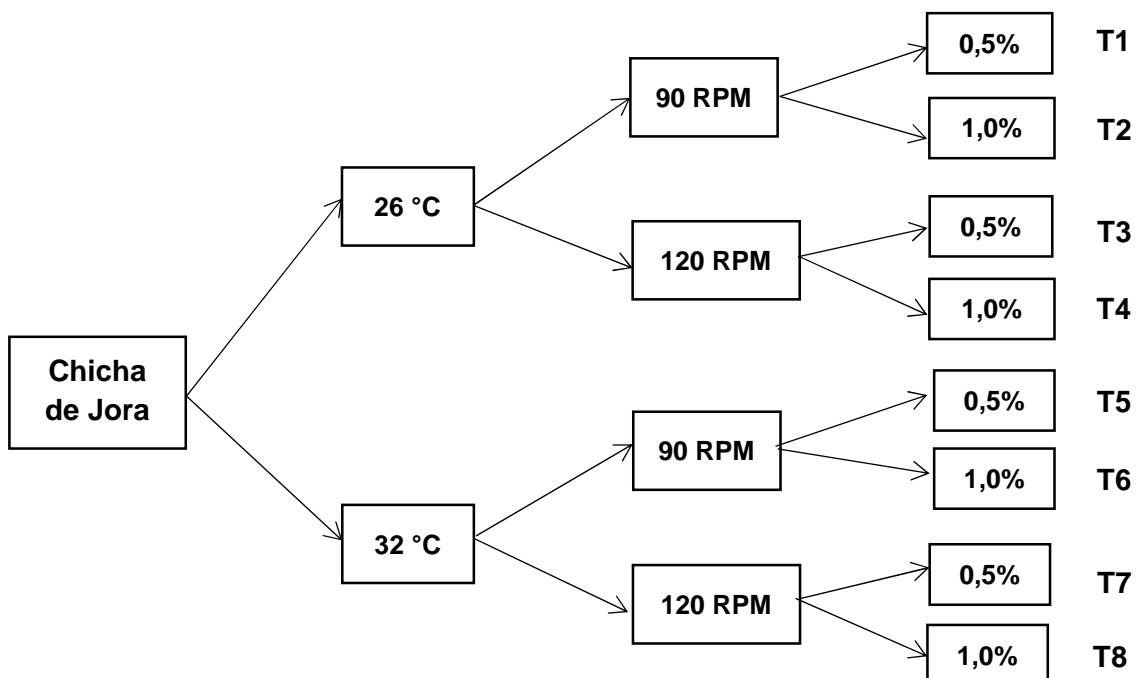
$\alpha_{i,k}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A (Temperatura), con el k-ésimo nivel del factor C (Levadura)

$\beta_{j,k}$  = Efecto de la interacción del j-ésimo nivel del factor B (Agitación), con el k-ésimo nivel del factor C (Levadura)

$\alpha_{i,j,k}$  = Efecto de las interacciones del i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel del factor B y con el k-ésimo nivel del factor C.

$\delta_i$  = Efecto del error experimental entre bloques, y

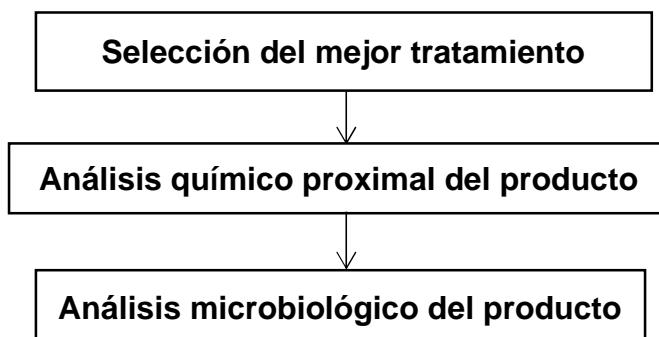
$\varepsilon_i$  = Efecto del error experimental del i-ésimo factor A, sujeta al j-ésimo factor B, sujeta al k-ésimos factor C y sujeto al i-ésimo factor repeticiones.



**Figura 3:** Disposición experimental para la evaluación de tratamientos del producto.

#### 4.2. SEGUNDA ETAPA:

En esta etapa, con el propósito de caracterizar la chicha de jora y verificar su cumplimiento con los parámetros de inocuidad establecidos por las normas del Ministerio de Salud (MINSA) y de INACAL, se determinaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del tratamiento seleccionado como óptimo, tal como se muestra en la figura 4:



**Figura 4:** Selección del mejor tratamiento y análisis químico proximal y microbiológico de la chicha de jora artesanal y experimental.

Una vez identificado el tratamiento con mejores resultados en la primera etapa, se procedió a comparar dicho tratamiento con un testigo, correspondiente a la chicha de jora artesanal comercial obtenida en el mercado del distrito de Ayacucho. Para esta comparación se aplicó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_i = \mu + t_i + \varepsilon_i \quad \dots \quad (\text{Ec. 2})$$

**Dónde:**

$Y_i$  = variable de respuesta observada,

$\mu$  = media poblacional,

$t_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento ( $t_1$ : testigo y  $t_2$ : mejor tratamiento)

$\varepsilon_i$  = término de error aleatorio correspondiente a la  $j$ -ésima réplica del  $i$ -ésimo tratamiento.

Este modelo permitió evaluar si existían diferencias significativas entre el producto elaborado experimentalmente y la chicha artesanal tradicional, considerando tanto los parámetros fisicoquímicos como los microbiológicos, con el fin de validar la mejora en calidad e inocuidad del producto resultante.

## **5. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

### **5.1. POBLACIÓN.**

La población estuvo conformada por 24 litros de chicha de jora procesada en la Planta de Jugos y Frutas de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Dicha producción se distribuyó en ocho (08) tratamientos experimentales, cada uno con tres (03) repeticiones, considerando una capacidad promedio de un litro por unidad experimental.

Estos tratamientos se diseñaron con base en la combinación de los factores temperatura, agitación y concentración de levadura, con el objetivo de evaluar su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la bebida fermentada.

### **5.2. MUESTRA.**

La muestra analizada estuvo constituida por aproximadamente diez (10) litros de chicha de jora, seleccionados de manera representativa de la producción total, seleccionados de manera representativa de la producción total. De este volumen, se destinaron alrededor de ocho (08) litros a la evaluación sensorial, mientras que los dos (02) litros restantes se emplearon en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los tratamientos.

La selección y distribución de las muestras se realizó procurando mantener las condiciones iniciales de homogeneidad y representatividad de los tratamientos experimentales, garantizando así la validez de los resultados obtenidos en el análisis comparativo.

## **6. HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN.**

Se plantea que la temperatura, la velocidad de agitación y la concentración de levadura ejercen un efecto significativo sobre la calidad fisicoquímica de la chicha de jora, debido a su influencia directa en el crecimiento y actividad metabólica de la levadura durante el proceso de fermentación. Estas variables inciden particularmente en la producción de etanol (grados alcohólicos), la

acidez y el pH de la bebida, así como en la formación de metabolitos secundarios responsables del aroma y sabor característicos, afectando en conjunto las propiedades sensoriales de la chicha de jora.

Asimismo, se postula que la composición química proximal de la chicha de jora elaborada bajo condiciones de procesamiento controlado (temperatura, agitación y concentración de levadura) será semejante a la de la chicha de jora artesanal comercial disponible en los mercados locales del distrito de Ayacucho. Sin embargo, se espera que la calidad microbiológica de la bebida obtenida bajo condiciones controladas cumpla con los estándares establecidos en la Norma Técnica Sanitaria N.º 071 DIGESA/MINSA-V.01 (2008), la cual define los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano, diferenciándose de la chicha de jora artesanal comercial que, por su elaboración empírica, podría no satisfacer dichos parámetros normativos.

## **7. VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN.**

Las variables de la presente investigación, junto con sus respectivos indicadores, se detallan en la Tabla 1. Estas variables permiten analizar de manera sistemática la influencia de los factores de fermentación sobre la calidad fisicoquímica de la chicha de jora.

### **7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES:**

Estas variables fueron seleccionadas por su efecto determinante sobre el crecimiento y la actividad metabólica de las levaduras, así como la formación de compuestos responsables de las características sensoriales de la chicha de jora. Las variables evaluadas fueron:

#### **7.1.1. Temperatura.**

La temperatura es una propiedad termodinámica que indica el grado de calor de un sistema y determina si este se encuentra en equilibrio térmico con otros sistemas (Gomis, 2010). En los procesos fermentativos, constituye un factor crítico, ya que influye directamente

en el crecimiento, la actividad metabólica y la viabilidad de las levaduras.

En la presente investigación, la temperatura se controló como parámetro del proceso de fermentación del mosto de jora. Las levaduras productoras de alcohol presentan una temperatura óptima de crecimiento alrededor de los 30 °C. Por ello, los ensayos se realizaron a dos niveles de temperatura: 26°C y 32°C, con el propósito de evaluar su efecto sobre la producción de etanol, acidez y pH del producto final.

### **7.1.2. Agitación.**

La agitación es un proceso mecánico que permite mantener la homogeneidad del medio fermentativo, favoreciendo la transferencia de masa y calor, así como la distribución uniforme de sustratos, gases y microorganismos (Heinzle, Biwer & Cooney, 2006).

En el contexto de la fermentación de chicha de jora, la agitación contribuye a evitar la sedimentación del sustrato y garantizar una temperatura uniforme en toda la mezcla. Para este fin se emplean agitadores de paletas que operan a velocidades entre 20 y 150 rpm. (Mc. Cabe & Smith, 2003).

En el presente estudio, la variable agitación se evaluó a dos niveles: 90 rpm y 120 rpm, con el objetivo de analizar su influencia en la eficiencia fermentativa y la calidad fisicoquímica de la bebida.

### **7.1.3. Levadura.**

Las levaduras son hongos unicelulares que se reproducen por gemación o fisión, y se encuentran en ambientes ricos en nutrientes, como frutas maduras y productos vegetales en descomposición (Adams & Moss, 2008). En la industria alimentaria, especialmente en la elaboración de bebidas fermentadas, la especie más utilizada es *Saccharomyces cerevisiae*, debido a su alta capacidad para transformar azúcares en etanol y dióxido de carbono.

**Tabla 2:** Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
<i>Variable Independiente:</i>					
X <sub>1</sub> : Temperatura.	<i>A. Temperatura.</i> Es la propiedad termodinámica que determina si un sistema se encuentra en equilibrio térmico con otros sistemas. La temperatura se mide con los termómetros teniendo en cuenta el principio cero de la termodinámica.	<i>A. Temperatura.</i> Es la temperatura a la que el sustrato será mantenido para el crecimiento y actividad de la levadura. La temperatura óptima de las levaduras productoras de alcohol es de 26°C a 32 °C.	<i>A. Temperatura.</i> Se trabajará experimentalmente con temperaturas de fermentación de 26 y 29 grados centígrados o grados Celsius (°C).		
X <sub>2</sub> : Agitación.	<i>B. Nivel de Agitación.</i> La agitación permite mantener la homogeneidad, la transferencia de calor y distribución uniforme de líquido, gases y sustrato en un biorreactor a través de una polea que gira con energía eléctrica y mantiene en movimiento el contenido del fermentador. Se persigue tener una mezcla uniforme de contenido.	<i>B. Nivel de Agitación.</i> La agitación permite que la mezcla de sustrato, levadura, agua y otros insumos sea más uniforme, evitando la precipitación de sustrato y manteniendo también la temperatura uniforme en la mezcla. Se usan agitadores de paletas que giran a una velocidad entre 20 y 150 rpm. (Mc. Cabe y Smith, 2003).	<i>B. Nivel de Agitación</i> Para la agitación se usará un rodete y se tomará las velocidades de 90 y 120 revoluciones por minuto (RPM).	Elaboración de chicha de jora y control de parámetros de proceso.	Se usarán instrumentos de medición físicos. (balanzas, termómetros y otros)
X <sub>3</sub> : Concentración de Levadura.	<i>C. Levadura. (S. cerevisiae)</i> Son hongos unicelulares que se reproduce por gemación o fisión, se encuentran en ambientes ricos en nutrientes como frutos en descomposición y fluidos corporales de los animales, también requieren de vitaminas y aminoácidos. En la elaboración de bebidas fermentadas se emplea principalmente la levadura <i>S. cerevisiae</i> ).	<i>C. Levadura.</i> La levadura es la que convierte el extracto en CO <sub>2</sub> y etanol.	<i>C. Levadura.</i> Se inoculará con levadura, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , en cantidades de 0,5 g/L y 1,0 g/L		

	<p><b>A. Propiedad Fisicoquímica.</b></p> <p>Los alimentos contienen elementos nutricionales para el hombre, pero también puede contener toxinas que dañan la salud. El análisis fisicoquímico consiste en la caracterización de un alimento que permite identificar su composición química y toxicológica al determinar su composición. Así, la calidad de un alimento se puede determinar por su composición.</p>	<p><b>A. Propiedad Fisicoquímica.</b></p> <p><b>Grados alcohólicos:</b> Se determina el volumen de alcohol ético o etanol en relación al volumen de la chicha de jora, mediante el uso de un alcoholímetro de Gay Lussac.</p>	<p><b>A. Propiedad Fisicoquímica.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grado Alcohólico: Porcentaje de alcohol en la chicha de jora, medido en porcentaje (%).</li> </ul>	
<p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Y<sub>1</sub>: Calidad sensoria.</p>	<p><b>Grados alcohólicos:</b> es el porcentaje de alcohol que contiene una bebida fermentada, el contenido alcohólico se conoce por la relación entre el volumen de alcohol puro a 20 °C y la cantidad total de la bebida también a 20 °C.</p>	<p><b>Acidez titulable:</b> se determina por reacción de neutralización de los ácidos orgánicos presentes en la chicha de jora con una base fuerte como el hidróxido de sodio en presencia del indicador fenolftaleína.</p>	<p><b>Acidez titulable:</b> se determina por reacción de neutralización de los ácidos orgánicos presentes en la chicha de jora con una base fuerte como el hidróxido de sodio en presencia del indicador fenolftaleína.</p>	<p><b>Se emplearán instrumentos de laboratorio, así como reactivos para la determinación de las características fisicoquímicas del producto.</b></p>
<p>Y<sub>2</sub>: Calidad físico-química.</p>	<p><b>Acidez titulable:</b> es un indicador de la contaminación de por procesos de deterioro en alimentos por acción metabólica y microbiana o por una mala manipulación o formulación del producto.</p> <p><b>B. Propiedad Sensorial.</b></p> <p>Son características de olor, color, sabor y textura que son percibidos los sentidos del hombre; todos estos estímulos sensoriales llegan al cerebro que los interpreta y provoca reacciones de aceptación o rechazo.</p>	<p><b>pH:</b> se realiza por pH-metro, colocando el electrodo en solución tampón a pH 7, se introduce el electrodo en 20 ml de chicha de jora y se realiza la medición de pH.</p> <p><b>B. Propiedad sensorial.</b></p> <p>Se evaluará el perfil sensorial a través de los atributos de la chicha de jora mediante los sentidos de la vista, olfato, gusto y tacto a un panel de 20 jurados semientrenados</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH: Medido con potenciómetro</li> </ul> <p><b>B. Propiedad sensorial.</b></p> <p>Se evaluará el perfil sensorial a través de los atributos de la chicha de jora mediante los sentidos de la vista, olfato, gusto y tacto a un panel de 20 jurados semientrenados</p>	<p><b>Medición de contenido alcohólico con alcoholímetro Gay Lussac.</b></p> <p><b>Determinación de Acidez con la técnica AOAC.</b></p> <p><b>Evaluación sensorial con encuesta evaluación sensorial</b></p> <p><b>Para la encuesta del presente proyecto se utilizará instrumentos validados de análisis sensorial.</b></p>

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

En esta investigación se empleó *Saccharomyces cerevisiae* como agente biológico de fermentación, evaluando dos niveles de concentración: 0,5 g/L y 1,0 g/L, equivalentes a aproximadamente diez mil millones de células de levadura por gramo. Esta variable se consideró fundamental para determinar su efecto en la velocidad de fermentación y en las características fisicoquímicas de la chicha obtenida.

## **7.2. VARIABLES DEPENDIENTES:**

Las variables dependientes de esta investigación corresponden a las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la chicha de jora, las cuales permiten evaluar la calidad del producto obtenido en función de las condiciones de fermentación aplicadas.

### **7.2.1. Propiedades fisicoquímicas.**

Los alimentos son sistemas complejos que contienen diversos componentes con valor nutricional y, en algunos casos, compuestos que pueden afectar la salud humana. El análisis fisicoquímico consiste en la caracterización de un alimento mediante la determinación de su composición química y sus propiedades relevantes para la calidad y seguridad (Zumbado, 2004).

En el caso de las bebidas fermentadas, los principales parámetros que definen su calidad son el grado alcohólico, la acidez titulable y el pH, los cuales reflejan la eficiencia del proceso fermentativo y la estabilidad del producto final.

#### **a. Grados alcohólicos.**

El grado alcohólico representa la proporción de alcohol etílico presente en una bebida obtenida por fermentación. Se expresa como la relación entre el volumen de alcohol puro contenido en la bebida y el volumen total del producto, ambos medidos a 20 °C (DGAPA, 2015). El etanol, principal alcohol obtenido durante la fermentación, es el resultado del metabolismo de los azúcares por acción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

En esta investigación, el contenido alcohólico se determinó mediante el uso de alcoholímetro de Gay Lussac, que permite medir el volumen de etanol en la chicha de jora de manera precisa y estandarizada.

**b. Acidez volátil.**

La acidez titulable es un parámetro que refleja la calidad de los procesos fermentativos y la estabilidad del producto. En bebidas alcohólicas, una baja acidez volátil se asocia con una fermentación controlada y con productos de mejor calidad (Zumbado, 2004).

En este estudio, la acidez se determinó tomando como referencia el ácido acético, mediante una reacción de neutralización entre los ácidos orgánicos presentes en la muestra y una base fuerte (hidróxido de sodio), utilizando fenolftaleína como indicador de punto final. El resultado se expresa en gramos de ácido acético por litro de muestra.

**c. pH.**

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución y depende de la concentración de iones hidronio ( $H_3O^+$ ) presentes. En procesos fermentativos, el pH es un factor determinante, ya que influye en la actividad enzimática y en el crecimiento microbiano.

Durante la titulación ácido-base, los iones  $OH^-$  de la base reaccionan con los iones  $H_3O^+$  del ácido, lo que reduce su concentración y modifica el valor del pH hasta alcanzar el punto de equivalencia (Zumbado, 2004).

En la presente investigación, el pH se determinó mediante medición directa con un potenciómetro debidamente calibrado.

### **7.2.2. Propiedades sensoriales.**

Las propiedades sensoriales son características de un producto que pueden ser percibidas por los sentidos humanos, como el color, olor, sabor y textura. Estas propiedades influyen en la aceptación del producto por parte del consumidor, ya que cada estímulo es procesado por el cerebro y genera una respuesta de agrado o rechazo (Badui, 2012).

**a. Color.**

El color es la percepción visual producida por la reflexión de la luz de determinadas longitudes de onda del espectro visible, captadas por la retina y transformadas en impulsos eléctricos que el cerebro interpreta (Badui, 2012). En la chicha de jora, el color depende de la materia prima utilizada (maíz jora) y de las condiciones de fermentación, siendo un indicador visual importante de su calidad y autenticidad.

**b. Olor.**

El olor se percibe a través del epitelio olfativo ubicado en la cavidad nasal, el cual contiene millones de receptores capaces de detectar y distinguir más de 10,000 compuestos volátiles, incluso en concentraciones extremadamente bajas. (Badui, 2012). En las bebidas fermentadas, el aroma se genera principalmente por los compuestos volátiles producidos durante la fermentación alcohólica, como los alcoholes superiores y los ésteres.

**c. Sabor.**

El sabor es la percepción sensorial compleja que resulta de la estimulación de las papilas gustativas, las cuales reaccionan a los sabores primarios: dulce, salado, ácido y amargo (Badui, 2012).

En la chicha de jora, el sabor depende de la composición del mosto, el grado de fermentación y la interacción de compuestos azucarados, ácidos y volátiles.

**d. Textura.**

La textura está determinada por la proporción e interacción de los componentes sólidos, líquidos y gaseosos del alimento, lo cual influye en su estructura microscópica y en su sensación al paladar.

Se distingue entre texturas naturales, propias de los tejidos, y texturas en dispersiones o coloides, donde la distribución de partículas define la consistencia del producto. En la chicha de jora, la textura contribuye a la sensación de cuerpo y densidad característica de esta bebida tradicional.

En la presente investigación, las características sensoriales (color, olor, sabor y textura) se evaluaron mediante prueba sensorial descriptiva, aplicada a un panel de 20 jueces semientrenados, quienes analizaron los atributos de la chicha de jora utilizando los sentidos de la vista, olfato, gusto y tacto (paladar), siguiendo criterios de apreciación cualitativa.

### **7.3. INDICADORES:**

Los indicadores permiten cuantificar y evaluar los efectos de las variables independientes sobre las variables dependientes, proporcionando información objetiva acerca del comportamiento del proceso fermentativo y de la calidad del producto final. Los indicadores definidos para cada variable de este estudio son:

#### **7.3.1. Temperatura.**

La temperatura de fermentación se controló experimentalmente en dos niveles: 26 y 32 grados centígrados o grados Celsius (°C), valores dentro del rango óptimo de crecimiento y actividad metabólica de las levaduras productoras de etanol. Este indicador permitió analizar la influencia térmica sobre la velocidad de fermentación y las propiedades fisicoquímicas de la chicha de jora.

#### **7.3.2. Agitación.**

La agitación se realizó mediante un sistema de rodete mecánico, estableciendo dos niveles de velocidad: de 90 y 120 revoluciones por minuto (RPM). Este parámetro sirvió como indicador del grado de mezcla y homogeneidad del mosto durante la fermentación, lo que influye en la distribución del oxígeno disuelto inicial, la temperatura y los nutrientes dentro del biorreactor.

#### **7.3.3. Inóculo con levadura.**

Se empleó levadura, *Saccharomyces cerevisiae*, seca activa, considerada el principal agente biológico responsable de la fermentación alcohólica. La concentración del inóculo se estableció en

0,5 g/L y 1,0 g/L, con el fin de evaluar el efecto de la densidad celular sobre la producción de etanol y la evolución de la acidez y el pH del producto.

#### **7.3.4. Propiedades fisicoquímicas.**

Los indicadores fisicoquímicos se emplearon para determinar la calidad y estabilidad del producto fermentado, a través de las siguientes mediciones:

##### ***a. Grado alcohólico.***

Contenido de alcohol en la chicha de jora, medido en porcentaje (%), determinado mediante alcoholímetro de Gay-Lussac.

##### ***b. Ácidos titulables.***

Acidez volátil, medida en mg/L o partes por millón (ppm). Cantidad de ácidos volátiles expresada también en partes por millón (ppm), determinada por titulación con NaOH y fenolftaleína como indicador.

##### ***c. pH.***

Valor del potencial hidrogenión (escala 0–14), medido con un potenciómetro calibrado.

#### **7.3.5. Propiedades sensoriales.**

Las propiedades sensoriales se evaluaron mediante un panel de 20 jueces semientrenados, quienes analizaron los atributos característicos de la chicha de jora en función de los siguientes indicadores:

##### ***a. Color, olor y sabor:***

- Correspondencia con los atributos típicos de la chicha de jora.
- Ausencia de sabores u olores extraños.
- Nivel de agrado o aceptabilidad general del producto.

##### ***b. Textura (sensación en boca):***

- Correspondencia con la textura característica de la chicha de jora.
- Presencia o ausencia de aspereza, y su intensidad percibida.

## **8. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO.**

El proceso de investigación comprendió una serie de actividades experimentales desarrolladas bajo condiciones controladas de laboratorio, con el objetivo de estandarizar la elaboración de chicha de jora y evaluar la influencia de los parámetros de fermentación sobre sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

El procedimiento general de elaboración se basó en el método descrito por De Florio (2019), adaptado con control de variables y monitoreo instrumental, tal como se muestra en la Figura 4.

### **8.1. PREPARACIÓN DE CHICHA DE JORA.**

La preparación de la chicha de jora se realizó siguiendo etapas secuenciales que permitieron garantizar la calidad del producto experimental, desde la selección de materias primas hasta su almacenamiento final.

#### **8.1.1. Recepción de la jora.**

Se utilizó maíz germinado (jora) de procedencia comercial, adquirido en uno de los principales mercados del distrito de Ayacucho. La materia prima fue inspeccionada visualmente para asegurar su buen estado físico, color característico y ausencia de olores desagradables o signos de deterioro. Solo se seleccionaron granos uniformes, limpios y secos, adecuados para la elaboración del mosto.

#### **8.1.2. Preparación del mosto.**

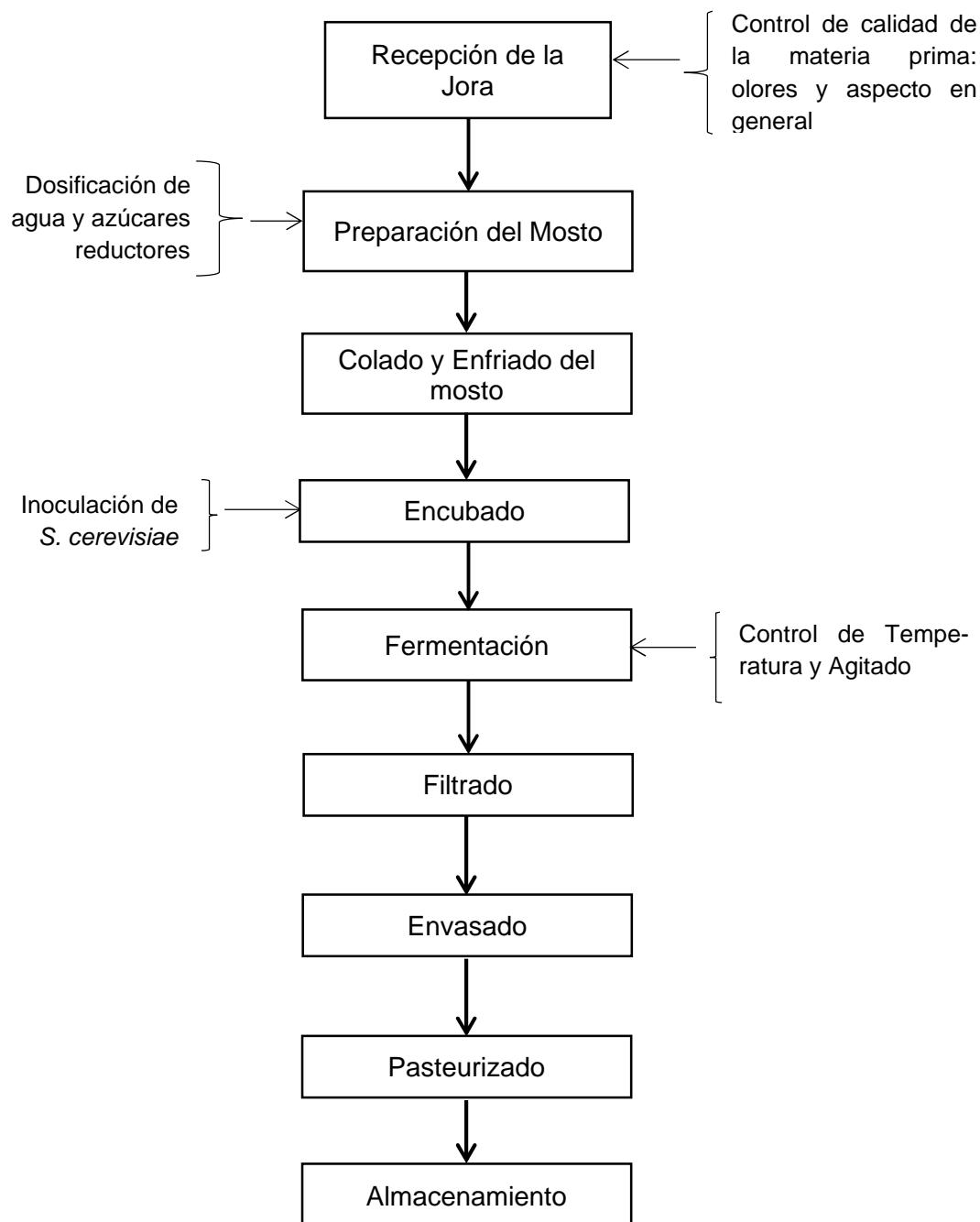
Para la obtención del mosto base, se utilizaron los siguientes ingredientes por cada litro de producto: 100 g de jora molida, 50 g de una mezcla de triturado de haba y cebada, 50 g de chancaca, fruta (plátano y naranja) y especias naturales (canela, clavo de olor y un ramo de cedrón) que aportan características aromáticas típicas de la bebida.

La cocción se realizó durante 2 horas a temperatura de ebullición, con agitación ocasional, con el fin de favorecer la hidrólisis del almidón y la liberación de azúcares fermentables.

### 8.1.3. Colado y enfriado del mosto.

Concluida la cocción, se procedió de colado del mosto para separar los residuos sólidos de los cereales y especias.

El líquido obtenido se enfrió rápidamente (shock térmico) hasta alcanzar una temperatura de 10 °C, utilizando un baño de enfriamiento en el recipiente de encubado.



**Figura 5:** Flujograma de proceso para la producción de chicha de jora.

#### **8.1.4. Encubado.**

Posteriormente, se determinó el contenido de sólidos solubles, ajustándolo a 10 °Brix iniciales mediante adición de azúcar o chancaca. Finalmente, se realizó la inoculación con levadura seca activa *Saccharomyces cerevisiae*, previamente rehidratada y activada, en las concentraciones establecidas experimentalmente.

#### **8.1.5. Fermentación.**

El proceso de fermentación se llevó a cabo durante 90 horas, bajo condiciones controladas de temperatura y agitación según los tratamientos experimentales. Para ello, se emplearon agitadores magnéticos para mantener la homogeneidad del medio y una termocupla digital para el registro continuo de la temperatura en grados Celsius. Esta etapa permitió el desarrollo de la actividad metabólica de la levadura y la conversión de azúcares en etanol y compuestos aromáticos secundarios.

#### **8.1.6. Filtrado.**

Una vez finalizada la fermentación, se realizó el filtrado de la chicha de jora con el fin de separar el líquido fermentado de los residuos sólidos o “concho”, compuestos principalmente por restos de sustrato y biomasa de levadura. En esta etapa se realizaron mediciones de pH, acidez total, acidez volátil, contenido de °Brix final y grado alcohólico (°GL), a fin de caracterizar el producto antes de su envasado.

#### **8.1.7. Envasado.**

El producto filtrado se envasó en botellas de polipropileno de 300 mL de capacidad, previamente lavadas y esterilizadas en autoclave. El llenado se realizó bajo condiciones higiénicas controladas, asegurando un cerrado hermético con tapa rosca para evitar contaminación y pérdida de CO<sub>2</sub> disuelto.

#### **8.1.8. Pasteurización.**

Los envases con la chicha de jora fueron sometidos a un proceso de pasteurización a 80°C durante 5 minutos, con el propósito de reducir la

carga microbiana y prolongar la estabilidad del producto sin afectar sus propiedades sensoriales.

#### **8.1.9. Almacenamiento.**

Finalmente, las muestras fueron rotuladas y almacenadas en refrigeración a 10 °C por 72 horas, antes de proceder a su análisis fisicoquímico y sensorial. Este periodo de reposo permitió estabilizar el producto y homogeneizar sus características antes de la evaluación experimental.

### **8.2. DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO.**

En esta etapa se realizó la evaluación fisicoquímica y microbiológica de la chicha de jora elaborada bajo condiciones controladas, con el fin de comparar su calidad con la de una muestra artesanal comercial obtenida en el mercado local del distrito de Ayacucho.

El análisis se efectuó sobre el mejor tratamiento experimental, seleccionado en función de sus características fisicoquímicas más cercanas a la chicha tradicional y de su mayor aceptación sensorial, según los resultados obtenidos en la primera fase de la investigación.

El procedimiento general se muestra en la Figura 3, la cual representa el esquema metodológico aplicado para esta segunda etapa. El tratamiento seleccionado fue sometido a las siguientes determinaciones:

#### **8.2.1. Análisis fisicoquímico.**

Incluyó la evaluación de parámetros como pH, acidez total, acidez volátil, contenido alcohólico, sólidos solubles (°Brix) y densidad, a fin de comparar los valores experimentales con los rangos reportados para la chicha de jora artesanal.

#### **8.2.2. Análisis químico proximal:**

Se determinó el contenido de humedad, cenizas, proteínas, lípidos, carbohidratos y energía total (kcal/100 g), siguiendo los procedimientos AOAC (2019), con el objetivo de caracterizar el valor nutritivo del producto fermentado.

### **8.2.3. Análisis microbiológico.**

Se efectuaron recuentos de bacterias mesófilas aerobias, levaduras y mohos, así como la detección de coliformes totales y fecales, aplicando los métodos oficiales de la AOAC (2019) y las normas NTP 201.001 y NTP 201.003, con el fin de verificar la inocuidad y la conformidad sanitaria de la bebida.

Los resultados obtenidos permitieron establecer una comparación objetiva entre la chicha de jora elaborada en laboratorio y la chicha artesanal del mercado local, evaluando su equivalencia en términos de calidad y fisicoquímica, valor nutricional y seguridad microbiológica.

## **9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **9.1. TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **9.1.1. Etapa 1:**

##### ***a. Estandarización de la chicha de jora.***

Con el objetivo de valorar el efecto de las variables temperatura, agitación y concentración de levadura sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la chicha de jora, se elaboró el producto bajo condiciones controladas de laboratorio.

La Figura 2 muestra el diseño experimental utilizado. La jora fue adquirida en el Mercado Central “Carlos F. Vivanco”, ubicado en la ciudad de Ayacucho (13°9'47"S, 74°13'39"W). Una vez seleccionada, se hirvió junto con los demás insumos previamente triturados.

Posteriormente, el mosto se filtró y enfrió hasta alcanzar las temperaturas de control, se ajustó el contenido de glucosa a 10 °Brix y se inoculó la levadura en las concentraciones establecidas.

El proceso se mantuvo bajo agitación constante y diferenciada hasta la finalización de la fermentación; finalmente, la bebida fue filtrada y envasada para su respectivo análisis.

**b. Determinación de contenido de alcohol.**

El contenido de alcohol se determinó como el volumen de etanol por cada 100 mL de muestra (AOAC, 2000).

Se midieron 100 mL de chicha preparada en un matraz aforado a 20°C, que luego se transfirió a un balón de 300 mL conectado a una trampa y refrigerante. Se destilaron 70 mL del producto, el cual se llevó a volumen con agua destilada hasta los 100 mL. La medición del grado alcohólico se realizó con un alcoholímetro a 20 °C, repitiéndose el procedimiento tres veces para obtener el promedio.

**c. Determinación de la acidez titulable.**

La acidez total se determinó siguiendo el método de la AOAC (2000).

Se preparó una relación de 1:3 (chicha de jora: agua destilada), calentando la muestra a 70 °C durante 30 a 60 segundos.

Luego, se adicionaron 0,5 mL de fenolftaleína al 0,5% como indicador, y se tituló con NaOH 0,1 N hasta observar una ligera coloración rosada.

El resultado se expresó en términos de ácido acético, mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{(N \times M \times V)}{P} \times 100$$

Dónde:

N = Concentración del NaOH

Meq = Peso equivalente del ácido predominante (g)

V = Cantidad en ml de NaOH utilizado (mL)

P = peso de la muestra (g)

**d. Evaluación sensorial.**

El análisis sensorial se realizó en el Laboratorio de Evaluación Sensorial y Control de Calidad de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Participaron 20 panelistas semientrenados (UPAEP, 2014), quienes evaluaron las muestras de los diferentes tratamientos en vasos descartables, acompañados de un vaso de agua para enjugar las papilas gustativas entre muestras.

Cada panelista registró su apreciación en una ficha de evaluación con una escala hedónica de nueve (09) puntos, como se muestra en la Tabla 3:

**Tabla 3:** Escala hedónica para la evaluación sensorial.

Valor	Escala del atributo
9	Me gusta extremadamente
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta un poco
5	Ni me gusta, ni me disgusta
4	Me disgusta poco
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta extremadamente

**FUENTE:** Anzaldúa (1994).

**e. Determinación del pH.**

El pH se determinó de acuerdo con el método descrito por la AOAC (2000). Se calibró el potenciómetro con soluciones tampón a pH 7 y pH 4, y se introdujo el electrodo en 20 mL de muestra de chicha de jora. Cada medición se realizó por triplicado, registrando el valor promedio.

**9.1.2. Etapa 2:**

**a. Selección del mejor tratamiento.**

Concluida la primera etapa, se seleccionó el tratamiento que presentó características fisicoquímicas similares a la chicha de jora artesanal

comercializada en el distrito de Ayacucho y mayor preferencia sensorial. A esta muestra se le realizaron los análisis químico-proximal y microbiológico, con el fin de evaluar su valor nutritivo e inocuidad.

**b. Determinaciones químico-proximales.**

**c. Humedad (%).**

Determinada según el método AOAC. 925.10. Se tomó una muestra de la chicha de jora (M) luego se deshidrató en una estufa a 130°C hasta peso constante (m). El porcentaje (%) de humedad se calculó mediante la relación entre el agua eliminada y los pesos de la muestra en estado húmedo y seco, respectivamente, y luego multiplicado por 100.

$$\text{Humedad (\%)} = [ (M - m) / M ] \times 100$$

**d. Cenizas (%).**

Aplicando el método AOAC 923.03. Se pesó una cápsula de crisol ( $P_2$ ) la muestra de chicha de jora fue previamente deshidratada y posteriormente colocada en una cápsula y pesada (P). Luego se incineró en una mufla a 550°C, durante 2 horas ( $P_1$ ), luego se llevó a una campana de desecación para enfriarlo; el cálculo de la ceniza se determinó al pesar el residuo obtenido tras la incineración de la muestra, dividiendo dicho peso entre el de la muestra en estado húmedo y seco, y multiplicando el resultado por 100.

$$\text{Ceniza (\%)} = [ (P_1 - P_2) / P ] \times 100$$

**e. Grasas.**

Determinadas mediante el método del Soxhlet, (AOAC. 945.16). La muestra previamente deshidratada y luego pesada (P) se dispuso en cartuchos de papel filtro y se colocó en el balón vacío previamente pesado ( $P_2$ ) del equipo Soxhlet; el proceso consistió en el reflujo de hexano por ebullición, extrayendo la grasa en el fondo de un balón plano. Para su cálculo se pesó la grasa extraída ( $P_1$ ) para luego dividirla entre los pesos de la muestra en estado húmedo y seco, y luego multiplicar el resultado por 100.

$$\text{Grasa (\%)} = [ (P_1 - P_2) / P ] \times 100$$

*f. Proteínas.*

Determinadas por el método Micro-Kjeldahl (AOAC. 960.52). Las muestras deshidratadas se pesaron y fueron tratadas mediante digestión química utilizando ácido sulfúrico en condiciones de ebullición durante aproximadamente tres horas. La solución obtenida fue destilada mediante vapor de agua, y mediante el arrastre de gases de amonio ( $\text{NH}_3$ ), siendo separados y condensados hasta obtener una solución básica, que fue titulada con ácido clorhídrico (HCl) a una concentración de 0.25 mol/L, hasta observar un leve cambio a color violeta.

El cálculo de la proteína presente en la chicha fermentada de jora se determinó a través de la cantidad de nitrógeno presente, con la concentración y el volumen gastado del ácido clorhídrico.

$$\text{Proteína (\%)} = [ (G_b - G) \times N \times 0,014 \times f ] / \times 100$$

*g. Carbohidratos.*

La determinación de los carbohidratos fue mediante el cálculo: 100% - (Humedad) - (ceniza) - (grasa) - (proteína).

*h. Sólidos solubles.*

Se utilizó el método óptico refractométrico; se colocó la muestra transparente (sin presencia de turbidez y burbujas) sobre el prisma del refractómetro; finalmente, se realizó la lectura, obteniendo el valor de los sólidos solubles, que será expresado en °Brix.

***c. Análisis de la calidad microbiológica.***

De acuerdo con la Directiva Técnica de Salud N.º 071-MINSA/DIGESA-V.01, se verificaron los criterios microbiológicos establecidos para los alimentos y bebidas de consumo humano.

Se empleó el método de recuento en placa por siembra en profundidad; el procedimiento consistió en preparar diluciones decimales de la muestra en solución salina peptonada estéril (0,1%). Después, se inocularon con 1 mL de muestra y el medio de cultivo correspondiente:

- Para aerobios mesófilos, se usó peptona-extracto de levadura-glucosa y agar.
- Para mohos y levaduras, se usó agar dicitróxido de bengala con cloranfenicol (DRBC).
- Las placas se incubaron a 30°C por 3 días para mesófilos, y a 25°C durante 5 días para mohos y levaduras.

Finalmente, después del periodo de incubación, se contaron las colonias en las placas y se realizó el cálculo para determinar las unidades formadoras de colonias (UFC/mL) para cada microorganismo.

## 9.2. Instrumentos.

Se emplearon equipos e instrumentos de laboratorio, así como reactivos analíticos, para la determinación de las características fisicoquímicas, químico-proximales y microbiológicas de la chicha de jora:

- Termocupla (control de temperatura).
- Termómetro (0–100 °C)
- Balanza analítica de precisión.
- Agitador magnético.
- Erlenmeyer (50, 250 y 1000 mL)
- Probetas (10, 100 y 250 mL)
- Alcoholímetro.
- Tamices.
- Biorreactor/fermentador.
- Placas Petri.
- Microscopio.
- Estufa.
- Digestor de proteína.
- Brixómetro.
- Equipo de baño María
- Estufa.
- Mufla.
- Equipo Soxhlet.

- Equipo de titulación.
- Centrifuga.

Asimismo, se utilizaron instrumentos validados para el análisis sensorial (Ver anexo 1).

## **10. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.**

Para la obtención de datos confiables y relevantes en la investigación, se aplicaron los siguientes procedimientos:

### **10.1. OBSERVACIÓN.**

Se realizó una observación directa y sistemática del proceso de elaboración de chicha de jora, presentando especial atención a las etapas de fermentación bajo los distintos tratamientos experimentales. Esta técnica permitió registrar de manera objetiva los cambios físicos y sensoriales ocurridos durante el proceso, así como las variaciones en temperatura, tiempo y condiciones de agitación.

### **10.2. RECOLLECCIÓN DOCUMENTAL.**

Se empleó un cuaderno de campo como herramienta principal para el registro diario de las observaciones, resultados de laboratorio y análisis fisicoquímicos. Asimismo, se emplearon medios electrónicos y digitales, como hojas de cálculo y bases de datos, para el procesamiento, organización y almacenamiento de la información obtenida, garantizando su trazabilidad y seguridad.

### **10.3. ENCUESTA (Análisis sensorial).**

Para la evaluación sensorial de la chicha de jora, se contó con la participación de un panel semientrenado conformado por 20 jueces, seleccionados por su conocimiento y experiencia en la degustación de alimentos. A cada juez se le proporcionó una ficha de evaluación sensorial estructurada, en la cual se calificaron atributos como color, aroma, sabor, cuerpo y aceptabilidad general.

La degustación se realizó en condiciones controladas de temperatura e iluminación, siguiendo las normas básicas de análisis sensorial, a fin de asegurar la objetividad de las apreciaciones. Los resultados obtenidos fueron sistematizados para determinar el tratamiento que produjo la mejor calidad organoléptica de la bebida.

## **11. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.**

Con el propósito de interpretar de manera objetiva los resultados obtenidos durante la investigación, se aplicaron técnicas estadísticas y analíticas adecuadas al tipo de variables estudiadas.

### **11.1. PRIMERA ETAPA.**

Los resultados correspondientes a la caracterización fisicoquímica y sensorial de la chicha de jora fueron procesados y expresados como el promedio de las repeticiones acompañadas de su desviación estándar, con el fin de reflejar la variabilidad de los datos experimentales.

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA). Posteriormente, cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias *Tukey*, considerando un nivel de significancia del 5% ( $p < 0.05$ ). Estos análisis permitieron identificar los tratamientos que influyeron de manera significativa en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la bebida.

### **11.2. SEGUNDA ETAPA.**

En esta fase se procesaron los resultados obtenidos en los análisis de composición químico proximal y recuento microbiano, los cuales también fueron expresados como promedio de las repeticiones junto con su desviación estándar.

Para contrastar los resultados entre la muestra testigo (chicha artesanal comercial) y el tratamiento seleccionado (chicha elaborada bajo las condiciones óptimas determinadas en la primera etapa), se aplicó la prueba *t de Student* con nivel de significancia de 5% ( $p < 0.05$ ).

Asimismo, los resultados del recuento microbiano fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Sanitaria N.º 071-MINSA/DIGESA-V.01, a fin de verificar el cumplimiento de los parámetros microbiológicos exigidos para bebidas fermentadas de consumo humano.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 12. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.

El análisis de los resultados se realizó considerando el proceso de fermentación de cada tratamiento. La fermentación tuvo una duración total de 90 horas, tras lo cual las muestras fueron sometidas a un reposo de 3 días, antes de ejecutar los análisis fisicoquímicos correspondientes.

Se evaluaron los parámetros de pH, acidez volátil y el grado alcohólico, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4. Estos parámetros fueron analizados de manera independiente para posteriormente determinar la relación estadística existente entre las variables de control, temperatura, velocidad de agitación y concentración de levadura, y las variables de respuesta de carácter fisicoquímico y microbiológico. Las muestras de chicha de jora fueron almacenadas en envases de 300 ml y conservadas a una temperatura de 6°C hasta su evaluación.

**Tabla 4:** Datos obtenidos de los ensayos fisicoquímicos realizados.

Trata-miento	Código	Parámetros T°/RPM/[ ]	Porcentaje de Alcohol	Acidez Volátil (% Ac. Acético)	pH
1	A1B1C1	26/90/0,5	3,8	0,18	4,04
2	A1B1C2	26/90/1,0	4,2	0,24	3,97
3	A1B2C1	26/120/0,5	3,4	0,21	4,15
4	A1B2C2	26/120/1,0	3,2	0,27	4,14
5	A2B1C1	32/90/0,5	4,0	0,25	3,95
6	A2B1C2	32/90/1,0	3,0	0,31	3,97
7	A2B2C1	32/120/0,5	3,2	0,25	4,16
8	A2B2C2	32/120/1,0	3,6	0,36	4,19

**FUENTE:** Elaboración propia (2025)

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos en la evaluación fisicoquímica de la chicha de jora, destacando los parámetros de concentración de alcohol ( $^{\circ}\text{OH}$ ), acidez volátil (% ác. acético) y el pH, en función de los tres factores de control considerados: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidad de agitación (RPM) y concentración de levadura (%).

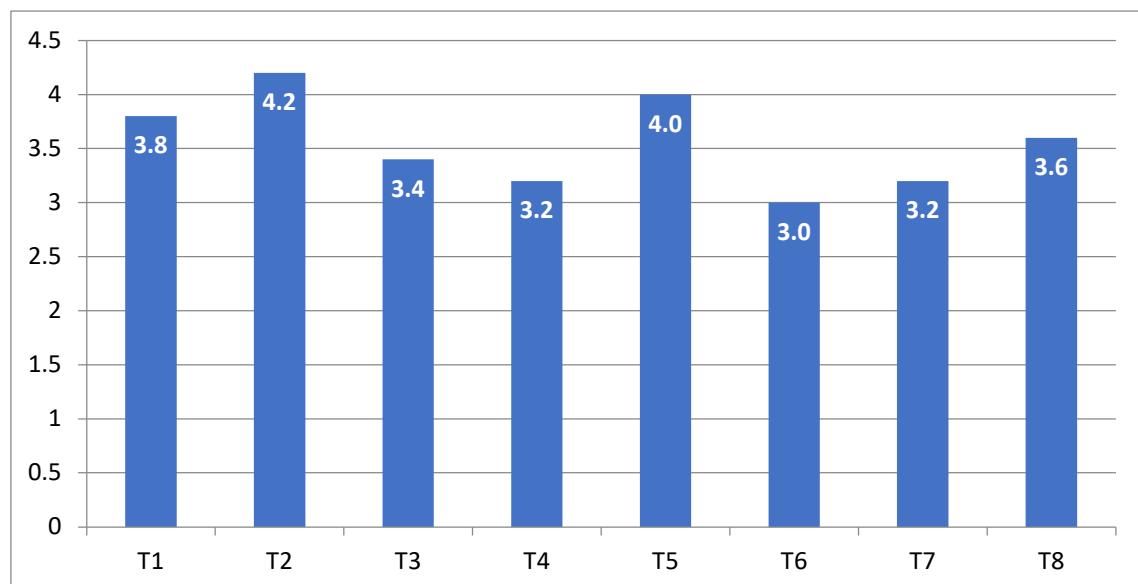
Se observa que el tratamiento dos (T2:  $26^{\circ}\text{C}$ , 90 RPM, 1% de levadura) presentó el mayor contenido alcohólico, con 4,2  $^{\circ}\text{OH}$ , seguido del tratamiento uno (T1) con 3,8  $^{\circ}\text{OH}$ . En contraste, el tratamiento seis (T6) mostró el menor contenido alcohólico, con 3,0  $^{\circ}\text{OH}$ .

En cuanto a la acidez volátil, el valor más alto se registró en el tratamiento ocho (T8) con 0,36% de ácido acético, seguido del tratamiento seis (T6) con 0,31%. El valor más bajo correspondió al tratamiento uno (T1), con 0,18% de acidez volátil.

Respecto al pH, el tratamiento ocho (T8) presentó el valor más elevado (pH = 4,19), seguido del tratamiento siete (T7) con pH = 4,16, mientras que el tratamiento cinco (T5) mostró el valor más bajo (pH = 3,95).

## 12.1. ANÁLISIS DEL GRADO ALCOHÓLICO.

A continuación, en la figura 6, se muestran los resultados comparados del parámetro de concentración de alcohol en los ocho tratamientos.



**Figura 6:** Efecto de los tratamientos en el porcentaje de alcohol.

La figura 6 evidencia que el tratamiento con mejor desempeño en cuanto a porcentaje de alcohol fue el tratamiento dos (T2: 26°C, 90 RPM y 1% de levadura), alcanzando una concentración de 4,2 °OH (4,2% GL).

Este resultado coincide con lo reportado por Ara et al. (2018), quienes señalan que el contenido final de alcohol en la chicha de jora se encuentra entre 4 y 5 °OH cuando la fermentación se desarrolla a una temperatura constante de 30°C y con un mosto de 15,63°Brix.

Asimismo, Periche (2018), en su estudio sobre aminas biógenas en chichas fermentadas de Abancay y Apurímac, reportó valores similares de pH, acidez y grado alcohólico, comparables con los obtenidos en diferentes regiones del país. En la misma línea, Barbosa et al. (2018) destacan que esta bebida se caracteriza por su naturaleza fermentada y ácida, resultado del metabolismo de los microorganismos involucrados en el proceso.

La tabla 5 presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al efecto de los factores temperatura, agitación y concentración de levadura sobre la variable dependiente grado alcohólico.

**Tabla 5:** ANOVA del factor grados alcohólicos.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,260 <sup>a</sup>	7	,180	.	.
Intersección	100,820	1	100,820	.	.
Temperatura	,080	1	,080	.	.
Agitación	,320	1	,320	.	.
Conc.Lev	,020	1	,020	.	.
Temperatura * Agitación	,180	1	,180	.	.
Temperatura * Conc.Lev	,080	1	,080	.	.
Agitación * Conc.Lev	,080	1	,080	.	.
Temperatura*Agitación*Conc.L	,500	1	,500	.	.
Error	,000	0	.		
Total	102,080	8			
Total corregido	1,260	7			

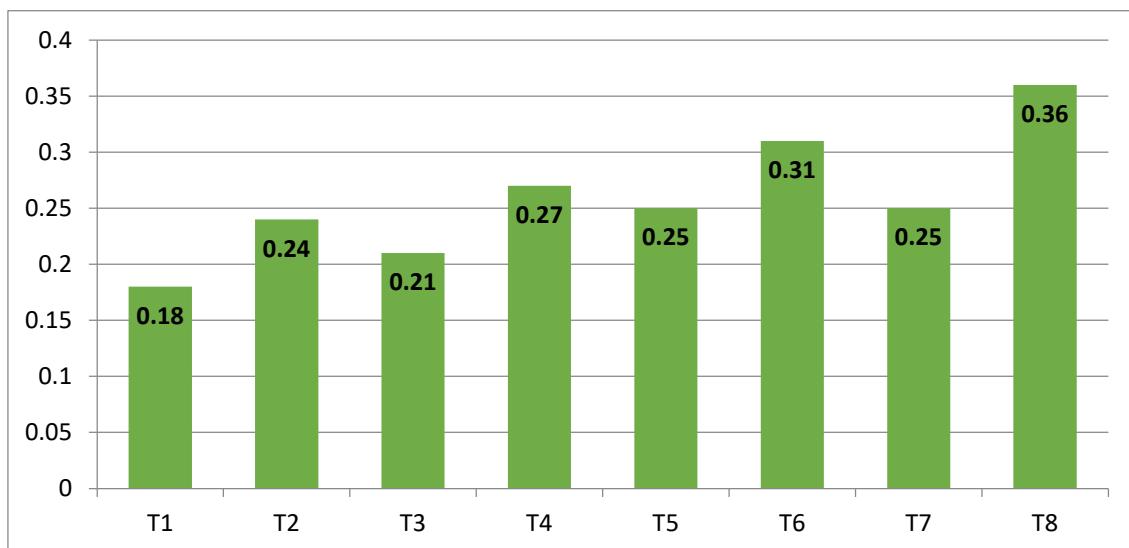
a.  $R^2 = 1,000$  ( $R^2$  ajustada = .)

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

El análisis estadístico indica que no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados, lo que sugiere que la combinación de estos factores no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido alcohólico de la chicha de jora.

## 12.2. ANÁLISIS DE LA ACIDEZ VOLÁTIL.

En la figura 7 se muestran los resultados comparativos de la acidez volátil obtenidos en los ocho tratamientos.



**Figura 7:** Efecto de los tratamientos en la acidez.

La figura 7 evidencia que el tratamiento con mayor nivel de acidez volátil fue el tratamiento ocho (T8: 32°C, 120 RPM y 1% de levadura), el cual alcanzó una concentración de 0,36% de ácido acético en la chicha de jora producida.

Este valor representa la mayor intensidad entre los tratamientos, lo cual puede atribuirse a la combinación de mayor temperatura de fermentación y mayor velocidad de agitación, condiciones que favorecen el metabolismo oxidativo de las levaduras y bacterias acéticas, incrementando así la producción de compuestos volátiles.

El resultado obtenido se encuentra cercano al promedio reportado por Periche (2018), quien determinó valores de acidez alrededor de 0,26% (expresado en ácido láctico) en muestras de chicha de jora de las

provincias de Abancay y Apurímac, mostrando similitud con los rangos observados en otras regiones del Perú.

Sin embargo, estos resultados difieren notablemente de los reportados por Estela et al. (2011), quienes obtuvieron una acidez de 468,0 mg/L (expresados en % ácido acético) en fermentaciones con condiciones de agitación controlada. La discrepancia podría deberse a que el estudio de estos autores se realizó con sustratos frutales, los cuales presentan una composición de azúcares y ácidos orgánicos distinta a la de los cereales utilizados en la chicha de jora, influyendo así en la intensidad de la fermentación y en la generación de compuestos ácidos.

La tabla 6 muestra el análisis de varianza de efectos entre la variable acidez volátil y las variables de control de temperatura y concentración de levadura.

**Tabla 6:** ANOVA del factor acidez volátil.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,020 <sup>a</sup>	3	,007	12,364	,017
Intersección	,536	1	,536	996,488	,000
Temperatura	,009	1	,009	16,953	,015
Conc.Lev	,011	1	,011	19,558	,011
Temperatura * Conc.Lev	,000	1	,000	,581	,488
Error	,002	4	,001		
Total	,558	8			
Total corregido	,022	7			

a.  $R^2 = 0,903$  ( $R^2 = 0,830$ )

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 6, se observa que las variables temperatura ( $p = 0,015 < 0,05$ ) y concentración de levadura ( $p = 0,011 < 0,05$ ) presentan efectos estadísticamente significativos sobre la acidez volátil de la chicha de jora.

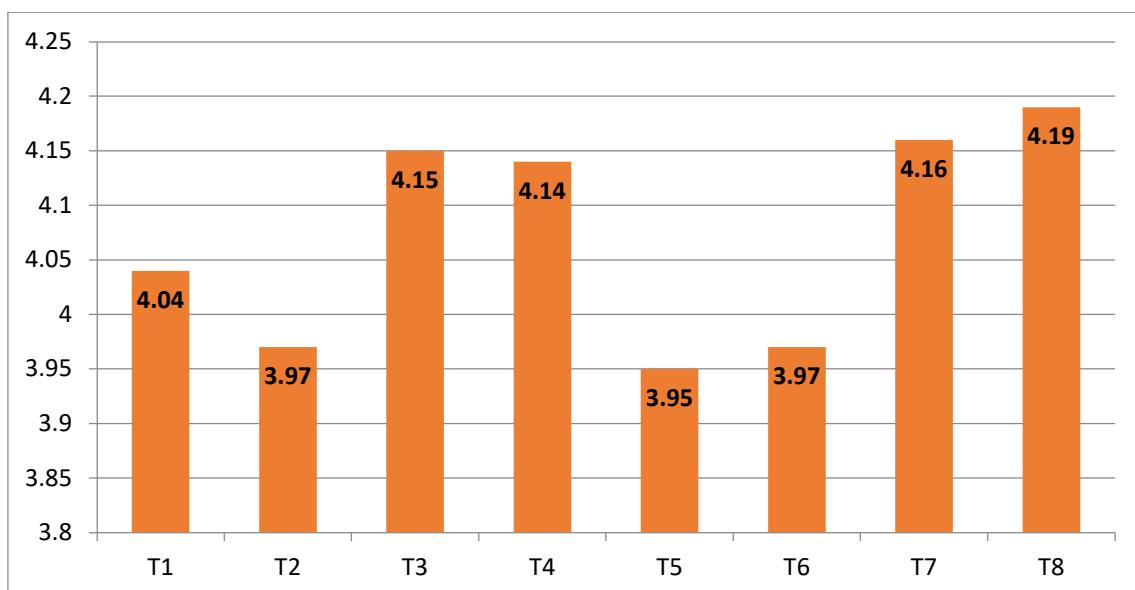
Esto indica que tanto el aumento de la temperatura como la mayor concentración de levadura influyen directamente en el incremento del

contenido de ácido acético durante la fermentación. Por otro lado, la interacción entre ambas variables (temperatura x concentración de levadura) no mostró un efecto significativo ( $p = 0,488 > 0,05$ ), lo que sugiere que sus efectos son independientes y no sinérgicos.

El alto valor de correlación  $R^2$  (0,903) demuestra que el modelo explica el 90,3% de la variabilidad total observada de los datos, lo cual respalda la consistencia estadística del análisis realizado.

### 12.3. ANÁLISIS DEL pH.

Los resultados relativos al pH obtenido en los ocho tratamientos se presentan en la Figura 8.



**Figura 8:** Efecto de los tratamientos en el nivel de pH.

La Figura 8 muestra que el tratamiento con el mayor nivel de pH corresponde al tratamiento ocho (T8: 32°C, 120 RPM y 1,0% de levadura), alcanzando un pH de 4,19. Este valor se encuentra dentro del rango considerado óptimo para bebidas fermentadas como la chicha de jora, el cual, según la literatura especializada, varía entre 4,1 y 4,3. Por lo tanto, el resultado del tratamiento ocho (T8) confirma una adecuada evolución del proceso fermentativo, conservando la acidez característica del producto sin llegar a valores excesivamente bajos que podrían comprometer su estabilidad microbiológica o sensorial.

De manera consistente, Ara et al. (2018) reportaron un valor de  $\text{pH} = 4,13 \pm 0,3$  tras 48 horas de fermentación en condiciones controladas, lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

Por otro lado, Custodio y Rivas (2024), en su estudio sobre influencia de la temperatura y el pH en el pretratamiento para mejorar la fermentación por *Saccharomyces cerevisiae*, hallaron rendimientos más favorables a un pH 4,8, ligeramente superior al de esta investigación, debido a las diferencias en la cepa utilizada y en la composición del medio.

Asimismo, López y Merino (2024), al evaluar la fermentación de la cáscara de naranja en un rango de pH entre 4,5 y 5,5, concluyeron que la variación de este parámetro no tuvo un efecto significativo sobre el grado alcohólico obtenido. Esta comparación evidencia que los valores de pH dependen en gran medida del sustrato fermentado y de las condiciones ambientales del proceso.

Se muestra en la tabla 7 el análisis de los efectos asociados a la variable pH mediante ANOVA y las variables de control de temperatura y agitación.

**Tabla 7:** ANOVA del factor nivel de pH.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,066 <sup>a</sup>	3	,022	27,910	,004
Intersección	132,601	1	132,601	168381,730	,000
Temperatura	,000	1	,000	,143	,725
Agitación	,063	1	,063	80,016	,001
Temperatura * Agitación	,003	1	,003	3,571	,132
Error	,003	4	,001		
Total	132,670	8			
Total corregido	,069	7			

a.  $R^2 = 0,954$  ( $R^2 = 0,920$ )

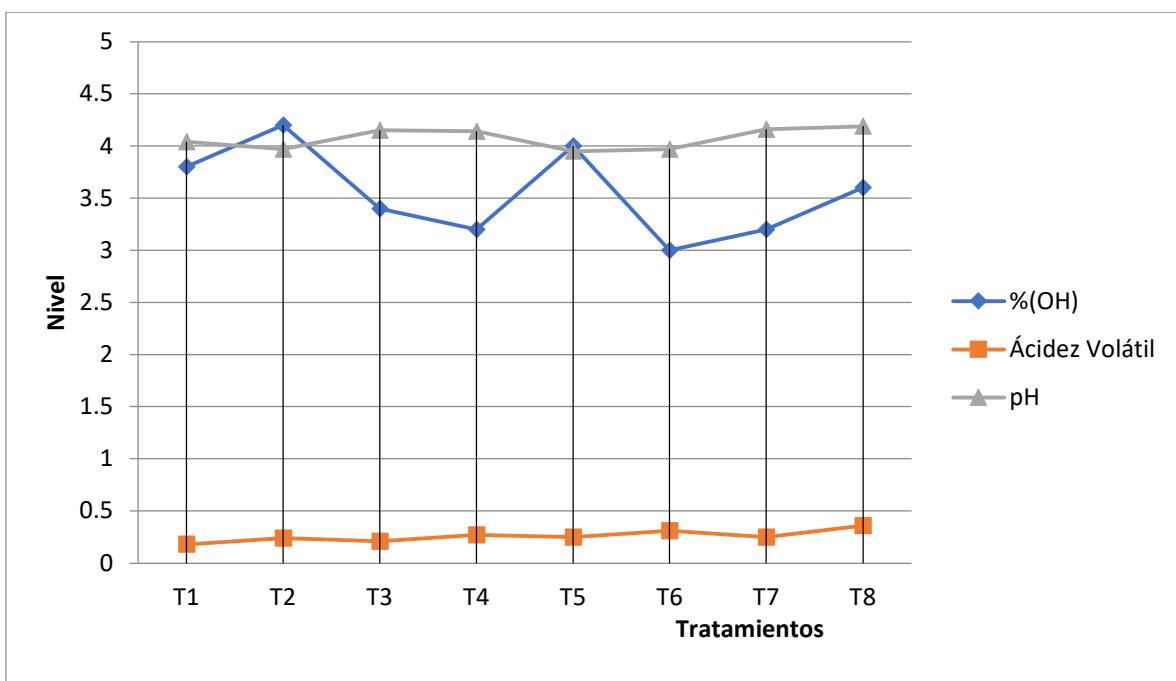
**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

De acuerdo con los resultados de la tabla 7, se evidencia que únicamente la variable agitación presenta un efecto estadísticamente significativo sobre el nivel de pH ( $p = 0,001 < 0,05$ ). En cambio, las variables temperatura ( $p =$

$0,725 > 0,05$ ) y la interacción temperatura – agitación ( $p = 0,132 > 0,05$ ) no mostraron efectos significativos.

Esto indica que la velocidad de agitación influye directamente en el nivel final de pH de la chicha de jora. Una agitación más intensa favorece una mayor homogeneización del medio, lo que estimula la actividad metabólica de las levaduras, acelerando la transformación de los azúcares fermentables y modificando la producción de compuestos ácidos.

El alto valor de  $R^2$  (0,954) confirma que el modelo estadístico explica el 95,4% de la variabilidad total observada, lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos.



**Figura 9:** Comparación de niveles de concentración de alcohol, acidez volátil y pH de los tratamientos realizados.

La Figura 9 presenta los resultados de los principales factores de calidad evaluados en esta investigación: contenido de alcohol, acidez volátil y nivel de pH, correspondientes a los ocho tratamientos realizados. Entre ellos, el tratamiento 8 (T8: 32°C, 120 RPM y 1% de levadura) mostró la combinación más equilibrada de los tres parámetros, alcanzando valores de 3,6% de alcohol, 0,36 g/L de acidez volátil y pH 4,19, los cuales se aproximan a los rangos considerados óptimos para una bebida tradicional de chicha de jora.

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Suárez (2017), quien reportó un promedio de 2,7% de grado alcohólico, aunque con un pH ligeramente inferior de 3,8 y una acidez total de 0,2 g/L, evidenciando cierta variabilidad atribuible a las condiciones de fermentación y al tipo de levadura empleada.

### **13. EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL.**

El proceso de fermentación de la chicha de jora depende de múltiples factores que influyen directamente en las características fisicoquímicas y organolépticas del producto final. Entre los parámetros de control más relevantes se encuentran la temperatura, la agitación y la concentración de levadura, los cuales determinan la eficiencia metabólica de los microorganismos y, por consiguiente, la formación de compuestos como el etanol, los ácidos orgánicos y los precursores aromáticos.

En este estudio, se evaluó la influencia de dichos parámetros sobre la calidad de la bebida fermentada, a fin de identificar las condiciones más adecuadas para obtener un producto estable, inocuo y con características propias de la chicha tradicional.

#### **13.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA.**

El control de temperatura durante la fermentación resulta fundamental para evaluar su influencia en la calidad del producto final. En la preparación artesanal de chicha de jora no suele realizarse dicho control; el mosto fermenta de forma empírica, generalmente cubierto con mantas y almacenado en lugares secos y oscuros durante siete a doce días, expuesto a las fluctuaciones térmicas diurnas y nocturnas.

La temperatura incide directamente en la actividad metabólica de las levaduras, que muestran un rango óptimo de crecimiento y fermentación entre 25 y 35°C, siendo más eficiente bajo condiciones térmicas estables que bajo variaciones constantes. En esta investigación se emplearon dos temperaturas controladas (26 °C y 32°C) durante todo el proceso de elaboración. Según la Tabla 4, los tratamientos a 32°C presentaron mayor contenido alcohólico, evidenciando una fermentación más activa.

Estos resultados son coherentes con lo reportado por Barco (2017), quien observó un mejor rendimiento fermentativo en un sustrato de quinua y soya inoculado con *Lactobacillus casei* a 37°C. De igual manera, Samaniego y Taipe (2022) señalan que la temperatura óptima de fermentación con levaduras es de aproximadamente 30°C. En contraste, Custodio y Rivas (2024) emplearon *Saccharomyces cerevisiae* en un pretratamiento a 80°C para mejorar el rendimiento en un proceso distinto. Por otro lado, en fermentaciones de frutas, las temperaturas óptimas suelen ser menores: Gonzalez (2019) reporta 13°C para *S. cerevisiae* en sidra, mientras que Estela et al. (2011) encontraron producción de hasta 4,02% v/v de etanol con *Hanseniaspora uvarum* en un cultivo estático a 28°C. Estas diferencias reflejan la influencia del tipo de sustrato y microorganismos en la temperatura óptima de fermentación.

### **13.2. EFECTO DE LA AGITACIÓN.**

El segundo parámetro de control evaluado fue la agitación, utilizando dos niveles: 90 y 120 RPM. En la producción artesanal tradicional, el proceso se desarrolla de manera estática; sin embargo, la agitación controlada contribuye a mantener las células de levadura y los nutrientes del sustrato en suspensión, favoreciendo la transferencia de masa, la homogeneidad del medio y el mantenimiento de un pH adecuado en el producto final.

Los resultados muestran que los tratamientos realizados a 120 RPM presentaron mejores características de pH y una fermentación más uniforme (Tabla 4). Esto evidencia que una mayor agitación mejora la dispersión de oxígeno y nutrientes durante la fase inicial de crecimiento de la levadura, optimizando la fermentación.

Comparativamente, García et al. (2024) reportaron mejores rendimientos en la fermentación con *Pichia fermentans* a 125 RPM, aunque bajo condiciones de modelamiento de proceso distintas. Por su parte, Estela et al. (2011) observaron una menor producción de etanol en cultivos agitados, por aireación, empleando *Hanseniaspora uvarum*, lo que confirma que el efecto de la agitación también depende del tipo de microorganismo y de la naturaleza del sustrato empleado.

### **13.3. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LEVADURA.**

Finalmente, se evaluó la influencia de la concentración de levadura mediante dos niveles de inóculo: 0,5% y 1,0%. Aunque algunos productores artesanales emplean *Saccharomyces cerevisiae*, la mayoría de elaboraciones tradicionales dependen de una fermentación espontánea, promovida por microorganismos presentes en las paredes de arcilla de las ollas o cántaros. Sin embargo, este método conlleva riesgos microbiológicos y variabilidad en la calidad del producto.

El control del inóculo permite obtener una fermentación más predecible y segura. Además, el contenido inicial de levadura influye en la formación de alcoholes superiores, que en exceso pueden afectar la inocuidad del producto. En la Tabla 4, se observa que los tratamientos con una concentración del 1% de levadura presentaron mayor producción de alcohol y un equilibrio más adecuado de las propiedades fisicoquímicas.

Estos hallazgos coinciden con los de López y Merino (2024), quienes reportaron que una mayor concentración de levadura (10–20 g/L) mejoró la producción de bioetanol a partir de cáscara de naranja. Por contraste, Samaniego y Taipe (2022) determinaron que una concentración de 10% resultó óptima en la fermentación de residuos sólidos orgánicos hidrolizados, lo cual refuerza que la cantidad de inóculo óptima depende del tipo de sustrato y del objetivo del proceso fermentativo.

## **14. ANÁLISIS SENSORIAL DE LOS OCHO TRATAMIENTOS APLICADOS EN LA CHICHA DE JORA.**

El análisis sensorial constituye una etapa fundamental en la evaluación de la calidad de productos fermentados, ya que permite determinar el grado de aceptabilidad y preferencia del consumidor frente a las distintas formulaciones experimentales. En esta investigación, se realizó la evaluación sensorial de la chicha de jora elaborada bajo ocho tratamientos experimentales, con el propósito de identificar cuál de ellos presenta las características organolépticas más agradables.

La evaluación fue desarrollada con la participación de 20 panelistas semientrenada

dos conformados por estudiantes de los últimos ciclos de las escuelas profesionales de Ingeniería en Industrias Alimentarias y de Ingeniería Agroindustrial. Se empleó la escala hedónica de nueve puntos, que va desde “me disgusta extremadamente” (1) hasta “me gusta extremadamente” (9). Los panelistas calificaron cuatro atributos sensoriales: color, olor, sabor y textura.

Los resultados promedio de cada atributo para los ocho tratamientos se presentan en la Tabla 8, mientras que los registros individuales de evaluación se incluyen en el Anexo 3.

**Tabla 8:** Evaluación sensorial de la apariencia general de los diferentes tratamientos de la chicha de jora procesada.

Tratamiento	Código	COLOR	OLOR	SABOR	TEXTURA	Prom.
1	A1 B1 C1	5,85	5,00	3,85	5,20	4,98
2	A1 B1 C2	6,55	5,85	5,45	5,75	5,90
3	A1 B2 C1	6,15	6,10	4,35	5,40	5,50
4	A1 B2 C2	6,35	5,80	4,95	5,80	5,70
5	A2 B1 C1	6,35	5,95	4,35	5,40	5,50
6	A2 B1 C2	6,60	5,75	4,95	5,65	5,70
7	A2 B2 C1	6,25	6,00	4,70	5,50	5,60
8	A2 B2 C2	6,70	5,90	5,85	6,10	6,10

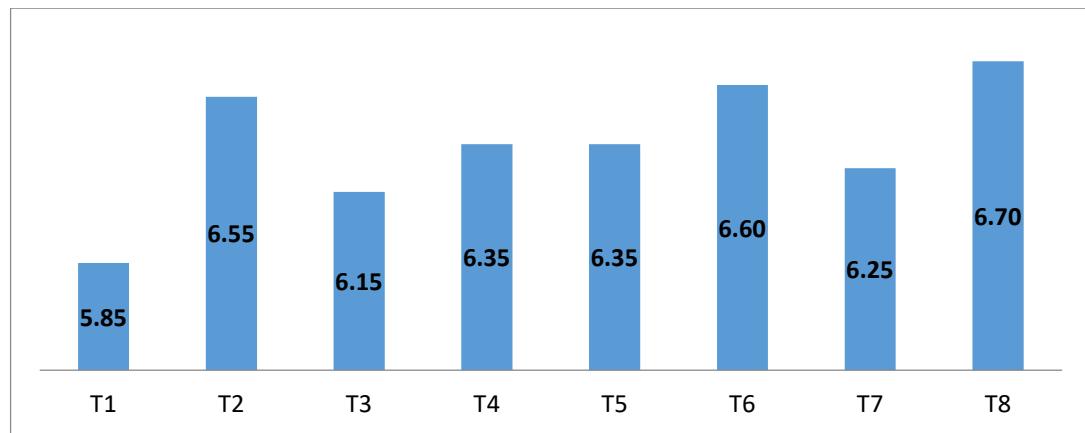
**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

De acuerdo con los resultados, la Tabla 8 muestra que el tratamiento ocho (T8: A2B2C2) obtuvo la mayor puntuación promedio otorgada por el panel de 6,10, seguido por el tratamiento dos (T2) con 5,90, ambos ubicándose dentro del rango de “me gusta ligeramente” a “me gusta moderadamente”. Por el contrario, el tratamiento uno (T1) obtuvo el menor nivel de aceptación con 4,98, considerándose el menos preferido por el panel sensorial.

#### 14.1. ATRIBUTO COLOR.

El atributo color constituye un factor determinante en la primera impresión y aceptación del consumidor, ya que está asociado a la percepción de frescura, calidad y autenticidad del producto.

La Figura 10 muestra la comparación de los resultados sensoriales correspondientes al color de la chicha de jora en los diferentes tratamientos.



**Figura 10:** Análisis sensorial del atributo color en la chicha de jora elaborada.

Los resultados mostrados en la figura 10 evidencian variaciones significativas entre los ocho tratamientos, atribuibles principalmente a las diferencias en la concentración de levadura y en el nivel de agitación, factores que inciden en la turbidez y tonalidad final del producto. El tratamiento ocho, (T8: A2B2C2), obtuvo el mayor puntaje promedio (6,70), correspondiente al nivel de agrado de “me gusta moderadamente”, lo que sugiere una mayor aceptación visual respecto a los demás tratamientos. El análisis de varianza para el atributo color se presenta en la tabla 9.

**Tabla 9:** ANOVA del atributo color.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	55.650 <sup>a</sup>	26	2.140	2.525	0.000
Intersección	6451.600	1	6451.600	7610.313	0.000
Panelistas	45.150	19	2.376	2.803	0.000
Tratamientos	10.500	7	1.500	1.769	<b>0.099</b>
Error	112.750	133	0.848		
Total	6620.000	160			
Total corregido	168.400	159			

a.  $R^2 = 0.330$  ( $R^2$  ajustada = 0.200)

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

El análisis estadístico indica que no existe diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos para el atributo color, por tanto, se concluye que las condiciones experimentales evaluadas no afectan de manera significativa la percepción visual del producto.

Sin embargo, se observa una tendencia favorable hacia el tratamiento ocho (T8), que presenta un color más uniforme y atractivo, posiblemente asociado a una fermentación más completa y a una mejor estabilidad del pigmento del maíz durante el proceso.

La Tabla 10 presenta el análisis de comparación múltiple (HSD de Tukey) para los grupos homogéneos

**Tabla 10:** Prueba de comparación múltiple de Tukey para el atributo color.

Tratamientos	N	Subconjunto 1
T1	20	5.85
T3	20	6.15
T7	20	6.25
T4	20	6.35
T5	20	6.35
T2	20	6.55
T6	20	6.60
T8	20	6.70
Sig.		0.077

El término de error corresponde a la media cuadrática (Error) = 0.848

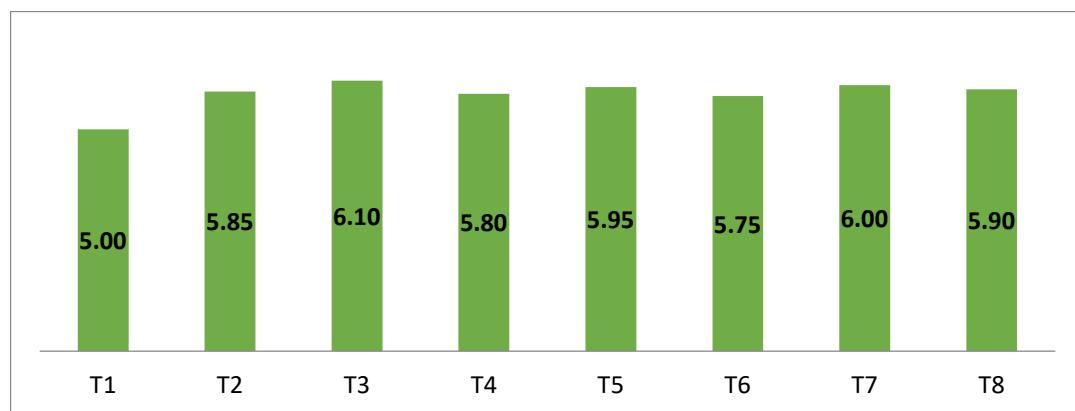
- Se utilizó el tamaño de muestra de la media armónica = 20.000.
- Nivel de significancia = 0.05.

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

En la tabla 10 se observa que según la prueba de Tukey, el tratamiento 8 obtuvo el mayor promedio, aunque no difiere significativamente de los tratamientos T2, T6, T4, T7, los cuales se agrupan dentro del mismo subconjunto homogéneo. En consecuencia, puede afirmarse que los tratamientos mencionados presentan una aceptabilidad similar en cuanto al atributo color, manteniendo un aspecto característico de la chicha de jora tradicional.

## 14.2. ATRIBUTO OLOR.

La figura 11 presenta los resultados de la evaluación sensorial correspondiente al atributo de olor de la chicha de jora elaborada bajo los diferentes tratamientos.



**Figura 11:** Análisis sensorial del atributo olor de la chicha de jora procesada.

En la figura 11 se observa una ligera variación entre los ocho tratamientos, lo cual sugiere que todos conservaron el aroma característico de la chicha de jora, propio del proceso de fermentación del maíz malteado. Sin embargo, el tratamiento tres (T3: A1B2C1) alcanzó el promedio más alto (6,10), valor próximo al nivel de agrado de “me gusta un poco”; por ello, se considera que este tratamiento presentó el olor más agradable para los panelistas. La tabla 11 muestra el análisis de varianza para el atributo olor.

**Tabla 11:** Análisis de varianza (ANOVA) del atributo olor.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	166.463 <sup>a</sup>	26	6.402	5.468	0.000
Intersección	5370.806	1	5370.806	4586.859	0.000
Panelistas	150.319	19	7.912	6.757	0.000
Tratamientos	16.144	7	2.306	1.970	0.064
Error	155.731	133	1.171		
Total	5693.000	160			
Total corregido	322.194	159			

a.  $R^2 = 0.517$  ( $R^2$  ajustada = 0.422)

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

Los resultados del ANOVA muestran que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos para el atributo olor. Esto indica que las variaciones en temperatura, agitación y concentración de levadura no ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la percepción olfativa del producto.

**Tabla 12:** Prueba de comparación múltiple de Tukey para el atributo olor.

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
T1	20	5.00	
T6	20	5.75	5.75
T4	20	5.80	5.80
T2	20	5.85	5.85
T8	20	5.90	5.90
T5	20	5.95	5.95
T7	20	6.00	6.00
T3	20		6.10
Sig.		0.076	0.970

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1.171

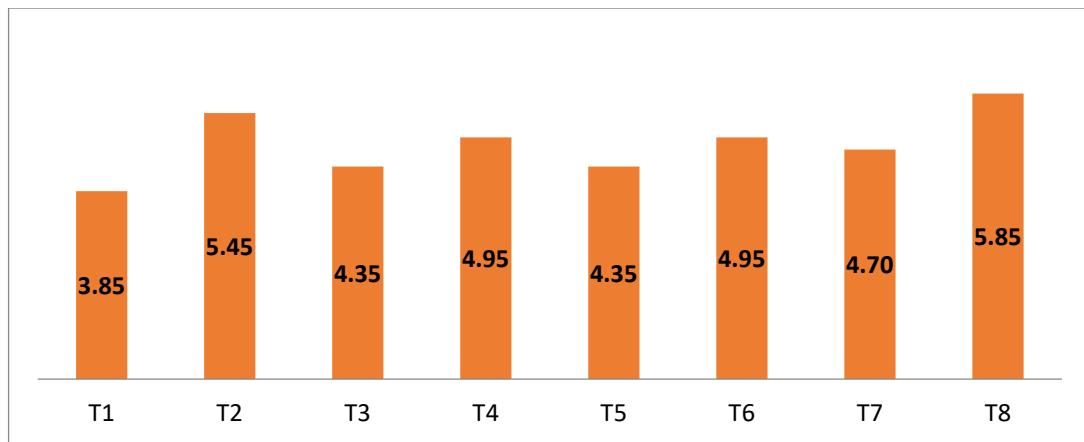
- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 20.000.
- Nivel de significancia = 0.05.

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

De la Tabla 12 se visualiza que el análisis de Tukey confirma que el tratamiento tres (T3) presentó la media más alta (6,10), mientras que los tratamientos T7, T5, T8, T2, T4 Y T6 resultaron estadísticamente similares entre sí. En consecuencia, aunque T3 obtuvo una ligera preferencia, no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual sugiere que el olor característico de la chicha de jora se mantuvo constante en todos los procesos de fermentación evaluados.

#### 14.3. ATRIBUTO SABOR.

La Figura 12 presenta los resultados de la evaluación sensorial del atributo de sabor de la chicha de jora elaborada bajo los diferentes tratamientos experimentales.



**Figura 12:** Evaluación sensorial del atributo gustativo de la chicha de jora procesada.

En la figura 12 se aprecia que el tratamiento ocho (T8: A2B2C2) alcanzó el promedio más alto con 5,85, valor que corresponde al nivel de agrado “me gusta un poco”. Esto indica que las condiciones de 32 °C de temperatura, 120 rpm de agitación y 1% de levadura favorecieron el desarrollo de un perfil gustativo equilibrado, asociado posiblemente a una adecuada conversión de azúcares residuales y a una moderada producción de compuestos volátiles durante la fermentación. Por lo tanto, el tratamiento ocho (T8) puede considerarse el más aceptable en cuanto al sabor entre los ocho procesos evaluados.

La tabla 13 muestra el análisis de varianza del atributo sabor.

**Tabla 13:** ANOVA del atributo sabor.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	277.863 <sup>a</sup>	26	10.687	5.443	0.000
Intersección	3696.006	1	3696.006	1882.459	0.000
Panelistas	220.119	19	11.585	5.901	0.000
Tratamientos	57.744	7	8.249	4.201	0.000
Error	261.131	133	1.963		
Total	4235.000	160			
Total corregido	538.994	159			

a.  $R^2 = 0.516$  ( $R^2$  ajustada = 0.421)

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

El análisis de varianza evidencia que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, lo que demuestra que los factores experimentales (temperatura, velocidad de agitación y concentración de levadura) influyeron significativamente en la percepción del sabor de la chicha de jora.

**Tabla 14:** Prueba de comparación múltiple de Tukey para el atributo sabor.

Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
T1	20	3.85		
T3	20	4.35	4.35	
T5	20	4.35	4.35	
T7	20	4.70	4.70	4.70
T4	20	4.95	4.95	4.95
T6	20	4.95	4.95	4.95
T2	20		5.45	5.45
T8	20			5.85
Sig.		0.212	0.212	0.167

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1.963.

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 20.000.
- Alfa = 0.05.

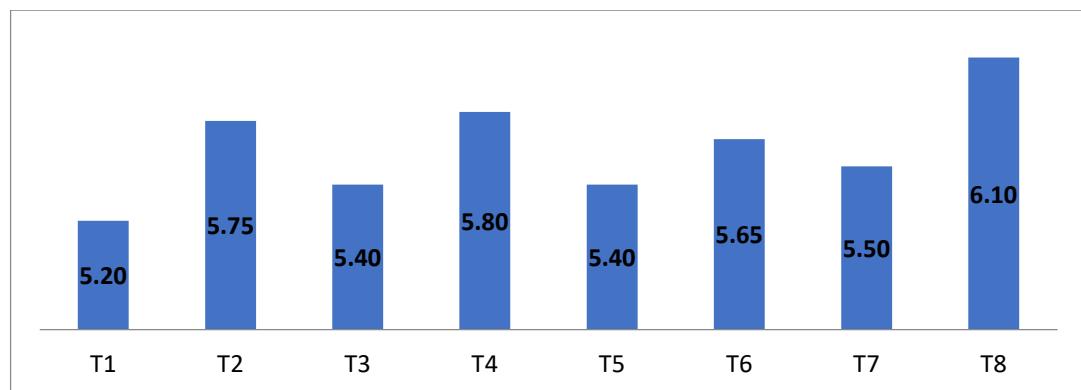
**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

La tabla 14 muestra los resultados de la prueba de Tukey que confirman que el tratamiento ocho (T8) obtuvo la puntuación más alta (5,85), diferenciándose significativamente de los tratamientos con menores promedios, como T1, T3 y T5. Sin embargo, los tratamientos T2, T6, T4 y T7 se ubican con rango estadísticamente similar ( $p > 0.05$ ), lo cual sugiere que presentan una aceptabilidad comparable en términos de sabor.

En conjunto, los resultados demuestran que las condiciones del tratamiento ocho (T8) optimizan la calidad gustativa de la chicha de jora, probablemente por un balance adecuado entre acidez, dulzor residual y compuestos aromáticos secundarios formados durante la fermentación.

#### 14.4. ATRIBUTO TEXTURA.

La figura 13 muestra el resultado de la evaluación sensorial del atributo de textura de la chicha de jora en sus diferentes tratamientos.



**Figura 13:** Evaluación sensorial en cuanto a las propiedades texturales de la chicha de jora procesada.

La figura 13 muestra que, de los resultados, el tratamiento ocho (T8: A2B2C2) alcanzó el promedio más alto (6,10), valor que se ubica dentro del nivel de agrado “me gusta un poco”. Este resultado indica que dicho tratamiento ofrece una textura más homogénea, agradable y consistente, características deseables en la chicha de jora tradicional. En consecuencia, el tratamiento ocho (T8) puede considerarse como el tratamiento más aceptable en cuanto al atributo textural. La tabla 15 muestra el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al efecto de los tratamientos sobre la textura de la bebida.

**Tabla 15:** ANOVA del atributo textura.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	248.950 <sup>a</sup>	26	9.575	10.316	0.000
Intersección	5017.600	1	5017.600	5405.758	0.000
Panelistas	237.650	19	12.508	13.475	0.000
Tratamientos	11.300	7	1.614	1.739	0.105
Error	123.450	133	0.928		
Total	5390.000	160			
Total corregido	372.400	159			

a.  $R^2 = 0.669$  ( $R^2$  ajustada = 0.604)

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

El análisis estadístico evidencia que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos para el atributo textura, aunque el modelo general explica el 66,9% de la variabilidad. Esto sugiere que las variaciones en la temperatura, velocidad de agitación y concentración de levadura influyen parcialmente en la textura, pero no de manera estadísticamente determinante.

La tabla 16 presenta la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, donde se observa la agrupación de los tratamientos según la similitud de sus medias.

**Tabla 16:** Prueba de comparación múltiple de Tukey del atributo textura.

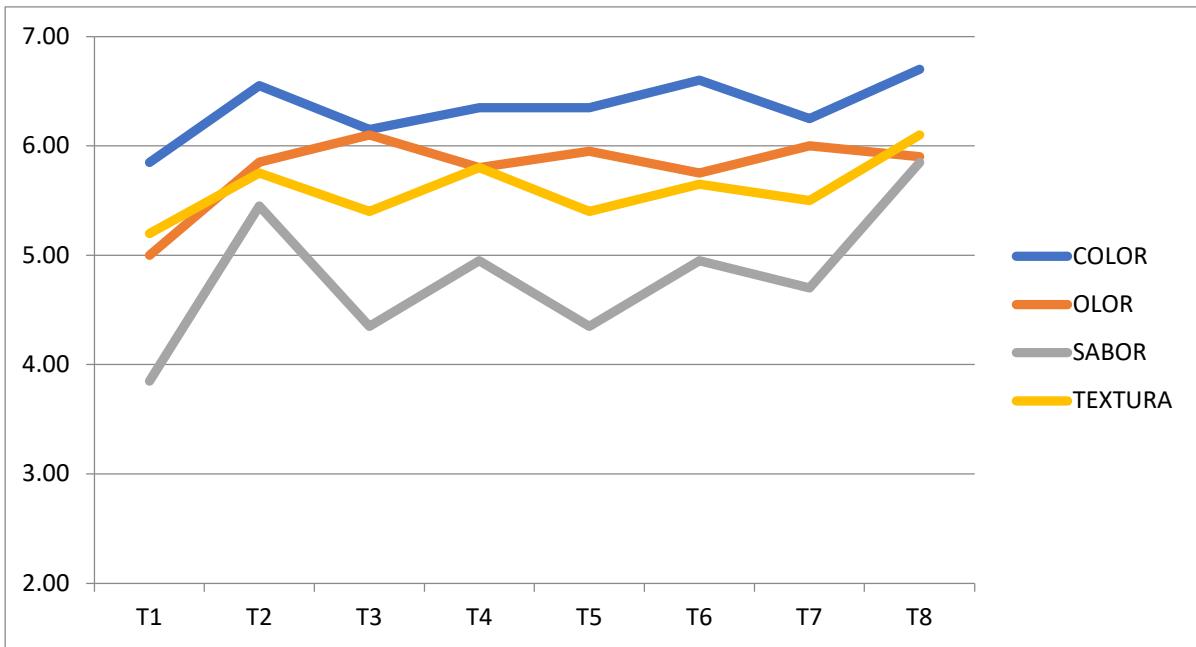
Tratamientos	N	Subconjunto 1
T1	20	5.20
T5	20	5.40
T3	20	5.40
T7	20	5.50
T6	20	5.65
T2	20	5.75
T4	20	5.80
T8	20	6.10
Sig.		0.070

El término de error es la media cuadrática (Error) = 0.928.

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 20.000.
- Alfa = 0.05.

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

En la tabla 16 se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. De acuerdo con los resultados, el tratamiento ocho (T8) presenta la mayor puntuación, aunque las diferencias con los demás tratamientos no son estadísticamente significativas ( $p = 0.070$ ). En consecuencia, se concluye que todos los tratamientos son estadísticamente similares en cuanto a textura, si bien el tratamiento ocho (T8) exhibe una ligera ventaja perceptiva en la apreciación sensorial general.



**Figura 14:** Comparación de niveles de apariencia general de los diferentes tratamientos de la chicha de jora experimental.

La Figura 14 presenta los resultados de la evaluación sensorial global de la chicha de jora obtenidos mediante una escala no estructurada (ver Anexo 2), con el propósito de identificar el tratamiento con mayor nivel de aceptación general. Los resultados indican que el tratamiento ocho (T8: A2B2C2), correspondiente a una temperatura de fermentación de 32°C, a una velocidad de agitación de 120 RPM y una concentración de levadura del 1,0%, alcanzó la puntuación promedio más alta (6,14), ubicada dentro del rango de agrado “me gusta un poco”.

De acuerdo con los resultados fisicoquímicos complementarios, el tratamiento ocho (T8) presentó una concentración final de alcohol de 3,0% (v/v), una acidez volátil de 0,36% y un pH final de 3,99, valores que se corresponden con los parámetros típicos de una chicha de jora de buena calidad sensorial y estabilidad microbiológica. Estos resultados sugieren que la combinación de temperatura moderada, agitación leve y constante y concentración inicial óptima de levadura favorece una fermentación equilibrada, lo que se refleja en una bebida con mejor sabor, textura y aceptación general.

Los hallazgos coinciden parcialmente con los reportados por Suárez (2017), quien encontró una mayor aceptación en la chicha de jora elaborada mediante el método tradicional frente al método muk'eado, atribuyendo dicha preferencia al perfil sensorial más balanceado del primero. Sin embargo, difieren los resultados de Ara et al. (2018), quienes observaron una mejor aceptación en la chicha elaborada con maíz negro, en comparación con la producida a partir de maíz rojo o morocho.

En conjunto, los resultados del presente estudio evidencian que el tratamiento ocho (T8) ofrece una composición fisicoquímica adecuada y una evaluación sensorial favorable, por lo que puede considerarse como la condición óptima de fermentación para la obtención de una chicha de jora con características de calidad aceptables y preferidas por los consumidores.

## **15. COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LA CHICHA DE JORA TRADICIONAL Y LA DEL TRATAMIENTO MÁS ACEPTABLE.**

En la tabla 17, se presentan los resultados del análisis de composición químico proximal de la chicha de jora correspondiente al tratamiento ocho (T8: A2B2C2), identificado como el mejor desempeño fisicoquímico y sensorial, en comparación con la chicha de jora tradicional y los valores de referencia obtenidos de la Tabla de Composición de Alimentos.

**Tabla 17:** Composición químico proximal comparativa de la chicha de jora.

Análisis proximal	Chicha de jora tradicional	T8 A2B2C2	Tabla de composición de Alimentos
Humedad (%)	90,22	89,06	93,2
Cenizas (%)	0,20	0,06	0,0
Grasa (%)	0,07	0,08	0,3
Proteína (%)	0,40	0,60	0,4
Fibra cruda (%)	1,68	0,34	0,0
Carbohidratos (%)	9,11	10,70	5,8
Contenido calórico (Kcal/100 ml)	38,67	43,84	28,0

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

La tabla 17 muestra que la chicha de jora elaborada bajo el tratamiento ocho (T8) presenta ligeras diferencias respecto a la chicha tradicional, particularmente en los contenidos de fibra cruda y valor energético. Se observa una reducción significativa en la fibra cruda (0,34% frente a 1,68%) y un aumento en el contenido calórico (43,84 Kcal/100 mL frente a 38,67 Kcal/100 mL). Estas variaciones pueden atribuirse a las condiciones controladas de fermentación aplicadas en el tratamiento ocho (T8), que favorecen una mayor conversión de carbohidratos en compuestos fermentables y una disminución de los residuos fibrosos, mejorando así la calidad nutricional y la aceptación sensorial del producto.

En términos generales, la composición proximal del tratamiento ocho (T8) se encuentra dentro de los rangos esperados para bebidas fermentadas tradicionales, y las diferencias observadas con la chicha de jora tradicional y los valores de referencia confirman que el proceso optimizado contribuye a una bebida con mejor balance de componentes y mayor valor energético, manteniendo su identidad típica.

## 16. EVALUACIÓN DE LA CARGA MICROBIANA EN LA CHICHA DE JORA TRADICIONAL Y LA DEL MEJOR TRATAMIENTO.

La tabla 18 presenta los resultados del análisis microbiológico comparativo entre la chicha de jora tradicional y la chicha de jora obtenida del tratamiento más aceptable (T8: A2B2C2), con el objetivo de determinar la carga microbiana y contrastarla con los límites establecidos por el Ministerio de Salud (MINSA) para bebidas fermentadas bajo contenido alcohólico.

**Tabla 18:** Análisis microbiológico de la chicha de jora tradicional y la de mejor tratamiento.

Microorganismos	Chicha de jora tradicional	Chicha de jora del mejor tratamiento	Máximo permitido por MINSA
Aerobios mesófilos viables	< 10	< 10	< 10
Mohos (UFC/ml)	< 10	< 10	< 5
Levaduras (UFC/ml)	1.9x10 <sup>4</sup>	< 10	< 10
Coliformes totales (NMP/ml)	< 3	< 3	--

**FUENTE:** Elaboración propia (2025).

Los resultados muestran que ambas muestras cumplen con los parámetros microbiológicos establecidos por el MINSA, ya que no se detectó presencia de coliformes totales, lo que indica una adecuada higiene y control del proceso de fermentación.

Asimismo, la ausencia de aerobios mesófilos viables y mohos en ambas muestras evidencia que el almacenamiento durante siete días no generó alteraciones microbiológicas significativas. No obstante, se observó una marcada diferencia en el recuento de levadura, ya que la chicha tradicional presentó una concentración de  $1.9 \times 10^4$  UFC/ml, mientras que la chicha del tratamiento T8 mostró valores inferiores a 10 UFC/ml, dentro de los límites permitidos.

Esta diferencia puede atribuirse a las condiciones controladas de fermentación y agitación aplicadas en el tratamiento T8, las cuales favorecen una actividad fermentativa más estable y una mejor conservación del producto. En consecuencia, la chicha de jora del tratamiento optimizado presenta mayor estabilidad microbiológica y menor riesgo de deterioro durante el almacenamiento, garantizando así una mejor calidad sanitaria y sensorial en comparación con la chicha tradicional.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES:

- Se evaluó el efecto de las variables: temperatura, velocidad de agitación y concentración de levadura sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la chicha de jora, determinándose que el tratamiento ocho (T8: A2B2C2), cuyos parámetros son: 32 °C, 120 RPM y 1,0 % de levadura, presentó los resultados más favorables. Este tratamiento alcanzó una graduación alcohólica de 4,2 % (v/v), una acidez volátil de 0,36 g/L y un pH de 4,19, valores que se encuentran dentro de los rangos normativos de calidad establecidos para bebidas fermentadas tradicionales.
- El análisis sensorial evidenció que el tratamiento ocho (T8: A2B2C2) obtuvo la mayor aceptación por parte de los panelistas, alcanzando un promedio general de 6,10 puntos en la escala hedónica de nueve, correspondiente al nivel de agrado “me gusta un poco”. Este resultado confirma que las condiciones de fermentación aplicadas (32°C de temperatura, 120 RPM de agitación y 1,0 % de concentración de levadura) favorecieron una apariencia, aroma, sabor y textura más apreciados por los evaluadores, consolidándose como la formulación óptima para la obtención de una chicha de jora de mejor calidad sensorial.
- Los resultados de la evaluación microbiológica demostraron que tanto el tratamiento óptimo como las demás formulaciones cumplen con los límites establecidos por el Ministerio de Salud para bebidas fermentadas de bajo contenido alcohólico. Sin embargo, la chicha de jora obtenida del tratamiento ocho (T8) presentó una menor carga microbiana total en comparación con la muestra tradicional, evidenciando mejor estabilidad sanitaria y conservación del producto durante el almacenamiento.

## **RECOMENDACIONES:**

- Se recomienda ampliar la investigación incorporando nuevos parámetros de control durante la fermentación, como tiempo de fermentación, tipo de levadura y características del sustrato, con el propósito de optimizar aún más la calidad fisicoquímica, sensorial e inocuidad de la chicha de jora, favoreciendo su estandarización e industrialización para el mercado regional y nacional.
- Se recomienda realizar la identificación, aislamiento y selección de cepas nativas de levaduras provenientes de chichas tradicionales, con el objetivo de caracterizar su comportamiento fermentativo y determinar su influencia en los perfiles sensoriales diferenciados de la bebida. Esta línea de investigación contribuiría a preservar la biodiversidad microbiana autóctona y a desarrollar productos con identidad regional y valor agregado.
- Es conveniente determinar la vida útil de los tratamientos experimentales mediante análisis sensorial, fisicoquímico y microbiológico periódicos, a fin de evaluar la estabilidad del producto en el tiempo y establecer condiciones adecuadas de conservación y envasado que garantice su inocuidad y aceptabilidad.
- Se sugiere realizar estudios de mercado orientados a identificar la aceptación del consumidor hacia la chicha de jora procesada bajo condiciones semiindustriales, evaluando además su viabilidad comercial y competitividad frente a otras bebidas alcohólicas tradicionales. Esto permitirá diseñar estrategias de posicionamiento y valorización del producto como una bebida representativa del patrimonio cultural y gastronómico peruano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Adams, M. & Moss, M. (Ed). (2008). *Food Mirobiology*. The Royal Society of Chemistry. [https://books.google.com.pe/books/about/Food\\_Microbiology.html?id=g4zkCkoQRQ0C&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Food_Microbiology.html?id=g4zkCkoQRQ0C&redir_esc=y)
- Alvarado-Ortiz, C. y Blanco, T. (2011). *Alimentos. Bromatología*. (2da ed.). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. (UPC)
- Anzaldúa, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. *Acribia*. Zaragoza, España.
- Asociación de Exportadores – ADEX (2009). *Ficha de requisitos técnicos de acceso al mercado de EE.UU. Requisitos no arancelarios*. (Partida arancelaria: 2206.00.00.00). <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/Chicha%20de%20Jora.pdf>
- Ara, S., Hurtado, A., Barnett, E., Celi, L. y Ramos, M. (2018). Optimización de parámetros del proceso de elaboración de chicha de jora. *Campus USMP*, 23(25), 11-28.
- Barbosa, F., Carvaja-Barriga, E., Guamán, M., Portero-Barahona, P., Morato, A., Daher, L., Oliveira, F. y Rosa, C. (2018) *Saccharomyces cerevisiae* populations and other yearsts associated with indigenous beers (chicha) of ecuador. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(4), 808-815.
- Barco, L. (2017). *Elaboración de bebida fermentada a base del extracto de quinua (chenopodium quinoa Willd) y soya (Glycine max) con la aplicación de probióticos*. [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/f1513f28-bad5-497e-a9d5-0182afee25f1/content>
- Bartolo, L., Cabellos, J., Gavidia, A. y Hoyos, C. (2013). Efecto del vacío en la absorbancia y el grado alcohólico en dos tipos de Chicha de Jora.

*Agroindustrial Science*, 3(2), 117-124. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2013.02.05>

Becerra, M. (2014). Bebidas fermentadas a partir de maíz y arroz: elaboración, control y conservación. *Alimentos hoy*, 22(31), 96-103.

Briceño, M. (2023). Caracterización del producto de fermentación del nopal (*opuntia spp*) bajo diferentes condiciones de fermentación. [Tesis de Grado. Universidad Autónoma de Querétaro, México]. [https://www.elquiglobalenergy.com/images/document/10894375/EGE\\_Mexico\\_Silage.pdf](https://www.elquiglobalenergy.com/images/document/10894375/EGE_Mexico_Silage.pdf).

Cerra, H., Fernández, M., Horak, C., Lagomarsino, M., Torno, G. y Zarankin, E. (2013). *Manual de Microbiología aplicada a las industrias farmacéutica, cosmética y de productos médicos*. Asociación Argentina de Microbiología. <https://www.aam.org.ar/descarga-archivos/manual-microbiologia-aplicada.pdf>

Carbonero, P. (1975). *Bioquímica de las fermentaciones*. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos. Madrid, España.

Custodio, E. y Rivas, W. (2024). Evaluar el efecto de la temperatura y pH como pretratamiento para mejorar el rendimiento de la fermentación alcohólica en cultivo por lotes por “*Saccharomyces cerevisiae*”. [Tesis de grado. Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Ancash]. <http://168.121.236.53/bitstream/handle/20.500.14278/4828/Tesis%20%20Custodio%20-%20Rivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De Florio, E. (2019). Elaboración tradicional de chicha de jora. *Ciencia y Desarrollo*, (1), 92-96. <https://doi.org/10.33326/26176033.195.1.26>

Dirección General de Asuntos del Personal Académico [DGAPA]. (07 de marzo de 2015). *Prueba de análisis a bebidas fermentadas*. [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=92 &Itemid=94](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=92 &Itemid=94)

Doran, P. (1998). *Principios de ingeniería de los bioprocesos*. Editorial Acribia, S.A.

Ertola, R., Yantorno, O. y Mignone, C. (2006). *Microbiología Industrial*. [http://sgpwe.itz.uam.mx/files/users/uami/favela/Microbiologia\\_Industrial\\_Libro.pdf](http://sgpwe.itz.uam.mx/files/users/uami/favela/Microbiologia_Industrial_Libro.pdf)

Estela, W., Rychtera, M., Melzoch, K., Hatta, B., Quillama, E., Ludeña, Z., Sarmiento, V. y Chaqueña, G. (2011). Actividad fermentativa de *Hanseniaspora uvarum* y su importancia en la producción de bebidas fermentadas. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, (31), 57-63.

Falcón, P., Rosales, E. y Toscano, A. (2019). Efecto del tiempo de la maceración prefermentativa sobre la capacidad antioxidante, carotenos, vitamina C de una bebida fermentada de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) al estado maduro. *Aporte Santiaguino*, 12(2), 186-199.

Fernández, S. (2020). *Diseño de experimentos: diseño factorial*. [Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña]. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM\\_Fernandez\\_Bao\\_Sheila.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf?sequence=1)

Gava, A. (1998). *Principios de la tecnología de alimentos*. Editorial Nobel.

García, I., Salazar, Y., Valle, P., Soto, N. y Páez, J. (2024). Análisis del efecto de agitación en una fermentación alcohólica por *pichia fermentans* mediante modelizado mecanicista. *Pistas Educativas*, 45(147), 496-511.

Gomis, O. (07 de mayo de 2010). *El principio cero de la termodinámica y la definición de temperatura* [Video]. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/7784>.

Gonzales, M. (2019). *Saccharomyces uvarum* de ambientes naturales y bebidas fermentadas de la Norpatagonia. Caracterización y potencial

para elaborar sidras a bajas temperaturas. [Tesis doctoral. Universidad Nacional del Comahue]. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/79856>

Guerrero, D., Bedregal, R., Aguirre, D., Alvarado, Ángel., Gonzales, L., Panta, M. y Romero, A. (2012). Diseño de un sistema de producción y embotellado de chicha de jora. [Tesis de grado. Universidad de Piura, Perú]. <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/3061de7c-93ee-4f6e-a3d5-36c9d4018a76/content>

Heinzle, E., Biwer, A. & Cooney C. (2006). *Development of Sustainable Bioprocesses*. John Wiley. & Sons Ltd. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470058916>

Herrera, J., León, L., Torres, Y., Cano, N., Herrera, A. y Cuenca, M. (2019). Evaluación y selección de levadura comercial para el proceso de fermentación alcohólica de Hidromiel. *Publicaciones e investigaciones*, 13(2), 23-29.

Herrera, J., Padilla, V. y Moreno, M. (2014). Empleo de programas en LabVIEW para la elaboración de bebidas alcohólicas artesanales. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 37(3), 233-241.

INACAL. Norma Técnica Peruana 213.014.2016. (30 de marzo de 2016) Cerveza. Requisitos. 3<sup>a</sup> Edición.

International Life Science Institute (ILSI). (2006). *Maíz y nutrición: informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal*. (Volumen II). Melgarejo, M. Argentina. <https://www.maizar.org.ar/documentos/ilsi%20maizar.pdf>

Lataza, M. (2016). Modelo de optimización del proceso de estabilización de bebidas fermentadas. [Tesis de maestría. Universidad Nacional de Misiones, Argentina]. [https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/2782/Lataza%20Rovaletti%20MM\\_2016\\_Modelo%20de%20optimizaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/2782/Lataza%20Rovaletti%20MM_2016_Modelo%20de%20optimizaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Lopez, J. y Merino, M. (2024). Efecto de la temperatura, el pH y la concentración de la levadura en la fermentación alcohólica de cáscara de naranja para la obtención de bioetanol. [Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú]. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/11371/T010\\_72653775\\_T%20-%20T010\\_70114837\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/11371/T010_72653775_T%20-%20T010_70114837_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

McCabe, W. y Smith, J. *Operaciones básicas de ingeniería química*. Editorial Reverte. S.A. <https://books.google.com.mx/books?id=YBXZz82jwksC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Microlab (16 de enero de 2019). *Cómo conocer la calidad de bebidas alcohólicas o saber si se encuentran adulteradas*. <https://www.microlabindustrial.com/blog/como-conocer-la-calidad-de-bebidas-alcoh%C3%B3licas-o-saber-si-se-se-encuentran-adulteradas>.

Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Gobierno de Perú

Mimbela, C. (2018). Nuestra chicha de jora, la mejor bebida de todos los tiempos. *Revista Helios*, 2(2), 509-513. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v21i2.15601>

Muños, M. (2012). *Biotecnología*. (2da Ed.). Editorial Universidad Nacional de Quilmes.

Novillo, M. y Esparza, R. (2017). Arqueología de las bebidas fermentadas: el caso de la chicha mesoamericana. *Revista Pucara*, (28), 99-122. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/pucara/article/view/2636/1701>

NTP 213.014.2016. “Norma Técnica peruana para la cerveza”. 2016-03-30. 3<sup>a</sup> Edición.

Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. - A. O. A. C. (2000). EUA.

Páez, V. (2010). *Bebidas Fermentadas*. ReCiTeIA. Universidad del Valle. Cali-Colombia. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang\\_en|lang\\_es&id=KPq3cpWyMLQC&oi=fnd&pg=PA4&dq=bebidas+fermentadas&ots=npBIIqmMXw&sig=whXsqkXES\\_5q2nGCgdqVLJcVMtU#v=onepage&q=bebidas%20fermentadas&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_en|lang_es&id=KPq3cpWyMLQC&oi=fnd&pg=PA4&dq=bebidas+fermentadas&ots=npBIIqmMXw&sig=whXsqkXES_5q2nGCgdqVLJcVMtU#v=onepage&q=bebidas%20fermentadas&f=false)

Pallares, J. (2016). *Microbiología Industrial*. Departamento de Educación, Ciencia y Tecnología. OEA. [https://www.academia.edu/37189881/Microbiologia\\_Industrial\\_Libro](https://www.academia.edu/37189881/Microbiologia_Industrial_Libro)

Periche, J. (2018). Contenido de aminas biógenas (hestamina y tiramina) y su relación con características fisicoquímicas en muestras de chicha de jora elaboradas en la provincia de Abancay, Apurímac. *Revista Industrial Data* 21(2) pp. 35-46. <https://doi.org/10.15381/idata. v21i2.15601>

Pinto, M. y Abad, A. (2017). Valor cultural del maíz y tecnologías ancestrales en la parroquia Cayambe de Ecuador. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, (2), 47-60.  
[http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2550-67222017000100047&lng=es&nrm=i](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2550-67222017000100047&lng=es&nrm=i)

Rios, G. (2019). *Desarrollo de bebidas fermentadas a partir de frutas no convencionales ricas en antioxidantes (Granada y Capulín)*. [Tesis de Grado. Universidad de las Américas Puebla]. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/dcl/rios\\_corripio\\_g/etd\\_4063036987481.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/dcl/rios_corripio_g/etd_4063036987481.pdf)

Salazar, R. et al. (2008). Determinación del costo óptimo de fabricación industrial del alimento balanceado para truchas arco iris (*Oncorhynchus Mykiss W.*) en la etapa de crecimiento a partir de la cebada y jora de maíz rojo (*Huaotambo*). *Aporte santiaguino*, 1(1), 30-36.

Samaniego, C. y Taipe, A. (2022). Efecto del tiempo, temperatura y cantidad de levadura en la obtención de etanol por fermentación de residuos sólidos orgánicos hidrolizados. [Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/123>

20.500.12894/8385/Tesis\_%20Angelica%26Cecilia-1\_removed.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Shirai, K. y Malpica, F. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio. Tecnología de fermentaciones alimentarias*. Universidad Autónoma Metropolitana. México. <http://publicacionescbs.itz.uam.mx/DOCS/fermentaciones.pdf>

Suarez, P. (2017). Características organolépticas y determinación de parámetros fisicoquímicos de la chicha de jora preparada por método tradicional y muk'eado. [Tesis de grado. Universidad César Vallejo. Lima Perú]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/7785/TESIS-%20PAUL%20SEBASTIAN%20SUAREZ%20VENTURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla [UPAEP]. (Otoño 2014). *Análisis sensorial*. [https://investigacion.upaep.mx/micrositios/assets/analisis-sensorial\\_final.pdf](https://investigacion.upaep.mx/micrositios/assets/analisis-sensorial_final.pdf)

Zumbado, H. (2004). *Análisis Químico de los Alimentos. Métodos Clásicos*. Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de la Habana. <https://juliocruz82.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/analisis-quimico-de-los-alimentos-mc3a9todos-clc3a1sicos.pdf>

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO**

### **DETERMINACIÓN DEL GRADO ALOCOHÓLICO**

#### **Método de Alcoholímetro.**

El alcoholímetro es un densímetro (ampolla de vidrio con lastre, un termómetro en su interior y terminado en un vástago graduado) graduado en grados Gay Lussac °GL y sirve para determinar grado alcohólico por flotación. Se usa cuando se quiere hacer una determinación rápida.

Tomando la muestra problema y llenando una probeta de 250 ml hasta las  $\frac{3}{4}$  partes de su volumen, tomamos el alcoholímetro por el vástago y lo colocamos suavemente en la probeta, dándole un ligero movimiento de rotación y esperamos a que se estabilice; luego se toma el grado alcohólico en la escala del vástago en el punto que se señala el nivel del líquido (al ras) y tomar la temperatura en el termómetro incrustado.

La medición se debe hacer a los 15,6 °C, caso contrario se debe hacer la corrección del grado alcohólico de acuerdo a las tablas establecidas para ello.

Este método es muy conocido y se emplea para el control de calidad de los licores principalmente por controladores municipales.

## DETERMINACIÓN DE LA ÁCIDEZ TOTAL POR VOLUMETRÍA

### Principio.

El método se basa en determinar el volumen de NaOH estándar necesario para neutralizar el ácido contenido en la alícuota que se titula, determinando el punto final por medio del cambio de color que se produce por la presencia del indicador ácido-base empleado.

### Reactivos.

- Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N
- Fenolftaleína al 1% en alcohol al 95%

### Procedimiento:

- Pipetear 10 ml de jugo de fruta o vino (5 ml caso de jugos de limón o 1 ml de vinagre) a un Erlenmeyer que contenga 100-200 ml de agua hirviendo (500 ml o más si la muestra es coloreada)
- Continuar calentando por 30-60 segundos.
- Dejar enfriar un poco y titular con NaOH 0,1 N (usando 0,5 ml o más si la cantidad de agua es mayor) de fenolftaleína al 0,5 % hasta coloración rosada.
- Repetimos el proceso para una segunda determinación.

### Cálculo:

Se calculó el porcentaje de acidez en gramos de ácido tartárico por litro.

$$1 \text{ ml NaOH 0.1N} \text{ ----- } 0.0075 \text{ g Ac. Tartárico}$$

## DETERMINACIÓN DEL pH

### Método del Potenciómetro.

Se utiliza un potenciómetro digital, que consta de un electrodo de vidrio, que debe mantenerse sumergido en una solución amortiguadora, los tampones para calibrar, son disolución tampón de pH 4.0 y pH 7.0 la medición del pH de alimentos líquidos se realiza de forma directa. Se introdujo el electrodo perfectamente calibrado en 20 ml de la muestra en un vaso de precipitados y se agito suavemente, se procede a la lectura directa y luego se enjuaga con agua des ionizada, para ser utilizado en la siguiente muestra.



## ANEXO 2: FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
CRUZ

DOCTORADO EN INGENIERIA DE ALIMENTOS

### FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Producto: Chicha de Jora

Apellidos y Nombres: .....

Fecha: ..... Edad: ..... Sexo: .....

Instrucciones: por favor, sírvase degustar las muestras que se le presentan. Luego evalúe los atributos indicados para descubrir su nivel de agrado usando la siguiente escala:

9	Me gusta extremadamente
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta un poco
5	Ni me gusta, ni me disgusta
4	Me disgusta poco
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta extremadamente

Marque con un aspa "X" dentro de los recuadros según corresponda. Recuerde tomar agua entre muestra y muestra.

Número de Muestra	Color	Olor	Sabor	Textura
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				
I				

Comentario/Observación: .....

Gracias por su colaboración.

### ANEXO 3: EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA CHICHA DE JORA

Panelista	A. COLOR							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	A1B1C1	A1B1C2	A1B2C1	A1B2C2	A2B1C1	A2B1C2	A2B2C1	A2B2C2
1	8	7	7	7	8	7	7	7
2	7	7	7	6	7	6	6	6
3	3	5	3	5	6	5	6	5
4	7	6	7	7	7	5	6	6
5	5	7	6	7	6	8	6	8
6	5	8	5	7	6	8	5	7
7	2	8	6	4	5	7	5	8
8	7	7	7	6	7	7	6	7
9	5	7	7	6	6	7	5	5
10	7	6	7	8	7	7	8	8
11	5	7	8	6	5	7	8	8
12	6	5	4	5	5	5	5	5
13	5	6	5	7	6	7	6	8
14	7	7	7	7	7	7	7	7
15	8	7	7	7	8	8	7	8
16	5	5	5	5	5	5	5	5
17	8	8	7	8	8	8	8	8
18	5	5	5	5	6	5	6	5
19	6	8	6	8	6	8	7	8
20	6	5	7	6	6	5	6	5
<b>Total</b>	<b>117</b>	<b>131</b>	<b>123</b>	<b>127</b>	<b>127</b>	<b>132</b>	<b>125</b>	<b>134</b>
<b>Media</b>	<b>5.85</b>	<b>6.55</b>	<b>6.15</b>	<b>6.35</b>	<b>6.35</b>	<b>6.60</b>	<b>6.25</b>	<b>6.70</b>

Panelista	B. OLOR							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	A1B1C1	A1B1C2	A1B2C1	A1B2C2	A2B1C1	A2B1C2	A2B2C1	A2B2C2
1	3	5	5	6	5	5	5	5
2	7	8	7	7	7	7	7	6
3	6	6	5	5	6	6	6	5
4	2	5	6	6	5	6	5	5
5	3	8	7	7	6	8	7	7
6	7	8	7	8	8	8	8	8
7	3	5	5	5	6	2	5	7
8	5	5	7	6	7	6	6	6
9	6	6	5	4	6	7	6	6
10	5	6	6	7	5	3	6	5
11	8	6	5	7	4	7	7	7
12	3	4	7	4	5	4	6	4
13	4	6	4	6	5	4	3	7
14	4	7	5	5	7	7	6	8
15	8	6	8	8	8	8	7	7
16	5	6	7	6	5	4	5	4
17	5	7	6	4	7	7	6	6
18	3	2	7	3	5	5	6	4
19	7	7	7	7	7	7	7	7
20	6	4	6	5	5	4	6	4
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>117</b>	<b>122</b>	<b>116</b>	<b>119</b>	<b>115</b>	<b>120</b>	<b>118</b>
<b>Media</b>	<b>5.00</b>	<b>5.85</b>	<b>6.10</b>	<b>5.80</b>	<b>5.95</b>	<b>5.55</b>	<b>6.00</b>	<b>5.90</b>

Panelista	C. SABOR							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	A1B1C1	A1B1C2	A1B2C1	A1B2C2	A2B1C1	A2B1C2	A2B2C1	A2B2C2
1	2	5	2	4	3	5	4	5
2	4	2	4	3	4	4	4	4
3	3	3	2	3	3	3	3	3
4	3	8	8	5	5	5	3	3
5	2	7	4	6	5	8	5	8
6	4	7	3	7	5	8	4	8
7	3	6	4	4	3	1	6	7
8	3	4	3	4	4	5	4	5
9	1	6	2	2	4	3	4	5
10	3	4	4	7	5	3	6	5
11	8	7	7	7	6	7	7	9
12	3	4	2	5	3	4	4	5
13	3	7	1	5	2	6	4	7
14	6	7	5	6	6	7	7	8
15	4	7	3	5	2	3	7	8
16	6	7	6	6	3	6	2	7
17	4	4	6	6	7	4	3	4
18	3	3	7	3	5	5	5	4
19	6	7	8	7	7	8	7	8
20	6	4	6	4	5	4	5	4
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>109</b>	<b>87</b>	<b>99</b>	<b>87</b>	<b>99</b>	<b>94</b>	<b>117</b>
<b>Media</b>	<b>3,85</b>	<b>5,45</b>	<b>4,35</b>	<b>4,95</b>	<b>4,35</b>	<b>4,95</b>	<b>4,70</b>	<b>5,85</b>

Panelista	D. TEXTURA							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	A1B1C1	A1B1C2	A1B2C1	A1B2C2	A2B1C1	A2B1C2	A2B2C1	A2B2C2
1	2	5	2	4	4	5	4	6
2	3	3	3	3	3	3	3	4
3	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	6	5	5	6	6	6	5
5	3	8	5	7	5	8	7	7
6	5	7	5	7	6	7	5	7
7	4	7	3	5	3	5	5	8
8	7	5	8	7	7	6	6	6
9	5	7	4	7	6	6	7	6
10	6	5	5	7	5	4	5	5
11	8	7	8	7	8	7	9	8
12	4	4	4	5	4	4	4	5
13	4	5	5	5	4	6	6	7
14	7	7	7	7	7	8	7	8
15	7	7	8	7	6	7	7	7
16	6	6	5	5	5	6	5	7
17	4	4	6	6	7	3	3	4
18	4	4	4	4	4	5	4	4
19	9	8	9	7	7	7	6	8
20	6	5	7	6	6	5	6	5
<b>Total</b>	<b>104</b>	<b>115</b>	<b>108</b>	<b>116</b>	<b>108</b>	<b>113</b>	<b>110</b>	<b>122</b>
<b>Media</b>	<b>5,20</b>	<b>5,75</b>	<b>5,40</b>	<b>5,80</b>	<b>5,40</b>	<b>5,65</b>	<b>5,50</b>	<b>6,10</b>

#### ANEXO 4: FOTOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



Preparando los insumos para su pesado



Pesado Materia Prima e Insumos



**Preparado de la Chicha de Jora**



**Fermentación de la Chicha de Jora por Tratamientos**



**Embotellado y Almacenado de Muestras por Tratamientos**



**Degustación**



**Toma de muestras para el análisis de pH**



**Titulación para determinación de la acidez volátil**



**Destilado para determinación de contenido alcohólico**



**Determinación de °Brix**