

Evaluación de la calidad de bebidas fermentadas mediante la aplicación de un flujograma establecido por Inteligencia Artificial

Evaluation of the quality of fermented beverages through the application of a flow chart established by Artificial Intelligence

Avaliação da qualidade de bebidas fermentadas através da aplicação de um fluxograma estabelecido por Inteligência Artificial

Bryan Alejandro Coral Mendoza¹
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
bryancoralmendoza@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-6430-4868>



María Belén Córdova Rey²
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
mariacordovarey@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-8106-8166>



Ronald Ricardo Jiménez Delgado³
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
ronaljimenez@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7853-7540>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/782>

Como citar:

Coral, B., Córdova, M., Jiménez, R., (2025). Evaluación de la calidad de bebidas fermentadas mediante la aplicación de un flujograma establecido por Inteligencia Artificial. Código Científico Revista de Investigación, 6(E1), 1460-1482.

Recibido: 30/01/2025 **Aceptado:** 10/02/2025

Publicado: 31/03/2025

Resumen

La presente investigación evaluó la calidad de bebidas fermentadas mediante la aplicación de un flujograma establecido por inteligencia artificial (IA). El estudio, se desarrolló en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila durante el periodo II-2024, combinó enfoques cualitativos y cuantitativos para analizar la implementación de IA en el proceso de vinificación utilizando tres frutas: uva, mora y Jamaica, con 2 tipos de levadura, liofilizada y fresca. Se estableció un diseño completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones, evaluando parámetros fisicoquímicos, organolépticos y costos. Los resultados mostraron que el pH osciló entre 2,58 y 3,08, con estabilidad destacada en el mosto de uva. Los sólidos solubles variaron entre 5,13°Brix y 10,93°Brix, generando contenidos alcohólicos entre 1,47% y 5,2%, valores por debajo de la norma INEN 374. El análisis sensorial realizado por 12 docentes calificó al tratamiento T4 (uva + levadura fresca) como el más aceptado, gracias a su equilibrio organoléptico. La concentración de metanol en este tratamiento fue de 36 mg/L, cumpliendo ampliamente con los límites establecidos (≤ 1000 mg/L). Aunque los parámetros fisicoquímicos no alcanzaron los estándares normativos, los análisis de costos destacaron a los tratamientos T3 (mora + levadura liofilizada) y T6 (jamaica + levadura fresca) con costos de \$0,79 y \$1,02 por kilogramo, respectivamente, posicionándolos como opciones económicas frente a vinos comerciales. Se concluye que la aplicación de IA, aunque no optimizó completamente las características fisicoquímicas y organolépticas, permitió identificar tratamientos viables en términos de costo-beneficio.

Palabras clave: Bebidas fermentadas, inteligencia artificial, parámetros fisicoquímicos, análisis sensorial, costos de producción.

Abstract

The present research evaluated the quality of fermented beverages through the application of a flow chart established by artificial intelligence (AI). The study, developed at the Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila during the period II-2024, combined qualitative and quantitative approaches to analyze the implementation of AI in the winemaking process using three fruits: grape, blackberry and Jamaica, with two types of yeast, freeze-dried and fresh. A completely randomized design was established with six treatments and three replicates, evaluating physicochemical, organoleptic and cost parameters. The results showed that pH ranged between 2.58 and 3.08, with outstanding stability in the grape must. The soluble solids varied between 5.13°Brix and 10.93°Brix, generating alcohol contents between 1.47% and 5.2%, values below the INEN 374 standard. The sensory analysis carried out by 12 teachers qualified the T4 treatment (grapes + fresh yeast) as the most acceptable, thanks to its organoleptic balance. The methanol concentration in this treatment was 36 mg/L, amply complying with the established limits (≤ 1000 mg/L). Although the physicochemical parameters did not meet the regulatory standards, the cost analysis highlighted the T3 (blackberry + freeze-dried yeast) and T6 (hibiscus + fresh yeast) treatments with costs of \$0.79 and \$1.02 per kilogram, respectively, positioning them as economic options compared to commercial wines. It is concluded that the application of AI, although it did not completely optimize the physicochemical and organoleptic characteristics, allowed the identification of viable treatments in terms of cost-benefit.

Keywords: Fermented beverages, artificial intelligence, physicochemical parameters, sensory analysis, production costs.

Resumo

A presente investigação avaliou a qualidade de bebidas fermentadas através da aplicação de um fluxograma estabelecido por inteligência artificial (IA). O estudo, desenvolvido no Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila durante o período II-2024, combinou abordagens qualitativas e quantitativas para analisar a implementação da IA no processo de vinificação utilizando três frutos: uva, amora e Jamaica, com dois tipos de leveduras, liofilizadas e frescas. Foi estabelecido um delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e três réplicas, avaliando parâmetros físico-químicos, organolépticos e de custo. Os resultados mostraram que o pH variou entre 2,58 e 3,08, com uma estabilidade notável no mosto de uva. Os sólidos solúveis variaram entre 5,13°Brix e 10,93°Brix, gerando teores alcoólicos entre 1,47% e 5,2%, valores abaixo da norma INEN 374. A análise sensorial realizada por 12 professores qualificou o tratamento T4 (uvas + leveduras frescas) como o mais aceitável, graças ao seu equilíbrio organoléptico. A concentração de metanol neste tratamento foi de 36 mg/L, respeitando amplamente os limites estabelecidos (≤ 1000 mg/L). Embora os parâmetros físico-químicos não tenham atingido os padrões normativos, a análise de custos destacou os tratamentos T3 (amora + levedura liofilizada) e T6 (hibisco + levedura fresca) com custos de 0,79€ e 1,02€ por quilograma, respectivamente, posicionando-os como opções económicas em comparação com os vinhos comerciais. Conclui-se que a aplicação da IA, embora não tenha otimizado totalmente as características físico-químicas e organolépticas, permitiu a identificação de tratamentos viáveis em termos de custo-benefício.

Palavras-chave: Bebidas fermentadas, inteligência artificial, parâmetros físico-químicos, análise sensorial, custos de produção.

Introducción

La evaluación de la calidad en la producción de bebidas fermentadas ha sido históricamente un proceso basado en la percepción humana, con paneles de cata especializados que analizan atributos sensoriales como aroma, sabor, textura y apariencia. Sin embargo, esta metodología presenta desafíos significativos debido a la subjetividad, la variabilidad en los resultados y la dificultad para cuantificar con precisión los parámetros de calidad (Meilgaard, Civille, & Carr, 2007).. En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) ha emergido como una herramienta innovadora con el potencial de transformar la industria alimentaria mediante el análisis avanzado de datos, el aprendizaje automático y la optimización de procesos productivos (Buenaño, 2024).

El uso de IA en la evaluación de bebidas fermentadas permite una mayor objetividad y reproducibilidad en la medición de parámetros físicoquímicos y sensoriales. Tecnologías como

el procesamiento de imágenes, el aprendizaje profundo y los algoritmos de predicción han demostrado ser eficaces en la identificación de patrones y en la mejora de la calidad del producto final. Investigaciones recientes han evidenciado el impacto positivo de la IA en la industria vinícola, desde la predicción del perfil aromático del vino (Pascual, 2023) hasta la clasificación automatizada de cervezas según sus características organolépticas (Argel & Luca, 2024).

En el contexto ecuatoriano, Santo Domingo de los Tsáchilas cuenta con un entorno propicio para la producción agrícola, pero la elaboración de bebidas fermentadas a partir de frutas tropicales sigue siendo limitada (Suárez, 2022). A pesar del potencial de la región, factores como la falta de innovación tecnológica y el acceso restringido a herramientas avanzadas han obstaculizado el crecimiento del sector (Yépez, Naranjo, & Sánchez, 2018). La implementación de IA en este ámbito podría optimizar los procesos productivos, mejorar la calidad del producto y fortalecer la competitividad de los productores locales en mercados nacionales e internacionales.

Los antecedentes en la aplicación de IA a la producción de bebidas fermentadas destacan su capacidad para mejorar la consistencia del producto, reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental. Estudios previos han demostrado que la IA puede predecir parámetros críticos de fermentación, optimizar el uso de insumos y mejorar la trazabilidad del proceso (Demmanuel, Huancara, & Cama, 2022). Estas ventajas posicionan a la IA como una herramienta clave para el desarrollo sostenible de la industria vinícola y de bebidas fermentadas en general (Galeano, Aguirre, & Castrillón, 2021).

En este estudio, se busca desarrollar un flujograma basado en IA para la evaluación integral de la calidad de bebidas fermentadas, combinando análisis fisicoquímicos y sensoriales. El objetivo principal es demostrar la viabilidad de la IA como una herramienta eficaz para mejorar la precisión y eficiencia en la evaluación de calidad, contribuyendo así al

avance tecnológico de la industria y a la satisfacción de las crecientes demandas de los consumidores.

Metodología

El trabajo de investigación se desarrolló en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Planta de Procesos ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Chigüilpe, avenida Galo Luzuriaga y Franklin Pallo, en el periodo lectivo II-2024 durante 4 meses.

Enfoque: La investigación adoptó un enfoque mixto, combinando elementos tanto cualitativos como cuantitativos. El componente cualitativo permitió comprender en profundidad las dinámicas del proceso de vinificación en tres tipos de frutas, así como la selección y aplicación de la inteligencia artificial (IA) más adecuada para optimizar el rendimiento de este proceso.

Por otra parte, el enfoque cuantitativo se centró en la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los vinos producidos, así como en el análisis de los costos y rendimientos derivados del uso de IA en el proceso productivo. Esto incluyó mediciones precisas de las propiedades del vino, tales como el pH y el contenido de alcohol, mediante análisis de laboratorio. Además, se aplicaron cálculos matemáticos para verificar el impacto de la IA en el rendimiento general del proceso de vinificación, permitiendo una comparación clara y objetiva entre los vinos elaborados de forma tradicional y aquellos optimizados mediante IA.

Modalidad de la Investigación

Investigación experimental: Se llevó a cabo en la Planta de Procesos del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. En esta fase, se implementó IA para optimizar el proceso de elaboración de vino a partir de tres tipos de frutas. Se realizaron experimentos controlados para evaluar el impacto de la IA en el rendimiento y la calidad del vino producido. Se midieron

parámetros fisicoquímicos (pH, contenido de alcohol, acidez titulable y sólidos solubles) mediante análisis de laboratorio.

Investigación documental: Se realizó una revisión y análisis de estudios previos, artículos académicos y normativas aplicables a la industria vitivinícola. Este análisis permitió contextualizar los resultados experimentales, identificando tendencias en la implementación de la IA en la producción de vino.

Nivel o Tipo de Investigación

Investigación exploratoria: Se buscó optimizar el proceso de elaboración de vino a partir de tres tipos de frutas mediante IA, evaluando su impacto en los rendimientos y propiedades fisicoquímicas.

Investigación descriptiva: Se aplicó en la fase de análisis para describir variables clave como el pH, contenido de alcohol, sólidos solubles y acidez titulable, documentando características organolépticas y nutricionales.

Investigación explicativa: Permite discutir los resultados obtenidos y compararlos con estudios previos.

Población y Muestra

La población objetivo incluyó todos los vinos de diferentes frutas producidos en Ecuador. La muestra se seleccionó a partir de tres tipos de frutas representativas (uva, mora y jamaica), empleando 8 kg de cada una, adquiridas en el mercado mayorista. Se elaboraron vinos utilizando recetas generadas por IA. La evaluación sensorial se realizó con un panel de 12 docentes de Agroindustrias del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnica de laboratorio: Se realizaron análisis fisicoquímicos con equipamientos como potenciómetro, refractómetro digital y densímetro, siguiendo normativas como NTE INEN 340, 381 y 374.

Observación: Se documentó el proceso de producción del vino con IA, registrando su impacto en calidad y eficiencia.

Encuesta: Se aplicó un test de cata a docentes de Agroindustrias para determinar la formulación más aceptada.

Variables de estudio

Tabla 1.
Operacionalización de variables

| Variables independientes | | | Variables dependientes | | |
|--------------------------|---|---|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Variable | Indicadores | Instrumento | Variable | Indicadores | Instrumento |
| A: Mosto | A1. Uva A2. Mora A3. Jamaica | Licuadora industrial, Tanque fermentador, Marmita, Envasadora | Análisis Físico Químico. | pH | Potenciómetro |
| | | | | Sólidos Solubles (°Brix) | Refractómetro digital |
| | | | | Acidez titulable (%) | Titulación |
| | | | | Grado alcohólico (%Alc. Vol.) | Alcoholímetro |
| | | | | Densidad (g/cm ³) | Densímetro |
| B: Tipo de Levadura | B1: levadura liofilizada B2: levadura fresca | Levaduras (<i>levapan</i>) | Características organolépticas | Metanol (mg/L) | Cromatografía de gases |
| | | | | Color | Ficha de cata (escala de Likert) |
| | | | | Olor | |
| | | | | Sabor | |
| | | | | Intensidad | |
| | | | Rendimiento | Rendimiento (%) | Formula de rendimiento |
| | | | Costo de producción | Rentabilidad obtenida (\$) | Cálculos matemáticos |

Diseño experimental

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) A x B, con 6 tratamientos y 3 repeticiones, resultando un total de 18 unidades experimentales. Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. En cuanto a la verificación del cumplimiento normativo, no aplicó este diseño, ya que se realizó una investigación documental orientada a verificar el cumplimiento de la normativa legal vigente.

Tabla 2.
Tratamientos para el estudio experimental

| Tratamientos | Repeticiones |
|--------------|--------------|
| A1B1 | R1, R2, R3 |
| A1B2 | R1, R2, R3 |
| A2B1 | R1, R2, R3 |
| A2B2 | R1, R2, R3 |
| A3B1 | R1, R2, R3 |
| A3B2 | R1, R2, R3 |

Resultados

Se utilizó BardIA para describir el proceso de elaboración del vino de uva y obtener sugerencias sobre cómo estructurarlo de manera eficiente según la Norma INEN 374. Posteriormente, se empleó la plataforma Diagrams.net (Draw.io) para representar visualmente el flujograma del proceso.

Entre las ventajas de esta metodología, BardIA permitió desglosar los pasos clave de la producción, identificar mejoras y optimizar la secuencia de actividades. Por su parte, Draw.io, al ser una herramienta gratuita con plantillas predefinidas, facilitó la creación del diagrama de flujo.

El proceso consistió en tres pasos principales:

- Consultar a BardIA sobre los pasos para elaborar vino de uva y las mejores prácticas para optimizar la eficiencia.
- Utilizar la información obtenida para diseñar el flujograma en Draw.io.
- Aplicar ajustes recomendados por BardIA en caso de detectar oportunidades de mejora en el proceso.

Diagrama de flujo generado mediante Inteligencia Artificial para vinos y bebidas fermentadas de frutas

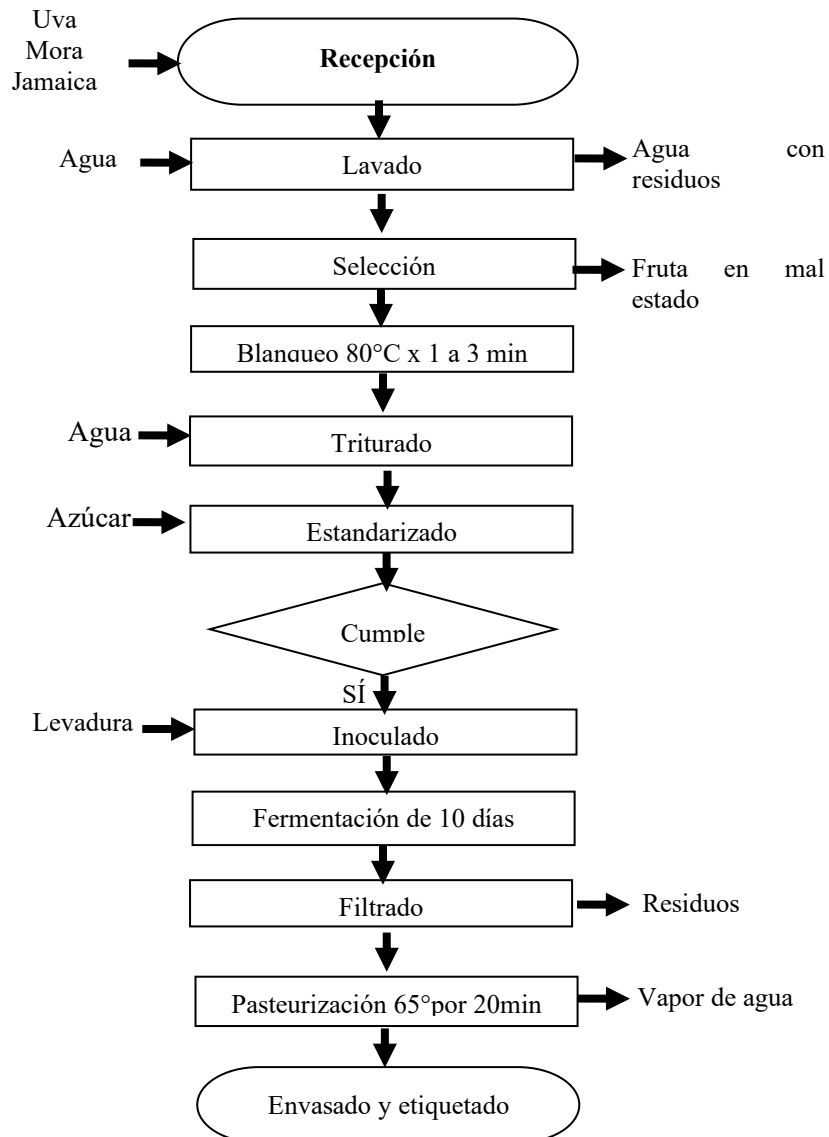


Figura 1 Diagrama de flujo para la elaboración de vinos y bebidas fermentadas “Elaborado por: Coral y Córdova (2024)”.

El proceso de elaboración de vino a partir de uva, mora y jamaica incluyó varias etapas secuenciales para garantizar la calidad del producto final.

Primero, se realizó la recepción de la materia prima, donde se verificó su calidad. Luego, las frutas pasaron por un lavado para eliminar impurezas y por una selección, en la que se descartaron los frutos dañados y se retiraron los tallos de la uva para mejorar el sabor del vino. Posteriormente, se llevó a cabo el blanqueo a 80 °C durante 1 a 3 minutos.

En la etapa de triturado, las frutas se procesaron para extraer el mosto, que fue estandarizado añadiendo la cantidad adecuada de azúcar. Después, se efectuó un análisis de °Brix y pH con un refractómetro para verificar el contenido de azúcar según la norma INEN 374:2016; si no cumplía con los parámetros, se ajustaba el azúcar.

Luego, se realizó el inoculado al agregar la levadura correspondiente para iniciar la fermentación, que duró 10 días y transformó los azúcares en alcohol. Finalizada la fermentación, el vino fue filtrado para eliminar impurezas y posteriormente pasteurizado a 65 °C durante 20 minutos para garantizar su conservación. Finalmente, el vino fue embotellado, etiquetado y quedó listo para su distribución y venta.

Análisis fisicoquímico

pH

En la figura 2 se puede observar los resultados obtenidos de iones de hidrogeno de las bebidas fermentadas obtenidas de las diferentes formulaciones.

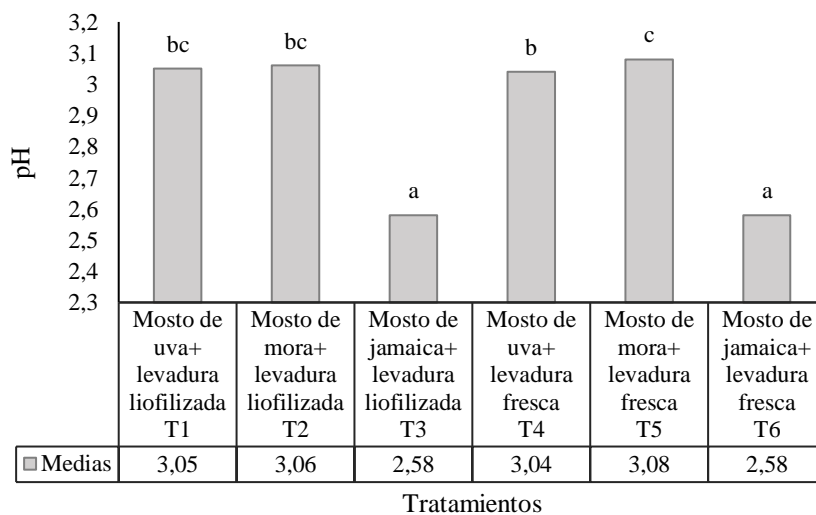


Figura 2. Sobre pH de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas. “Elaborado por: Coral y Córdova (2024)”.

De acuerdo a los resultados, se observan diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T5 (mosto de mora con levadura fresca) alcanzó la mayor media con un valor de 3,08, mientras que los tratamientos T1, T2 y T4 obtuvieron medias que oscilaron

entre 3,04 y 3,06. Por otro lado, los tratamientos T3 y T6 (mosto de jamaica con levaduras liofilizada y fresca, respectivamente) presentaron la menor media, con un valor de 2,58.

Sólidos Solubles Totales (°Brix)

En la figura 3 se puede observar los resultados obtenidos de los sólidos solubles totales (°Brix) de las bebidas fermentadas obtenidas de las diferentes formulaciones.

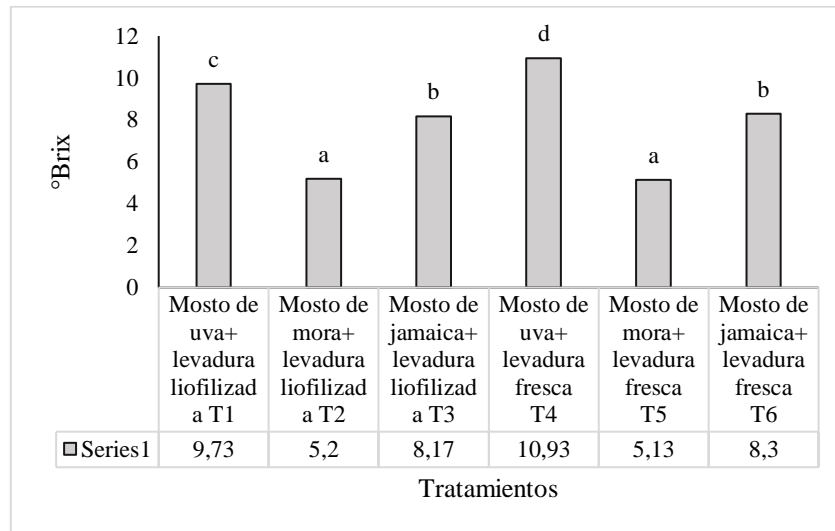


Figura 3. Sobre sólidos totales de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas. **“Elaborado por:** Coral y Córdova (2024)**”.**

De acuerdo con los resultados obtenidos, las concentraciones de sólidos solubles expresadas en grados Brix varían significativamente entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T4 (mosto de uva con levadura fresca) alcanzó el valor más alto con 10,93 °Brix, destacándose como el más eficiente en términos de fermentación, mientras que el tratamiento T5 (mosto de mora con levadura fresca) presentó el valor más bajo con 5,13 °Brix.

Acidez titulable (%)

En la figura 4 se puede observar los resultados obtenidos de la acidez de las bebidas fermentadas obtenidas de las diferentes formulaciones.

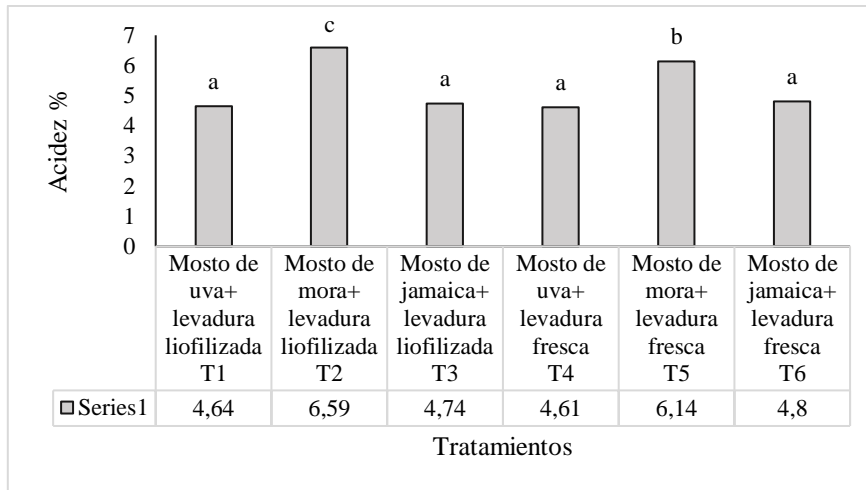


Figura 4. Sobre acidez titulable de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas. “Elaborado por: Coral y Córdova (2024)”.

Respecto a las mediciones de acidez expresadas en la Figura 7 indican valores que oscilan entre 4,61 y 6,59. Los tratamientos T2 (mosto de mora con levadura liofilizada) y T5 (mosto de mora con levadura fresca) difieren de manera significativa de los tratamientos T1, T3, T4 y T6, obteniendo los valores de acidez más altos, con 6,59 y 6,14, respectivamente. Por otro lado, el tratamiento T1 (mosto de uva con levadura liofilizada) presentó el valor más bajo, con 4,61.

Grado alcohólico

En la figura 5 se puede observar los resultados obtenidos respecto a la medición de grados alcohólicos de las bebidas fermentadas obtenidas de las diferentes formulaciones.

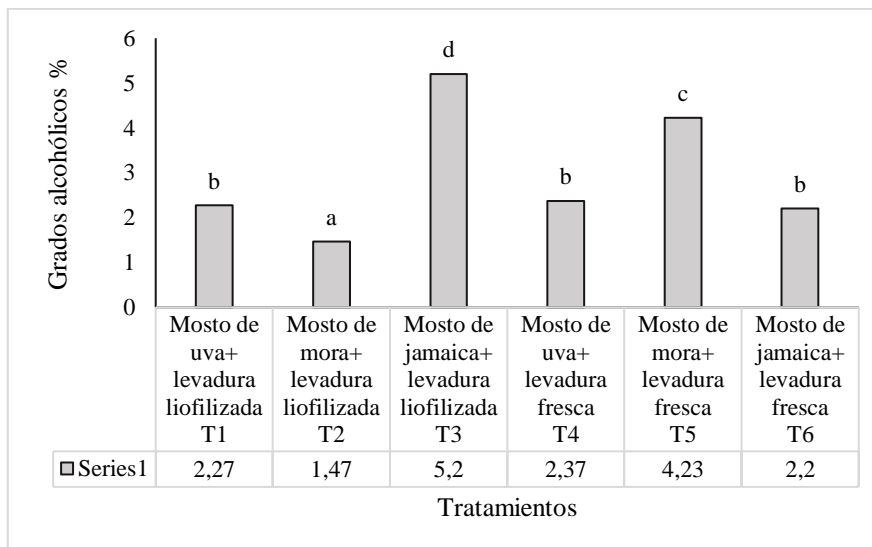


Figura 5. Sobre grados alcohólicos de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas. “Elaborado por: Coral y Córdova (2024)”.

Según los resultados obtenidos de la evaluación de grados alcohólicos, los resultados fueron inferiores a 5.2% los cuales no cumplen con los parámetros requeridos por la norma NTE INEN 374 (2016) que indica que el vino debe tener como mínimo 6% de alcohol. Este resultado podría deberse a una baja concentración inicial de azúcares (grados Brix), a una actividad insuficiente de las levaduras o a condiciones subóptimas de fermentación que limitaron la producción de etanol (Flores, 2016).

Densidad

En la figura 6 se puede observar los resultados obtenidos la densidad obtenida de las bebidas fermentadas respecto a las diferentes formulaciones realizadas.

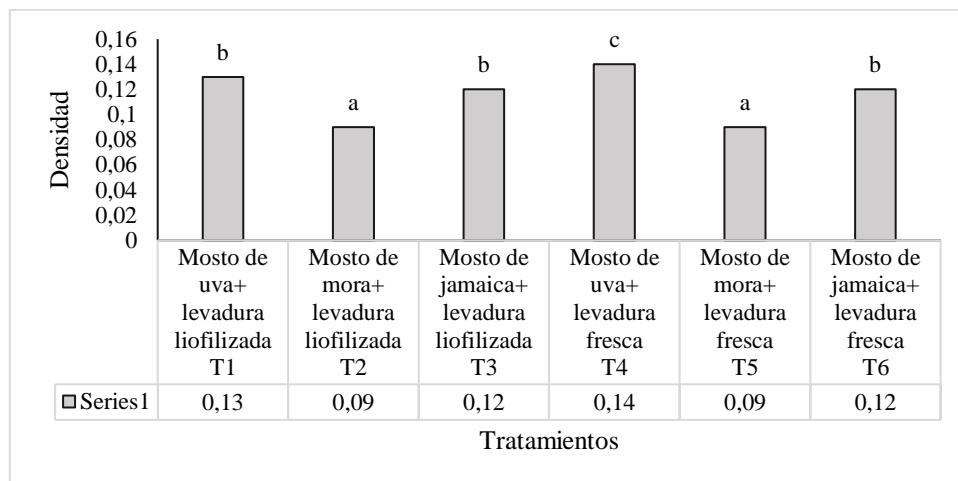


Figura 5. Sobre densidad de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas. **“Elaborado por:** Coral y Córdova (2024)”.

Los resultados de densidad obtenidos en las bebidas fermentadas reflejan diferencias significativas donde el T2 Y T5 se diferencia de los demás obteniendo densidades bajas entre 0.09 y la más alta del tratamiento T4 con 2.14 estos resultados están íntimamente relacionados a la concentración de brix de cada uno de los tratamientos.

Análisis sensorial

Aspecto

En la figura 6, 7, 8, 9 se puede observar los resultados obtenidos del análisis sensorial respecto al aspecto de las bebidas fermentadas aplicando dos tipos de levaduras.

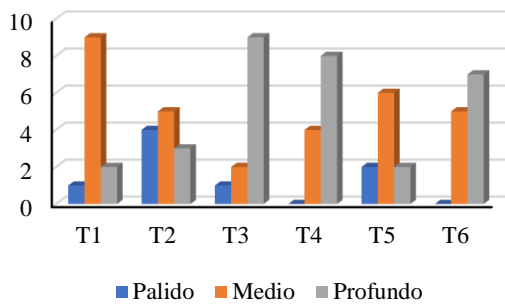


Figura 6.. Sobre el aspecto de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas.

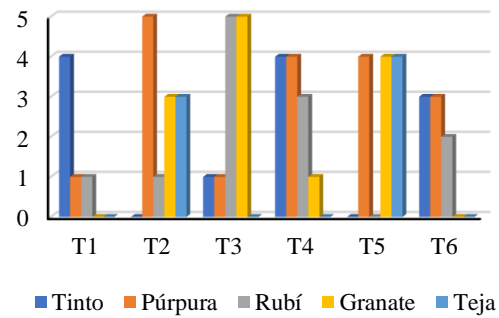


Figura 7. Sobre el color de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas.

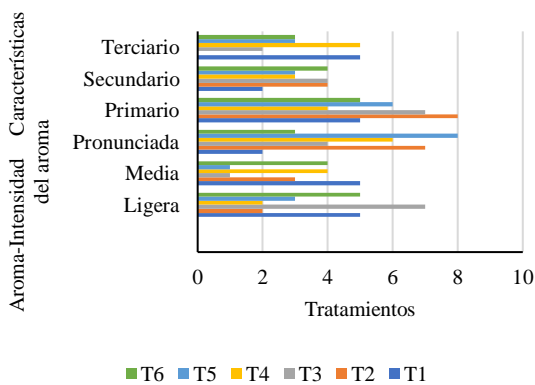


Figura 8. Sobre el aroma de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas.

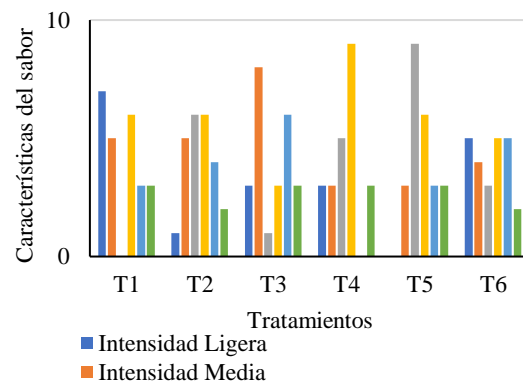


Figura 9. Sobre el sabor de los diferentes tratamientos de las bebidas fermentadas.

La evaluación sensorial de las bebidas fermentadas analizadas mostró variaciones significativas en el color, aroma e intensidad del sabor entre los distintos tratamientos (T1 a T6).

En cuanto al aspecto, T1 predominó en tonalidad media, mientras que T3, T4 y T6 se inclinaron hacia colores más profundos. T2 destacó por el color púrpura, mientras que T5 presentó una combinación de granate, teja y púrpura. Estos resultados sugieren que la composición del mosto y el tipo de levadura influyeron en la percepción visual.

Respecto al aroma, T1 presentó un equilibrio entre intensidades ligera y media, mientras que T2 y T5 sobresalieron en aroma pronunciado. Los tratamientos con mayor intensidad de aroma se asociaron con un predominio de aromas primarios, mientras que los

más equilibrados, como T1 y T6, mostraron una distribución más uniforme entre aromas primarios, secundarios y terciarios.

En la evaluación del sabor, T1 y T4, elaborados con mosto de uva, destacaron por un dulzor medio, baja acidez y taninos bajos. T2 y T5, basados en mosto de mora, mostraron un dulzor seco con taninos y acidez más elevados. Por otro lado, T3 y T6, elaborados con mosto de jamaica, tuvieron un dulzor medio, con acidez y taninos moderados.

Finalmente, en la intensidad del sabor, T1 presentó un perfil más sutil, mientras que T5 tuvo una intensidad pronunciada, probablemente debido a una mayor concentración de compuestos fenólicos. T2 y T4 lograron un equilibrio entre intensidades medias y pronunciadas, mientras que T6 mostró una complejidad sensorial moderada. Los sabores primarios predominaron en T4, mientras que T3 y T6 destacaron en características secundarias, reflejando una mayor influencia del proceso de fermentación.

Análisis del contenido de metanol

En la tabla 3 se puede observar los resultados obtenidos del análisis del contenido de metanol del mejor tratamiento (T4).

Tabla 3.
Sobre el análisis del contenido de metanol del mejor tratamiento T4

| Parámetro | Unidad | Método | Resultado |
|-----------|----------|----------|-----------|
| Metanol | Mg/100MI | INEN 347 | 0,36 |

El análisis del contenido de metanol en el tratamiento T4 (mosto de uva y levadura fresca) muestra un resultado de 0,36 mg/100 mL, equivalente a 36 mg/L. Según la Norma INEN 374, el límite máximo permitido para metanol en bebidas alcohólicas es de 1000 mg/L, lo que significa que el contenido de metanol en T4 está dentro de los parámetros permitidos según la normativa vigente.

Rendimiento y costos

Análisis de rendimiento

Los rendimientos en la fermentación de los distintos mostos muestran variaciones significativas según el tipo de levadura utilizada y el mosto empleado.

T4 (Mosto de uva + levadura fresca) obtuvo el mayor rendimiento con 82,94%, lo que sugiere que la levadura fresca optimiza la conversión de azúcares en alcohol y otros compuestos en el mosto de uva. T1 (Mosto de uva + levadura liofilizada) presentó un rendimiento de 79,33%, ligeramente inferior al tratamiento T4, pero igualmente destacable. T3 (Mosto de jamaica + levadura liofilizada) alcanzó un rendimiento de 78,04%, demostrando que la levadura liofilizada puede funcionar de manera adecuada con mostos de menor contenido azucarado como el de jamaica. Este rendimiento es comparable al obtenido en T1, lo que sugiere que la matriz del mosto influye de manera importante en la eficiencia del proceso. T2 (Mosto de mora + levadura liofilizada) mostró el menor rendimiento con 71,80%, lo cual podría deberse a una menor concentración de azúcares fermentables o a la interacción de los compuestos fenólicos de la mora con la actividad de la levadura.

Los resultados son consistentes con investigaciones previas como la de González et al. (2020), quienes reportaron que las levaduras frescas tienden a incrementar el rendimiento fermentativo en mostos con mayor concentración de azúcares, como los derivados de uva. Asimismo, estudios de Fernández y Alarcón (2019) encontraron que los mostos de frutas ricas en compuestos fenólicos, como la mora, suelen tener un rendimiento menor debido a que estos compuestos pueden inhibir parcialmente la actividad fermentativa.

1.1.1. Análisis de costos

1.1.2.

En la tabla 4 se puede observar los resultados obtenidos del análisis de costos de las bebidas fermentadas por tratamiento.

Tabla 4
Sobre los costos en kg de vino y bebida fermentadas producidas por tratamiento

| Formulación | Costo total | Cantidad producida en kg | Costo * kg |
|-------------|-------------|--------------------------|------------|
| T1 | 14,57 | 3,84 | 3,79 |
| T2 | 11,07 | 3,59 | 3,08 |
| T3 | 12,57 | 16 | 0,79 |
| T4 | 14,17 | 3,94 | 3,60 |
| T5 | 10,67 | 2,94 | 3,63 |
| T6 | 12,17 | 11,9 | 1,02 |

NOTA: La tabla detallada del cálculo de costos por Materia Prima por tratamientos se encuentra ubicada en el Anexo E.

Los costos de producción de las bebidas fermentadas (tratamientos T1-T6) son competitivos en comparación con los vinos comerciales como Gato Negro, Miraflores y Santa Carolina. Los costos por kilogramo de los tratamientos varían entre \$0,79 (T3) y \$3,79 (T1). En comparación con otros vinos comerciales de diferentes marcas, como Gato Negro (787 mL a \$4,50), Miraflores (750 mL a \$5,00) y Santa Carolina (375 mL a \$5,90), el costo de la bebida fermentada es competitivo, siendo más económico que Gato Negro y Santa Carolina. Esto posiciona la bebida fermentada como una alternativa accesible y diferenciada por sus ingredientes comunes como la uva y la mora, y Jamaica destacando por su eficiencia económica. Lo que las posiciona como una opción accesible, culturalmente relevante y competitiva en el mercado.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en los valores de pH entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T5 (mosto de mora con levadura fresca) presentó el valor más alto (3,08), mientras que los tratamientos con mosto de jamaica (T3 y T6) registraron el pH más bajo (2,58). Según Pascual (2023), un pH entre 3,8 y 4,2 es ideal para la fermentación de vinos de frutas, favoreciendo el crecimiento de levaduras y mejorando la calidad del producto. La divergencia con nuestros resultados podría deberse a la composición química de

los sustratos utilizados, ya que, como indica Omer (2016), la presencia de taninos y fitatos puede inhibir la actividad fermentativa.

El contenido de sólidos solubles varió significativamente, siendo el tratamiento T4 (mosto de uva con levadura fresca) el de mayor concentración (10,93 °Brix) y el tratamiento T5 (mosto de mora con levadura fresca) el de menor valor (5,13 °Brix). De acuerdo con la norma INEN 374, los vinos secos deben contener un máximo de 25 g/L de azúcares. Suárez (2016) destaca que la selección de levaduras influye en la conversión de azúcares, lo que explica las diferencias encontradas.

Los valores de acidez oscilaron entre 4,61% y 6,59%, destacando T2 y T5 con los niveles más altos. La norma INEN 374 establece un mínimo de 3,5% para vinos de frutas, por lo que todos los tratamientos cumplen con el requisito. La acidez es un factor determinante en la estabilidad y percepción sensorial del producto, influyendo en su aceptabilidad (Ruíz, 2021).

Los grados alcohólicos obtenidos fueron inferiores al 5,2%, incumpliendo el requerimiento mínimo de 6% establecido por la norma INEN 374 (2016). Esto podría deberse a una baja concentración inicial de azúcares o condiciones subóptimas de fermentación (Flores, 2016). Zapateiro et al. (2016) enfatizan que mostos con menos de 20 °Brix no alcanzan niveles adecuados de etanol. Además, Granadillo et al. (2016) indican que temperaturas elevadas pueden provocar pérdidas de etanol por evaporación, afectando la concentración alcohólica final.

Los resultados de densidad variaron significativamente, con valores más bajos en T2 y T5 (0,09) y el más alto en T4 (2,14). La densidad inicial del mosto está directamente relacionada con el contenido de azúcares y su fermentación (Vásquez, 2020). Temperaturas elevadas (>78,37 °C) pueden afectar la actividad de las levaduras y provocar fermentaciones incompletas (Borja, 2021).

Las bebidas mostraron diferencias en la percepción del color, destacándose T1 por su tonalidad media y T3, T4 y T6 por sus colores profundos. Soto et al. (2021) indican que el color influye en la aceptación del producto. La composición de pigmentos naturales y su interacción con levaduras explican las variaciones observadas (Rodríguez et al., 2022).

Los tratamientos con mayor intensidad aromática fueron T2 y T5, lo que sugiere una mayor producción de ésteres y alcoholes superiores (López et al., 2018). Los tratamientos con equilibrio entre aromas primarios, secundarios y terciarios (T1 y T6) reflejan la influencia del tipo de levadura y las condiciones de fermentación.

Los resultados mostraron que los mostos de mora (T5) tendieron a un mayor dulzor seco, acidez y taninos altos, mientras que los mostos de uva (T1 y T4) presentaron un dulzor medio. La percepción de alcohol fue baja en T1 y T6, mientras que en T5 se observó una mayor intensidad. Burini (2022) señala que las levaduras frescas pueden incrementar la percepción de cuerpo debido a la mayor producción de polisacáridos.

El rendimiento fermentativo más alto se obtuvo en T4 (82,94%), sugiriendo que la levadura fresca mejora la conversión de azúcares. T2 (71,80%) presentó el menor rendimiento, posiblemente debido a la presencia de compuestos inhibidores en la mora (Fernández y Alarcón, 2019). Esto concuerda con los hallazgos de González et al. (2020), quienes indicaron que los mostos con alto contenido fenólico pueden reducir la eficiencia de fermentación.

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan la influencia del tipo de mosto y levadura en las características fisicoquímicas y sensoriales de las bebidas fermentadas. Se evidenció que las levaduras frescas mejoran el rendimiento fermentativo y la intensidad sensorial, mientras que las levaduras liofilizadas ofrecen perfiles equilibrados. Sin embargo, el incumplimiento en el grado alcohólico resalta la necesidad de optimizar los parámetros de fermentación, especialmente la concentración inicial de azúcares y el control de temperatura.

Conclusiones

La combinación de BardIA con Diagrams.net (Draw.io) resultó ser una herramienta eficaz para establecer flujogramas de procesos en la producción de bebidas fermentadas, sin embargo, a pesar de que fueron herramientas muy prácticas para la elaboración del flujograma para bebidas fermentas, no logro cumplir con lo establecido por la normativa INEN 374:2016.

El análisis fisicoquímico de las bebidas fermentadas mostró variaciones en pH, sólidos solubles y acidez. Aunque algunos tratamientos cumplieron con la normativa INEN 374 en acidez, ninguno alcanzó los grados alcohólicos requeridos. El tratamiento T4 destacó con el mayor contenido de sólidos solubles (10,93 °Brix) y la densidad más alta (2,14 g/mL).

En la evaluación sensorial, T4 fue el más equilibrado, con buena armonía en color, aroma y sabor, predominando dulzor medio y acidez moderada. Su composición fenólica y acción enzimática favorecieron un cuerpo medio y alta aceptación.

El análisis del contenido de metanol en el mejor tratamiento, seleccionado con base en sus características organolépticas, demostró que su concentración de 36 mg/L se encuentra ampliamente por debajo del límite máximo de 1000 mg/L establecido por la Norma INEN 374 para bebidas alcohólicas. Este resultado confirma que el tratamiento cumple con los estándares de calidad y seguridad requeridos, asegurando su inocuidad para el consumo humano. Además, evidencia un control adecuado durante el proceso de fermentación, logrando no solo satisfacer los parámetros organolépticos, sino también los químicos exigidos por la normativa vigente.

En cuanto a rendimiento y costos, los tratamientos con levadura fresca, como T4 (82,95%), fueron más eficientes. T3 y T6 resultaron más económicos, con costos por kilogramo de \$0,79 y \$1,02, respectivamente, ofreciendo opciones accesibles frente a vinos comerciales.

Referencias bibliográficas

- Argel, M. P. (21 de 7 de 2024). *Propuesta de modelo predictivo para determinar preferencias y factores que*. Obtenido de Propuesta de modelo predictivo para determinar preferencias y factores que: <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/791ef140-f3af-43c2-86c1-9a084296d220/content>
- Argel, P., & Luca, R. (2024). Propuesta de modelo predictivo para determinar preferencias y factores que influyen en el consumo de cerveza artesanal en mujeres . (*Bachelor's thesis, Especialización en Gerencia de Procesos y Calidad*).
- Arguedas, G. (2013). Definición del proceso de elaboración de una bebida fermentada a partir de pulpa de café. *Tecnología en Marcha*, 12.
- Borja, D. (2021). DSpace ESPOCH.: Obtención de etanol a partir de la mandarina (*Citrus reticulata*) y de la remolacha (*Beta vulgaris*) mediante la repotenciación manual de la torre de destilación de alcohol para la elaboración de gel antibacterial. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16727>
- Burini, J. A. (3 de 8 de 2022). Obtenido de Desarrollo de cultivos iniciadores cerveceros basados en levaduras nativas para la producción de bebidas fermentadas con alto valor agregado: http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncomaid/17094/CRUB_Burini_JA_Desarrollo_De_Cultivos_Iniciadores_Cervceros_Basados_En_Levaduras_Nativas_Para_La_Produccion_De_Bebidas_Fermentadas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Burini, J. A. (2 de 11 de 2022). *Desarrollo de cultivos iniciadores cerveceros basados en levaduras nativas para la producción de bebidas fermentadas con alto valor agregado*. Obtenido de Desarrollo de cultivos iniciadores cerveceros basados en levaduras nativas para la producción de bebidas fermentadas con alto valor agregado: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17094>
- CHEMS. (2019). *Ficha de Datos de Seguridad Metanol*. Altdorf, Alemania: CHEMS.
- Cushicondor, C. L. (13 de agosto de 2024). *Obtención de una bebida tipo kombucha a partir de sunfo (clinopodium nubigenum (kunth) kuntze), llantén (plantago major l.) y guayusa (ilex guayusa)*. Obtenido de Obtención de una bebida tipo kombucha a partir de sunfo (clinopodium nubigenum (kunth) kuntze), llantén (plantago major l.) y guayusa (ilex guayusa).: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12444>
- Demmanuel, D. R., Huancara, C. H., & Cama, Y. A. (2022). Sistema automático para calificación de vino mediante Redes Neuronales. *Innovación y Software*, pp. 30-46 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=673870840003>.
- Díez, A. (2024). Plan de negocio de la optimización de diferentes elementos singulares de una instalación industrial. *Repositorio Comillas*, <http://hdl.handle.net/11531/83470>.

- Galeano, L., Aguirre, S., & Castrillón, O. (2021). Análisis de calidad del vino por medio de técnicas de inteligencia artificial. *Información tecnológica*, vol.32 no.1 La Serena <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100017> .
- Gamboa, A. B. (21 de Octubre de 2019). *Elaboración de bebida fermentada tipo vino con mora y maracuya*. Obtenido de Elaboración de bebida fermentada tipo vino con mora y maracuya: <https://hdl.handle.net/20.500.12753/2218>
- Granadillo, I. L., Rodríguez, G. T., Motzezak, R. H., & Guillén, H. M. (2016). Efecto de la temperatura y el pH en la fermentación del mosto de Agave cocui.
- INEN. (2010). *Instituto ecuatoriano de Normalización. INEN 2427. Frutas frescas - Mora*. Obtenido de INEN 2427 . Frutas frescas - Mora.
- Joyanes, L. (2019). *Industria 4.0: la cuarta revolución industrial*. . Alpha Editorial.
- López, V. (2028). Bebida fermentada elaborada con bacterias ácido lácticas aisladas del pozol tradicional chiapaneco. *CienciaUAT*, 23.
- Lube, P. (6 de 4 de 2019). *Alcohol metílico*. Obtenido de Alcohol metílico: <https://pldistribucion.com.ar/web/producto/alcohol-metilico-metanol/>
- Morocho, C. E. (8 de 8 de 2024). *Integración de IOT Y Machine Learning para la estimación y calidad del vino*. Obtenido de Integración de IOT Y Machine Learning para la estimación y calidad del vino: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26159/1/CD%2014754.pdf>
- Pascual, J. (2023). El conocimiento compartido y la inteligencia artificial, claves del futuro para el vino. *La Prensa del Rioja*, ISSN 9956-4920, N° 242, págs. 8-13.
- Rodríguez, R. (2020). *Fermentación de jugos y bebidas a base de frutas*. Buenos Aires: Instituto Danone.
- Soto Mora, J. E., Charry Roa, S., & Amorocho Cruz, C. M. (2021). Evaluación del comportamiento del color del vino artesanal de curuba “Son del Alba”. *Ingeniería y Región*, 26, 4-19. <https://doi.org/10.25054/22161325.2915>
- Sotomayor, & Ramírez. (2021). Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina. (*CEPAL*)/*Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*., <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46965>.
- Suarez, C. (2016). (PDF) LEVADURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE Y LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL. Revisión bibliográfica. YEAST SACCHAROMYCES CEREVISIAE AND THE PRODUCTION OF ALCOHOL. A Review. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/313899904_LEVADURA_SACCHAROMYCES_CEREVISIAE_Y_LA_PRODUCCION_DE_ALCOHOL_Revisión_bibliográfica_YEAST_SACCHAROMYCES_CEREVISIAE_AND_THE_PRODUCTION_OF_ALCOHOL_A_Review

- Suárez, O. (2022). Agricultura bajo contrato en Ecuador, una aproximación desde la Economía Política Agraria. https://www.santodomingo.gob.ec/?page_id=3151. Obtenido de https://www.santodomingo.gob.ec/?page_id=3151
- Tech, T. F. (9 de 4 de 2024). *Nuevos métodos de control de la fermentación: un camino hacia la eficiencia y la calidad*. Obtenido de Nuevos métodos de control de la fermentación: un camino hacia la eficiencia y la calidad: <https://thefoodtech.com/tecnologia-de-los-alimentos/nuevos-metodos-de-control-de-la-fermentacion-un-camino-hacia-la-eficiencia-y-la-calidad/>
- Vasquez Shuña, C. Y. (2020). Determinación de la concentración óptima de pulpa de camu camu (*Myrciaria Dubia H.B.K. Mc. Vaugh.*), como mosto para elaboración de vino dulce en pucallpa. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/5894>
- Yarasca, J. C. (12 de mayo de 2023). *Estudio prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de bebidas probióticas a base de té de kombucha (Medusomyces gisevi), piña (Ananas comosus) y kion (Zingiber officinale)*. Obtenido de Estudio prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de bebidas probióticas a base de té de kombucha (*Medusomyces gisevi*), piña (*Ananas comosus*) y kion (*Zingiber officinale*): <https://hdl.handle.net/20.500.12724/18593>
- Yepez, Naranjo, M., & Sánchez, O. (2018). Valorización de residuos agroindustriales-frutas-en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422-4431.
- Zapateiro, L. A. G., Mendoza, C. I. F., & Ligardo, Y. M. (2016). Elaboración y caracterización físicoquímica de un vino joven de fruta de borojó (*B patinoi* Cuatrec). *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 27(52), 507-519.