

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGIENERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BASICAS



Elaboración y caracterización fisicoquímica de una bebida alcohólica fermentada a base de amaranto (*Amaranthus spp.*) utilizando jengibre (*Zingiber officinale*) como fuente natural de enzimas.

Por:

ANA KAREN BELMONTES DIAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGIENERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BASICAS

Elaboración y caracterización fisicoquímica de una bebida alcohólica fermentada a base de amaranto (*Amaranthus spp.*) utilizando jengibre (*Zingiber officinale*) como fuente natural de enzimas.

Por:

ANA KAREN BELMONTES DIAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Aprobada por el comité de asesoría:

QFB María del Carmen Julia García

Asesor principal

M.C. Carlos Alberto García Agustince

Coasesor

Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón

Coasesor

Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGIENERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BASICAS

Elaboración y caracterización fisicoquímica de una bebida alcohólica fermentada a base de amaranto (*Amaranthus spp.*) utilizando jengibre (*Zingiber officinale*) como fuente natural de enzimas.

Por:

ANA KAREN BELMONTES DIAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Aprobada

 _____ QFB María del Carmen Julia García	Jurado Examinador	 _____ M.C. Carlos Alberto García Agustince
Presidente		Vocal
 _____ Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón		 _____ Dra. Laura María Solís Salas
Vocal		Vocal suplente
	 _____ M.C. Sergio Martínez Sánchez Coordinador de la División de Ingeniería	

Saltillo Coahuila, México

Junio 2026

DEDICATORIA

Principalmente a **Dios**, por acompañarme en cada etapa de este camino, por darme la fuerza, la salud y la oportunidad de llegar hasta este momento. Incluso en aquellos momentos en los que dudé y me sentí perdida, su presencia nunca me abandonó y me permitió seguir adelante cuando más lo necesité.

A mi madre, **Carolina Belmontes Díaz**, por ser el pilar más importante de mi vida. Gracias por nunca rendirte conmigo, por estar siempre al pie del cañón, por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba de mis capacidades y por brindarme tu apoyo incondicional en cada paso de este proceso. Todo lo que soy hoy es resultado del amor, esfuerzo y sacrificio que has entregado a nuestra familia.

A mi hermana, **Fernanda Soledad Belmontes Díaz**, por ser mucho más que una hermana; por ser mi mejor amiga, mi compañera y una de las personas que más ha creído en mí. Gracias por escucharme en los momentos difíciles, por alentarme cuando sentía que no podía más y por recordarme siempre que era capaz de alcanzar mis metas. Tu apoyo y confianza fueron fundamentales para llegar hasta aquí.

A mi hermano, **Ernesto Martínez Belmontes**, porque a su manera siempre estuvo presente. Gracias por creer en mí, por el cariño que siempre me has demostrado y por darme fuerza para seguir adelante aun sin darte cuenta. En muchos momentos encontré en ti apoyo, compañía y motivos para no rendirme, y por ello siempre estaré agradecida.

A ustedes, mi familia, gracias por acompañarme durante este camino, por celebrar mis logros, sostenerme en mis momentos difíciles y enseñarme que con esfuerzo, perseverancia y amor todo es posible. Este logro también les pertenece.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la **Q.F.B. María del Carmen Julia García**, asesora de esta tesis, por su guía, dedicación y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos, por su paciencia al enseñar, por su disposición para escuchar y resolver dudas, y por la confianza brindada a lo largo de este proceso. Su vocación docente y compromiso con la formación de sus estudiantes han sido una valiosa inspiración en mi formación académica y profesional.

A la **Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón**, por el apoyo brindado durante mi formación universitaria, tanto en su labor como docente como en su papel dentro del programa académico. Gracias por su disposición para orientar, apoyar y atender las necesidades de los estudiantes, así como por su interés genuino en nuestro desarrollo profesional. Su respaldo y confianza fueron de gran importancia durante esta etapa.

Al **M.C. Omar Alonso García**, por su amistad, apoyo y acompañamiento a lo largo de los años. Gracias por haber influido de manera importante en mi decisión de formar parte de esta institución y por mantenerse siempre presente, brindándome apoyo tanto en el ámbito académico como en el personal. Aprecio profundamente cada consejo, cada palabra de aliento y la disposición que siempre mostró para ayudarme cuando lo necesité.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este camino y contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional. Cada enseñanza, consejo y muestra de apoyo hicieron posible la culminación de esta etapa tan importante de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS.....	2
3. OBJETIVOS.....	2
3.1. Objetivo general	2
3.2. Objetivos específicos	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1 Composición química del amaranto	3
4.2 Propiedades nutricionales del amaranto	4
4.3 Beneficios del amaranto.....	4
4.4 Lípidos del amaranto.....	5
4.5 Proteínas del amaranto.....	5
4.6 Bebidas probióticas y prebióticas.....	5
4.7 Fermentación del amaranto	6
4.8 Jengibre (<i>Zingiber officinale</i>).....	7
4.9 Componentes del jengibre	7
4.10 Enzimas presentes en el jengibre	8
4.11 Aplicaciones del jengibre en alimentos	9
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
5.1. Localización del experimento	9
5.2. Materia prima	10
5.4. Fermentación	12
5.5. Análisis fisicoquímicos.....	14
5.5.1 Sólidos solubles totales(°Brix).....	14
5.5.2 Potencial de hidrogeno (pH).....	14
5.5.3 Acidez titulable	14
5.5.4 Grados de alcohol	15

5.6 Análisis proximal	15
5.6.1 Determinación de cenizas	16
5.6.2. Extracto etéreo	16
5.6.3 Determinación de proteínas	17
5.6.4 Determinación de aminoácidos libres	18
5.7. Análisis estadístico	19
6. RESULTADOS	20
6.1 Sólidos solubles (°Brix)	20
6.2 pH	21
6.3 Determinación de aminoácidos libres	25
7. DISCUSION	26
7.1 Sólidos solubles (°Brix) y contenido de alcohol	26
7.2 pH de la bebida durante la fermentación	27
7.3 Temperatura durante la fermentación	28
7.4 Acidez titulable	29
7.5 Contenido de proteína en amaranto en grano	30
7.6 Contenido de proteína en la bebida fermentada	31
7.7 Contenido de grasa en amaranto en grano	32
7.8 Contenido de cenizas y materia orgánica en amaranto en grano	33
7.9 Contenido de cenizas y materia orgánica en la bebida fermentada	34
7.10 Contenido de aminoácidos libres en amaranto en grano y bebida fermentada	34
8. CONCLUSIONES	35
9. RECOMENDACIONES	36
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE CUADRO

Tabla 1. Variación de sólidos solubles (°Brix) durante la fermentación	20
Tabla 2. Variación de pH durante la fermentación	21
Tabla 3. Variación de temperatura durante la fermentación.....	22
Tabla 4. Acidez titulante de la bebida fermentada.....	23
Tabla 5. Contenido de nitrógeno y proteína en amaranto en grano	23
Tabla 6. Contenido de nitrógeno y proteína en la bebida fermentada.....	24
Tabla 7. Contenido de grasa en muestras analizadas de amaranto en grano	24
Tabla 8. Contenido de cenizas y materia orgánica en amaranto en grano	24
Tabla 9. Contenido de cenizas y materia orgánica en la bebida fermentada	25
Tabla 10. Concentración de aminoácidos libres en amaranto en grano (MS) y bebida líquida fermentada (BL).	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Amaranto utilizado como materia prima para la elaboración de la bebida .	10
Figura 2. Tratamiento térmico del amaranto durante la elaboración del sustrato.....	11
Figura 3. Sistema de fermentación con airlock utilizado en el proceso.	12
Figura 4 y 5. Bebida fermentada filtrada y envasada en botellas de vidrio.	13
Figura 6. Sistema Soxhlet utilizado para la extracción de grasa.	16
Figura 7. Equipo de destilación utilizado en la determinación de proteínas por el método Kjeldahl.....	18
Figura 8. Variación de sólidos solubles (°Brix) durante la fermentación.....	20
Figura 9. Variación de pH durante la fermentación	21
Figura 10 Variación de temperatura durante la fermentación	22
Figura 11. Curva de calibración de glicina para la determinación de aminoácidos libres.	25

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló una bebida alcohólica fermentada a base de granos de amaranto (*Amaranthus spp.*), utilizando jengibre (*Zingiber officinale*) como fuente natural de enzimas, mediante un proceso de hidrólisis térmica seguido de fermentación con levadura. Durante el proceso se evaluaron parámetros fisicoquímicos como sólidos solubles (°Brix), pH, temperatura y acidez titulable, con el objetivo de dar seguimiento al comportamiento fermentativo del sistema. Asimismo, se realizó un análisis proximal para determinar el contenido de proteína, grasa y cenizas tanto en el amaranto en grano como en la bebida final. Adicionalmente, se cuantificó el contenido de aminoácidos libres mediante el método de ninhidrina utilizando una curva de calibración de glicina como estándar.

Los resultados mostraron una disminución de los sólidos solubles de 7.5 a 3.8 °Brix, lo que indica el consumo de azúcares fermentables y permitió estimar un contenido de alcohol de 2.04 % v/v. El pH se mantuvo en un rango de 4.10 a 4.30, mientras que la acidez titulable aumentó hasta un promedio de 2.05 %, evidenciando la formación de compuestos ácidos durante la fermentación. En el amaranto en grano se determinó un contenido de proteína de 18.34 % y grasa de 5.10 %, mientras que en la bebida fermentada se observó una disminución en el contenido de proteína. Por otra parte, la cuantificación de aminoácidos libres mostró concentraciones mayores en la bebida fermentada que en el amaranto en grano, lo que sugiere que durante el proceso fermentativo ocurrió la liberación de compuestos nitrogenados de menor tamaño.

En conjunto, los resultados obtenidos indican que el amaranto constituye una materia prima viable para la elaboración de bebidas fermentadas, permitiendo obtener un producto con características fisicoquímicas estables y con potencial para el desarrollo de alimentos innovadores.

ABSTRACT

In the present study, an alcoholic fermented beverage was developed from amaranth grains (*Amaranthus spp.*), using ginger (*Zingiber officinale*) as a natural source of enzymes, through a thermal hydrolysis process followed by yeast fermentation. During the process, physicochemical parameters such as soluble solids (°Brix), pH, temperature, and titratable acidity were evaluated to monitor the fermentative behavior of the system. In addition, a proximate analysis was performed to determine the protein, fat, and ash contents in both the dry matter and the final beverage. Furthermore, the content of free amino acids was quantified using the ninhydrin method with a glycine calibration curve as the standard.

The results showed a decrease in soluble solids from 7.5 to 3.8 °Brix, indicating the consumption of fermentable sugars and allowing an estimated alcohol content of 2.04 % v/v. The pH remained within a range of 4.10 to 4.30, while titratable acidity increased to an average of 2.05 %, evidencing the formation of acidic compounds during fermentation. In the dry matter, a protein content of 18.34 % and a fat content of 5.10 % were determined, whereas the fermented beverage showed a lower protein content. On the other hand, the quantification of free amino acids revealed higher concentrations in the fermented beverage than in the dry matter, suggesting that the fermentation process promoted the release of smaller nitrogen-containing compounds.

Overall, the results indicate that amaranth is a viable raw material for the production of fermented beverages, allowing the development of a product with stable physicochemical characteristics and potential for the creation of innovative food products.

1. INTRODUCCIÓN

Las bebidas alcohólicas fermentadas han formado parte de la alimentación y la cultura de diversas sociedades a lo largo de la historia, consolidándose como productos de gran importancia económica y social a nivel mundial. En la actualidad, su producción no solo responde a la demanda tradicional, sino también a la necesidad de innovar mediante el uso de nuevas materias primas que permitan diversificar la oferta y aprovechar recursos disponibles de manera más eficiente (Aderibigbe *et al.*, 2022). En este contexto, la fermentación alcohólica constituye un proceso biotecnológico fundamental, llevado a cabo principalmente por levaduras del género *Saccharomyces*, las cuales transforman azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono, además de generar compuestos que influyen en las características sensoriales del producto final (Cruz-Casas *et al.*, 2023).

De manera tradicional, la elaboración de bebidas alcohólicas se ha basado en el uso de cereales como la cebada, el maíz y el arroz, debido a su alto contenido de almidón y a la facilidad con la que pueden ser transformados en azúcares fermentables mediante procesos como la hidrólisis o sacarificación (Aderibigbe *et al.*, 2022). Sin embargo, en los últimos años ha surgido un mayor interés por el aprovechamiento de pseudocereales como el amaranto (*Amaranthus spp.*), el cual destaca por su valor nutricional y su potencial como materia prima alternativa en la industria alimentaria. Este grano contiene una proporción importante de almidón, así como proteínas de buena calidad biológica, lípidos insaturados y compuestos bioactivos (Sarker *et al.*, 2022).

A pesar de estas características, el uso del amaranto en la producción de bebidas alcohólicas fermentadas es aún limitado. Una de las principales razones es que el almidón presente en este grano no se encuentra disponible de forma directa para la fermentación, por lo que es necesario someterlo a procesos previos de hidrólisis que permitan la liberación de azúcares fermentables (Aderibigbe *et al.*, 2022). Esta condición representa un reto tecnológico, pero al mismo tiempo una oportunidad para

el desarrollo de procesos que favorezcan su aprovechamiento en la elaboración de productos innovadores.

Por otra parte, la incorporación de ingredientes como el jengibre (*Zingiber officinale*) puede contribuir a mejorar las características sensoriales de la bebida, además de aportar compuestos con actividad antioxidante y propiedades funcionales (Jan *et al.*, 2023). Su incorporación permite diversificar las características del producto y generar alternativas con mayor valor agregado dentro del mercado de bebidas fermentadas.

En este sentido, el desarrollo de una bebida alcohólica fermentada a partir de amaranto representa una alternativa viable para ampliar el uso de este cultivo, particularmente en regiones donde su producción es significativa. Asimismo, responde a la tendencia actual de búsqueda de productos diferenciados, elaborados a partir de materias primas no convencionales y con potencial nutricional, promoviendo la innovación en el área de alimentos y el aprovechamiento de recursos subutilizados.

2. HIPÓTESIS

La hidrólisis y fermentación de granos de amaranto utilizando jengibre (*Zingiber officinale*) como fuente natural de enzimas y levaduras como agente fermentador permitirá obtener una bebida alcohólica con características fisicoquímicas adecuadas, debido a la conversión del almidón y los azúcares fermentables en etanol.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Desarrollar una bebida alcohólica fermentada a partir de granos de amaranto (*Amaranthus spp.*), utilizando jengibre (*Zingiber officinale*) como fuente natural de enzimas, mediante un proceso de hidrólisis y fermentación, y evaluar sus características fisicoquímicas y composición proximal.

3.2. Objetivos específicos

- Elaborar una bebida alcohólica fermentada a base de amaranto mediante un proceso de hidrólisis y fermentación.
- Evaluar los cambios fisicoquímicos ocurridos durante el proceso de fermentación.
- Determinar la composición proximal de la bebida obtenida mediante la cuantificación de proteína, extracto etéreo y cenizas.
- Cuantificar el contenido de aminoácidos libres presentes en la bebida fermentada.
- Analizar la influencia del jengibre en el proceso de fermentación y las propiedades del producto final.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Composición química del amaranto

El amaranto (*Amaranthus spp.*) se caracteriza por presentar una composición química equilibrada, lo que lo posiciona como un pseudocereal de alto valor nutricional. Sus semillas contienen aproximadamente entre 60 y 70 % de carbohidratos, principalmente en forma de almidón, entre 13 y 19 % de proteínas, de 7 a 9 % de lípidos y cerca de 3 % de cenizas, además de un contenido relevante de fibra dietaria. Asimismo, destaca por su aporte de minerales como calcio, hierro, magnesio y fósforo, los cuales se encuentran en concentraciones superiores a las reportadas en cereales convencionales (Sarker *et al.*, 2022).

En relación con su aplicación en procesos biotecnológicos, el amaranto presenta características que favorecen su aprovechamiento en procesos fermentativos debido a su contenido de almidón y otros compuestos susceptibles de transformación. Procesos como la germinación y la fermentación pueden modificar su composición química, favoreciendo la solubilidad de proteínas y reduciendo compuestos antinutricionales como fitatos y taninos, lo que contribuye a mejorar la biodisponibilidad de nutrientes (Gamel & Mesallam, 2020)

4.2 Propiedades nutricionales del amaranto

El amaranto destaca por su alta calidad proteica, atribuida a un adecuado balance de aminoácidos esenciales, particularmente por su contenido de lisina, la cual suele encontrarse en cantidades limitadas en cereales tradicionales. Esta característica lo convierte en una fuente importante de proteína vegetal, con potencial para mejorar la calidad nutricional de diferentes productos alimenticios (Amare *et al.*, 2021).

En cuanto a su fracción lipídica, el amaranto contiene principalmente ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico (omega-6) y el ácido α -linolénico (omega-3), los cuales se asocian con efectos benéficos para la salud cardiovascular. Además, contiene compuestos bioactivos como tocoferoles y otros antioxidantes que contribuyen a la reducción del estrés oxidativo (Sarker *et al.*, 2022).

Respecto a su contenido de micronutrientes, el amaranto aporta vitaminas del complejo B y minerales esenciales, lo que refuerza su valor nutricional. En conjunto, estas características han incrementado el interés en su uso para el desarrollo de alimentos con beneficios potenciales para la salud, particularmente en la prevención de enfermedades crónicas (Alvarez-Jubete *et al.*, 2020).

4.3 Beneficios del amaranto

El amaranto (*Amaranthus spp.*) presenta diversos beneficios para la salud asociados a su composición nutricional, destacando su contenido de compuestos bioactivos con actividad antioxidante, así como su aporte de nutrientes esenciales. Se ha reportado que su consumo puede contribuir a la reducción de factores de riesgo relacionados con enfermedades cardiovasculares y metabólicas, debido a la presencia de fibra, compuestos fenólicos y ácidos grasos insaturados (Aderibigbe *et al.*, 2022; Jan *et al.*, 2023).

Por otra parte, sus proteínas presentan una alta digestibilidad, cercana al 90 %, lo que favorece su aprovechamiento por el organismo. Esta característica lo hace adecuado para distintos grupos poblacionales, incluyendo niños y adultos mayores. En comparación con cereales tradicionales como el trigo y el maíz, el amaranto presenta mayor contenido proteico y mineral, además de no contener gluten, lo que amplía sus

posibilidades de uso en el desarrollo de alimentos funcionales y en dietas especiales (Aderibigbe *et al.*, 2022).

4.4 Lípidos del amaranto

El contenido lipídico del amaranto oscila entre 7 y 9 % del grano, siendo superior al de la mayoría de los cereales convencionales. Su fracción lipídica está compuesta principalmente por ácidos grasos insaturados, destacando el ácido linoleico (omega-6) y el ácido α -linolénico (omega-3), los cuales han sido asociados con efectos benéficos para la salud cardiovascular. Asimismo, el amaranto contiene escualeno, un compuesto con propiedades antioxidantes que contribuye a la estabilidad oxidativa de los lípidos (Jan *et al.*, 2023).

Estas características hacen que el amaranto represente una fuente importante de lípidos de alta calidad nutricional, lo que refuerza su potencial como ingrediente para la formulación de alimentos con propiedades funcionales (Aderibigbe *et al.*, 2022).

4.5 Proteínas del amaranto

El amaranto se distingue por su contenido proteico, el cual oscila entre 13 y 19 %, superando al de diversos cereales tradicionales. Sus proteínas son consideradas de alta calidad biológica debido a su adecuado balance de aminoácidos esenciales, particularmente por su contenido de lisina, la cual suele encontrarse en cantidades limitadas en granos como el trigo y el maíz (Aderibigbe *et al.*, 2022).

Además, presenta niveles relevantes de aminoácidos como metionina y triptófano, lo que contribuye a mejorar el perfil nutricional de la dieta cuando se incorpora en productos alimenticios. Esta calidad proteica, junto con su buena digestibilidad, posiciona al amaranto como una alternativa viable para la suplementación proteica de origen vegetal y para el desarrollo de alimentos con valor agregado (Jan *et al.*, 2023)

4.6 Bebidas probióticas y prebióticas

Las bebidas probióticas se definen como aquellas que contienen microorganismos vivos viables, principalmente bacterias ácido-lácticas, en concentraciones suficientes para ejercer efectos benéficos en la salud del consumidor. Por su parte, los prebióticos corresponden a compuestos no digeribles, como ciertos oligosacáridos y fibras, que

estimulan selectivamente el crecimiento y la actividad de microorganismos beneficiosos en el tracto intestinal. Ambos componentes han adquirido relevancia en la formulación de alimentos funcionales debido a su papel en la modulación de la microbiota intestinal, la mejora de la digestión y el fortalecimiento del sistema inmune (Orona-Tamayo *et al.*, 2022).

En el caso de las bebidas, estos componentes se han incorporado tanto en matrices lácteas como no lácteas, incluyendo aquellas elaboradas a partir de pseudocereales. Estas matrices permiten no solo el desarrollo de microorganismos benéficos, sino también la mejora del perfil sensorial y de la estabilidad del producto. En este contexto, el amaranto representa una materia prima adecuada debido a su contenido de almidón, proteínas y compuestos bioactivos, los cuales favorecen el crecimiento microbiano y la obtención de bebidas con propiedades funcionales (García-Díaz *et al.*, 2025).

4.7 Fermentación del amaranto

La fermentación del amaranto es un proceso que involucra la acción de microorganismos como bacterias ácido-lácticas y otros sistemas microbianos, los cuales transforman los componentes del grano y modifican sus propiedades nutricionales. Durante este proceso se producen cambios importantes, como la disminución del pH y la acción de enzimas que favorecen la hidrólisis de macromoléculas, particularmente proteínas y carbohidratos (Cruz-Casas *et al.*, 2023).

Como resultado de la fermentación, puede incrementarse la biodisponibilidad de nutrientes debido a la reducción de compuestos antinutricionales, como fitatos e inhibidores enzimáticos. Asimismo, se liberan péptidos bioactivos y compuestos fenólicos con actividad antioxidante, lo que contribuye a mejorar las propiedades funcionales del producto final. Diversos estudios han demostrado que estos procesos pueden generar compuestos con potencial actividad antihipertensiva, antioxidante y antimicrobiana, reforzando el interés en el amaranto como sustrato para la elaboración de alimentos fermentados (Orona-Tamayo *et al.*, 2022; Cruz-Casas *et al.*, 2023).

4.8 Jengibre (*Zingiber officinale*)

El jengibre (*Zingiber officinale*) es una planta herbácea perenne perteneciente a la familia Zingiberaceae, ampliamente cultivada y utilizada como especia en diversas regiones del mundo. La parte de mayor interés corresponde al rizoma, el cual ha sido empleado tradicionalmente en la alimentación debido a sus características sensoriales, así como por la presencia de compuestos con potencial aplicación en la industria alimentaria y biotecnológica (Ayustaningwarno *et al.*, 2024).

En la actualidad, el jengibre ha despertado un creciente interés científico debido a su composición química, caracterizada por la presencia de compuestos fenólicos, aceites esenciales y diversas sustancias bioactivas. Estos compuestos contribuyen a las propiedades funcionales atribuidas al rizoma y favorecen su utilización en el desarrollo de alimentos y bebidas con valor agregado (Styawan *et al.*, 2022).

Además de su importancia como ingrediente alimentario, el jengibre ha sido estudiado como una fuente natural de compuestos con potencial tecnológico, lo que ha ampliado sus aplicaciones en diferentes procesos relacionados con la transformación de alimentos. Por ello, esta especie constituye una materia prima de interés para el desarrollo de productos innovadores y la búsqueda de alternativas naturales dentro de la industria alimentaria (Ayustaningwarno *et al.*, 2024; Styawan *et al.*, 2022).

4.9 Componentes del jengibre

El rizoma de jengibre (*Zingiber officinale*) presenta una composición química compleja integrada por compuestos fenólicos, aceites esenciales, carbohidratos, proteínas, fibra dietaria, vitaminas y minerales. Sin embargo, gran parte de sus propiedades sensoriales y funcionales se atribuyen a la presencia de compuestos fenólicos bioactivos y componentes volátiles presentes en el aceite esencial (Styawan *et al.*, 2022).

Entre los compuestos fenólicos más importantes se encuentran los gingeroles, considerados los principales responsables del sabor picante característico del jengibre fresco. Durante procesos de almacenamiento o tratamiento térmico, los gingeroles pueden transformarse en otros compuestos como los shogaols y la zingerona, los

cuales también presentan actividad biológica y contribuyen a las propiedades funcionales de la planta (Ayustaningwarno *et al.*, 2024).

Por otra parte, el aceite esencial del jengibre está constituido principalmente por compuestos terpénicos, entre los que destacan el zingibereno, β -bisaboleno, α -farneseno y β -sesquifelandreno. Estos compuestos participan en el aroma característico del rizoma y contribuyen a sus propiedades organolépticas, lo que favorece su aplicación en la elaboración de alimentos y bebidas (Styawan *et al.*, 2022).

La combinación de compuestos fenólicos y componentes volátiles confiere al jengibre características de interés nutricional, funcional y tecnológica, lo que ha favorecido su incorporación en diversos productos alimenticios y su estudio como ingrediente con potencial aplicación en procesos biotecnológicos (Ayustaningwarno *et al.*, 2024).

4.10 Enzimas presentes en el jengibre

Además de los compuestos fenólicos y aceites esenciales, el jengibre (*Zingiber officinale*) contiene enzimas con potencial aplicación en procesos alimentarios. Entre ellas destaca la zingibaína, una proteasa presente en el rizoma que pertenece al grupo de las proteasas de cisteína. Esta enzima posee la capacidad de hidrolizar proteínas, fragmentándolas en péptidos y compuestos de menor tamaño mediante la ruptura de enlaces peptídicos (Hashim *et al.*, 2021).

La actividad proteolítica de la zingibaína ha despertado interés en la industria alimentaria debido a su potencial para modificar proteínas presentes en diferentes matrices alimentarias. Diversos estudios han señalado que esta enzima puede participar en procesos de hidrólisis proteica, favoreciendo cambios en la estructura de las proteínas y contribuyendo a la generación de compuestos más simples (Hashim *et al.*, 2021).

Debido a la presencia de estas enzimas naturales, el jengibre ha sido considerado una fuente de interés biotecnológico para aplicaciones relacionadas con la transformación de alimentos. Su utilización como fuente natural de enzimas representa una alternativa al empleo de preparados enzimáticos comerciales, especialmente en procesos donde se busca aprovechar ingredientes de origen vegetal (Nafi *et al.*, 2022).

4.11 Aplicaciones del jengibre en alimentos

El jengibre (*Zingiber officinale*) es ampliamente utilizado en la industria alimentaria debido a sus características sensoriales, funcionales y tecnológicas. Su rizoma se emplea como ingrediente en una gran variedad de productos, incluyendo bebidas, productos de panificación, confitería, salsas y alimentos procesados, donde aporta aroma, sabor y compuestos bioactivos de interés nutricional (Ayustaningwarno *et al.*, 2024).

Además de su uso como agente saborizante, el jengibre ha sido incorporado en el desarrollo de alimentos funcionales debido a la presencia de compuestos fenólicos con actividad antioxidante. Estas características han favorecido su utilización en la formulación de productos con valor agregado y en la búsqueda de alternativas naturales para mejorar las propiedades de los alimentos (Styawan *et al.*, 2022).

Por otra parte, la presencia de enzimas naturales en el rizoma ha despertado interés en su aplicación dentro de distintos procesos de transformación alimentaria. Su potencial como fuente natural de enzimas representa una alternativa para promover modificaciones bioquímicas en determinadas matrices alimentarias, contribuyendo al desarrollo de procesos más sostenibles y al aprovechamiento de ingredientes de origen vegetal (Hashim *et al.*, 2021).

Debido a estas características, el jengibre continúa siendo objeto de investigación en el área de alimentos, particularmente en el desarrollo de bebidas, productos fermentados y formulaciones innovadoras que combinen propiedades sensoriales y funcionales.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de apoyo a la investigación del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

5.2. Materia prima

Para la elaboración de la bebida fermentada se utilizó:

- amaranto
- jengibre fresco
- azúcar
- agua purificada
- Levadura como agente fermentador.



Figura 1. Amaranto utilizado como materia prima para la elaboración de la bebida (*Belmontes 2026*).

5.3. Elaboración de la bebida fermentada

Se utilizaron 3 L de agua purificada, los cuales fueron calentados hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 90 °C. Posteriormente, se adicionaron 250 g de amaranto sin molienda y se mantuvo la mezcla a una temperatura entre 85 y 90 °C durante 30-40 minutos hasta alcanzar una papilla espesa.



Figura 2. Tratamiento térmico del amaranto durante la elaboración del sustrato. (*Belmontes 2026*).

Una vez transcurrido este tiempo, la mezcla fue enfriada hasta aproximadamente 60-65 °C, momento en el cual se agregó jengibre previamente rallado. Posteriormente, la mezcla se mantuvo a esta temperatura durante una hora, con agitación ocasional, con la finalidad de favorecer la acción de las enzimas presentes en el jengibre sobre los componentes del amaranto.

Posteriormente, la mezcla fue filtrada utilizando una tela de filtración y un colador fino para separar el bagazo del líquido obtenido. El residuo sólido fue lavado con aproximadamente 2 L de agua caliente (75 °C) para favorecer la recuperación de azúcares solubles remanentes, incorporando posteriormente el líquido recuperado al filtrado principal.

Una vez concluido el filtrado, el mosto obtenido fue hervido durante un periodo de 30 a 45 minutos. Después del calentamiento, la mezcla fue enfriada utilizando hielo hasta alcanzar una temperatura adecuada para la fermentación.

Finalmente, se adicionaron 200 g de azúcar y levadura comercial, obteniéndose así el sustrato listo para el proceso de fermentación.

5.4. Fermentación

El sustrato obtenido fue colocado en un recipiente de vidrio equipado con un sistema de cierre tipo airlock, con la finalidad de permitir la liberación de gases y evitar la entrada de contaminantes.



Figura 3. Sistema de fermentación con airlock utilizado en el proceso. (Belmontes 2026).

La fermentación se llevó a cabo durante un periodo de 7 días a una temperatura de 22 °C.

Posteriormente, la bebida fue sometida a un proceso de refrigeración durante aproximadamente 8 días. Finalizado este periodo, se realizó un filtrado final y el producto fue almacenado en botellas de vidrio.



Figura 4 y 5 Bebida fermentada filtrada y envasada en botellas de vidrio. (Belmontes 2026).

5.5. Análisis fisicoquímicos

5.5.1 Sólidos solubles totales (°Brix)

Los grados Brix representan la concentración de sólidos solubles presentes en una muestra, principalmente azúcares, y constituyen un parámetro ampliamente utilizado para evaluar el contenido de compuestos solubles en sistemas alimentarios. Para su determinación se empleó un refractómetro digital de bolsillo ATC-1E marca ATAGO, con un intervalo de medición de 0 a 32 °Brix y una precisión de ± 0.1 , de acuerdo con el método AOAC 983.17.

Previamente a las mediciones, el equipo fue calibrado utilizando agua destilada a temperatura ambiente, verificando una lectura de 0 °Brix. Posteriormente, se colocaron aproximadamente 0.3 mL de muestra (una o dos gotas) a 20 °C sobre la superficie de lectura del refractómetro. Cada muestra fue analizada por triplicado.

Los valores obtenidos se expresaron en grados Brix (°Brix), unidad utilizada para estimar la concentración de sólidos solubles presentes en la muestra.

5.5.2 Potencial de hidrogeno (pH)

Se utilizó un potenciómetro Hanna modelo HI98127 previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4 y pH 10, de acuerdo con el método AOAC 981.12 (AOAC, 1990). El potencial de hidrógeno (pH) es un parámetro que permite determinar el grado de acidez o alcalinidad de una muestra mediante una escala numérica que generalmente varía de 0 a 14, donde valores inferiores a 7 indican acidez, valores cercanos a 7 neutralidad y valores superiores a 7 alcalinidad.

La determinación del pH se realizó en 50 mL de muestra, efectuando tres repeticiones para cada una de las muestras analizadas.

5.5.3 Acidez titulable

La acidez titulable se determinó de acuerdo con el método AOAC 942.15 (AOAC, 1990) y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido láctico. Para ello, se tomaron 10 mL de muestra y se adicionaron de 3 a 5 gotas de fenolftaleína como indicador. Posteriormente, la muestra fue titulada con una solución de hidróxido de

sodio (NaOH) 0.1 N hasta la aparición de una coloración rosa pálida persistente durante aproximadamente un minuto.

Calculo:

$$\text{g\% de ácido láctico} = \frac{n \times 0.009 \times 100}{V}$$

Donde:

n= mL de NaOH utilizados para titulación

V= volumen de muestra utilizado

0.009 = meg de ácido láctico

5.5.4 Grados de alcohol

El contenido de alcohol se estimó de manera aproximada a partir de la diferencia entre los grados Brix iniciales y finales registrados durante el proceso de fermentación de la bebida elaborada a base de amaranto, utilizando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Alcohol} \approx (^\circ\text{Brix inicial} - ^\circ\text{Brix final}) \times 0.55."$$

Donde:

°Brix inicial = Concentración inicial de sólidos solubles.

°Brix final = Concentración final de sólidos solubles después de la fermentación.

% Alcohol = Contenido estimado de alcohol por volumen.

5.6 Análisis proximal

El análisis proximal se realizó para determinar el contenido de cenizas, extracto etéreo y proteínas en muestras de bebida y amaranto en grano de amaranto.

5.6.1 Determinación de cenizas

Se utilizaron 12 crisoles previamente acondicionados (lavados, secados y pesados), de los cuales seis correspondieron a muestras de bebida y seis a amaranto en grano.

Se colocó aproximadamente 1 g de muestra de amaranto en grano y 10 mL de bebida en cada crisol. Posteriormente, las muestras se sometieron a secado en estufa y posteriormente a incineración en mufla hasta la obtención de cenizas.

Los crisoles se enfriaron en desecador y se registró el peso final. El contenido de cenizas se determinó por diferencia de peso.

5.6.2. Extracto etéreo

Se realizaron tres repeticiones. Se pesaron aproximadamente 4 g de amaranto en grano, las cuales se colocaron en cartuchos de extracción.

Los matraces de extracción fueron lavados, secados y pesados previamente (peso inicial). Posteriormente, se añadió el solvente orgánico hexano RA y se montó el sistema de extracción tipo Soxhlet.



Figura 6. Sistema Soxhlet utilizado para la extracción de grasa. (Belmontes 2026).

La extracción se llevó a cabo durante 12 horas continuas, permitiendo ciclos constantes de extracción del solvente sobre la muestra.

Al término, el solvente fue recuperado por evaporación y los matraces con el extracto se llevaron a secado hasta peso constante.

Finalmente, los matraces fueron enfriados en desecador y pesados nuevamente (peso final). El contenido de extracto etéreo se determinó por diferencia de peso.

5.6.3 Determinación de proteínas

La determinación del contenido de proteínas se realizó mediante el método Kjeldahl, el cual permite cuantificar el nitrógeno total presente en la muestra.

Se utilizaron seis matraces Kjeldahl: tres para amaranto en grano (1 g) y tres para muestra líquida (10 mL). A cada matraz se le adicionó la muestra, ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y pastillas catalizadoras tipo G3R3. La digestión se llevó a cabo mediante calentamiento hasta obtener una solución clara y sin residuos visibles, indicativa de la descomposición de la materia orgánica.

Para la etapa de destilación, se prepararon los matraces correspondientes. En este punto, se adicionó hidróxido de sodio (NaOH) al 40% (100 mL) e indicador mixto de proteínas, de acuerdo con el procedimiento empleado.

Posteriormente, los matraces se colocaron en el equipo de destilación, donde el amoníaco liberado fue arrastrado y recolectado durante el proceso.



Figura 7. Equipo de destilación utilizado en la determinación de proteínas por el método Kjeldahl.
(Belmontes 2026).

Durante la destilación, el destilado presentó un cambio progresivo de coloración hasta tonos amarillos. La destilación se mantuvo hasta obtener aproximadamente 250 mL.

Finalmente, el destilado se tituló con ácido sulfúrico 0.094 N hasta alcanzar el punto final, evidenciado por una coloración amarilla estable.

El contenido de proteína se estimó a partir del nitrógeno total determinado mediante la titulación, utilizando un factor de conversión de 6.25

5.6.4 Determinación de aminoácidos libres

La determinación de aminoácidos libres se realizó mediante el método colorimétrico con ninhidrina utilizando glicina como estándar para la curva de calibración (Yemm et al., 1955).

Para la elaboración de la curva de calibración se prepararon tubos de ensayo con diferentes concentraciones de glicina, desde 20 hasta 200 $\mu\text{g/mL}$. A cada tubo se le adicionó 1 mL de solución de ninhidrina al 2 % y 1 mL de buffer citrato pH 5.5.

Por otra parte, las muestras de amaranto en grano y bebida fermentada fueron previamente centrifugadas con la finalidad de obtener una fase más clara para el análisis. Posteriormente, en tubos de ensayo independientes se colocó 1 mL de muestra, 1 mL de solución de ninhidrina al 2 % y 1 mL de buffer citrato pH 5.5.

Tanto los tubos correspondientes a la curva de calibración como los destinados al análisis de las muestras se incubaron en baño María a 100 °C durante 15 minutos para favorecer el desarrollo de la reacción colorimétrica. Transcurrido este tiempo, los tubos se enfriaron durante 5 minutos y posteriormente se adicionaron 5 mL de agua destilada. Finalmente, se homogeneizaron y se determinó su absorbancia a 570 nm mediante espectrofotometría.

La concentración de aminoácidos libres se calculó a partir de la ecuación obtenida de la curva de calibración de glicina ($y = 0.0005x - 0.0195$; $R^2 = 0.9016$). Para ello, se despejó la variable correspondiente a la concentración, obteniéndose la ecuación $x = (y + 0.0195)/0.0005$, donde y corresponde a la absorbancia medida y x a la concentración de aminoácidos libres expresada en $\mu\text{g/mL}$.

5.7. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos fueron procesados mediante estadística descriptiva. Para cada variable evaluada (°Brix, acidez titulable, proteína, grasa y cenizas) se calcularon la media aritmética y la desviación estándar a partir de tres repeticiones experimentales.

Los cálculos se realizaron empleando Microsoft Excel. Los resultados se expresan como media $\pm$ desviación estándar, con el fin de describir la variabilidad de los datos obtenidos.

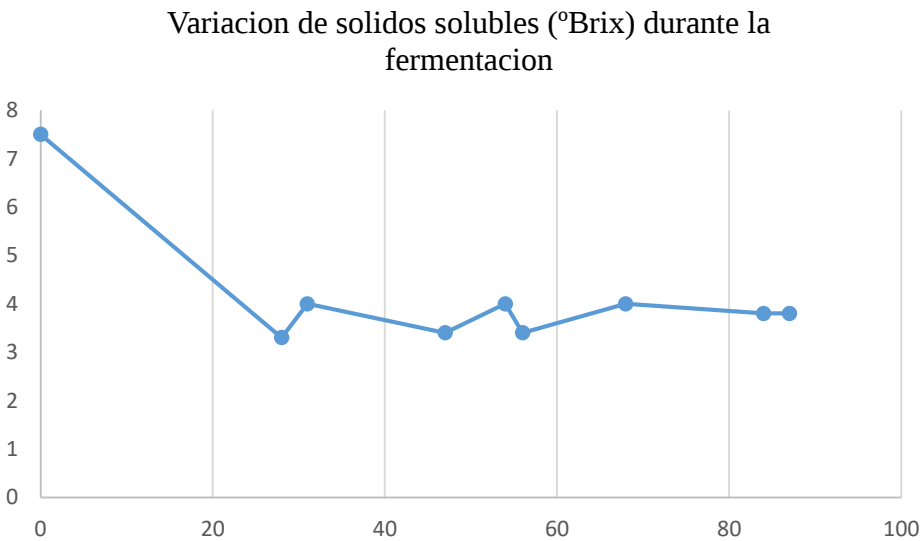
6. RESULTADOS

6.1 Sólidos solubles (°Brix)

Tabla 1. Variación de sólidos solubles (°Brix) durante la fermentación

Día	Fecha	°Brix
0	29/08/2025	7.5
28	26/09/2025	3.3
31	29/09/2025	4.0
47	15/10/2025	3.4
54	22/10/2025	4.0
56	24/10/2025	3.4
68	05/11/2025	4.0
84	21/11/2025	3.8
87	24/11/2025	3.8

Figura 8. Variación de sólidos solubles (°Brix) durante la fermentación



Los sólidos solubles (°Brix) presentaron una disminución general a lo largo del proceso de fermentación, pasando de un valor inicial de 7.5 a 3.8 °Brix al final del proceso. Durante el seguimiento se observaron ligeras variaciones intermedias; sin embargo, la tendencia global fue descendente.

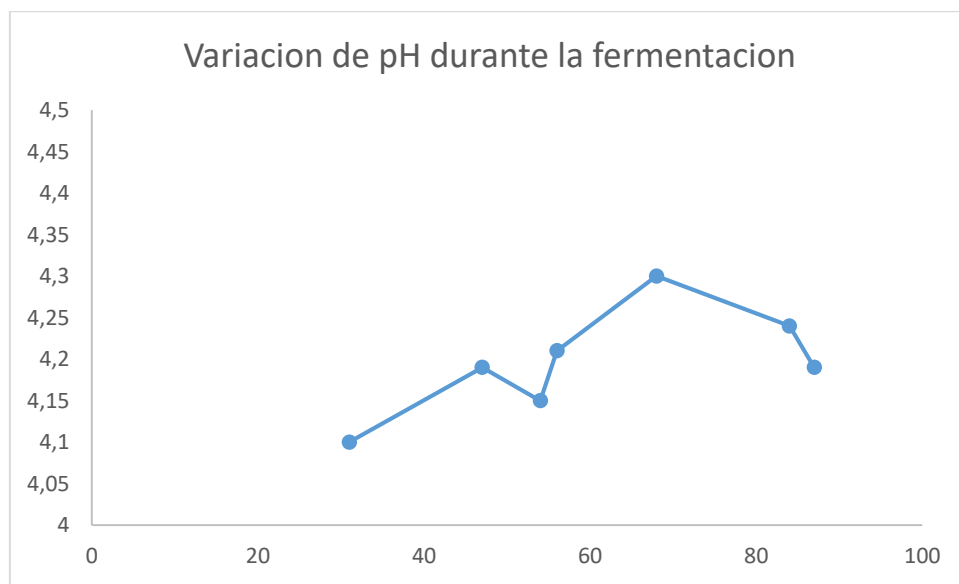
A partir de la diferencia entre los sólidos solubles iniciales y finales, se estimó un contenido de alcohol de 2.04 % v/v

6.2 pH

Tabla 2. Variación de pH durante la fermentación

Día	Fecha	Ph
31	29/09/2025	4.1
47	15/10/2025	4.19
54	22/10/2025	4.15
56	24/10/2025	4.21
68	05/11/2025	4.3
84	21/11/2025	4.24
87	24/11/2025	4.19

Figura 9. Variación de pH durante la fermentación

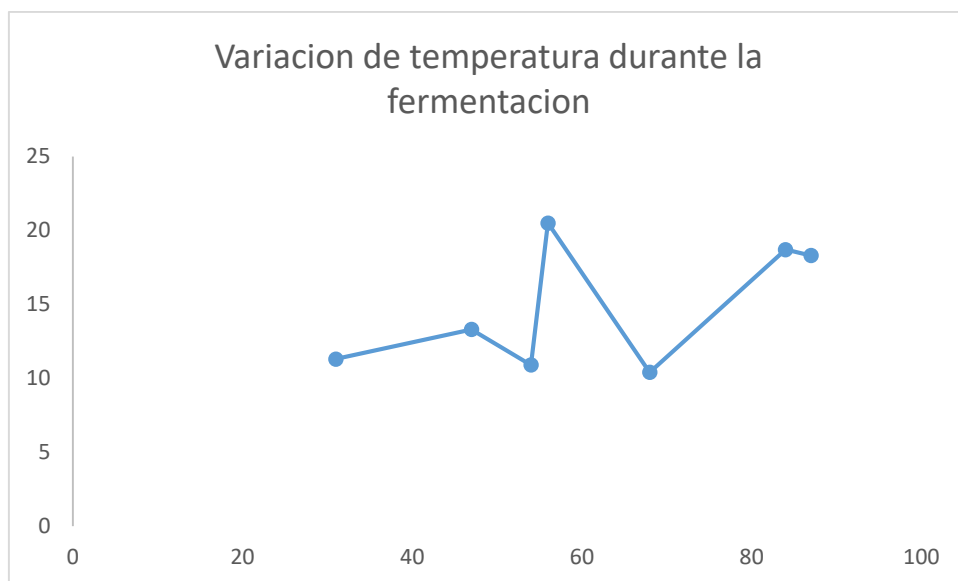


El pH presentó ligeras variaciones durante el proceso de fermentación, manteniéndose en un rango de 4.10 a 4.30. No se observó una tendencia clara de incremento o disminución, indicando estabilidad en las condiciones del medio.

Tabla 3. Variación de temperatura durante la fermentación

Día	Fecha	Temperatura
31	29/09/2025	11.3
47	15/10/2025	13.3
54	22/10/2025	10.9
56	24/10/2025	20.5
68	05/11/2025	10.4
84	21/11/2025	18.7
87	24/11/2025	18.3

Figura 10. Variación de temperatura durante la fermentación



La temperatura registrada durante la fermentación osciló entre 10.4 y 20.5 °C. Las variaciones observadas no corresponden a cambios propios del proceso, sino a las condiciones de medición, ya que en algunos momentos la muestra fue retirada de refrigeración y evaluada a temperatura ambiente.

Tabla 4. Acidez titulante de la bebida fermentada

Fecha	Acidez titulante (%)
21/10/2025	1.9
24/11/2025	2.2
Promedio	2.05

La acidez titulante presentó valores de 1.9 y 2.2, con un incremento hacia el final del proceso. El valor promedio obtenido fue de 2.005 %.

Tabla 5. Contenido de nitrógeno y proteína en amaranto en grano

Repetición	Nitrógeno (%)	Proteína (%)
R1	2.9347	18.3418
R2	2.9347	18.3418
R3	2.9341	18.3381
Promedio	2.9345	18.3405

Los resultados obtenidos para el amaranto en grano muestran un promedio de nitrógeno de 2.9345%, lo que corresponde a un contenido de proteína de 18.3405%. Las repeticiones presentaron valores muy similares entre sí, lo que indica buena consistencia en el análisis realizado.

Tabla 6. Contenido de nitrógeno y proteína en la bebida fermentada

Repetición	Nitrógeno (%)	Proteína (%)
R1	0.0224	0.1398
R2	0.0237	0.1481
R3	0.0474	0.2961
Promedio	0.0311	0.1947

El contenido de nitrógeno en la bebida fermentada presento un promedio de 0.0311% equivalente a un contenido de proteína de 0.1947%. A diferencia del amaranto en grano, se observó una mayor variación entre las repeticiones, lo cual puede atribuirse a la heterogeneidad de la muestra líquida.

Tabla 7. Contenido de grasa en muestras analizadas de amaranto en grano

Repetición	% de grasa
R1	5.1077
R2	5.3798
R3	4.82
Promedio	5.1025

El contenido de grasa en las diferentes muestras de amaranto en grano presentó un promedio de 5.1025% con una variación baja entre las repeticiones. Estos valores indican una composición relativamente uniforme en cuanto a lípidos en la muestra de amaranto en grano analizada.

Tabla 8. Contenido de cenizas y materia orgánica en amaranto en grano

	% de materia seca total	% de cenizas totales	% de materia orgánica
Muestra 1	28.1373	27.2091	0.9282
Muestra 2	23.9490	23.0282	0.9208
Muestra 3	18.5719	17.6536	0.9183
Muestra 4	27.1700	26.2482	0.9218
Muestra 5	30.8046	29.8825	0.9221
Muestra 6	29.3359	28.3631	0.9728

El contenido de cenizas, determinado a partir de amaranto en grano total y la materia orgánica mediante la relación establecida, presentó valores entre 17.6536 y 29.882%. Por su parte, la materia orgánica varió entre 0.9183 y 0.9728, mostrando variación entre las repeticiones analizadas.

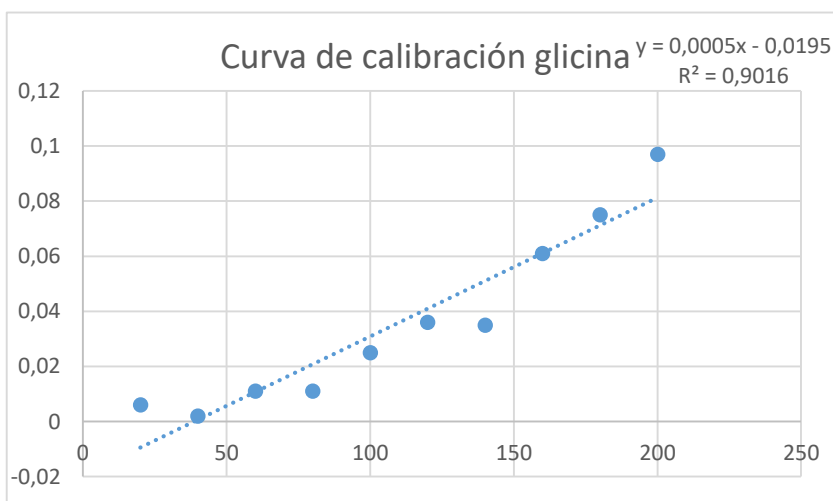
Tabla 9. Contenido de cenizas y materia orgánica en la bebida fermentada

	% de materia seca total	% de cenizas totales	% de materia orgánica
Muestra 1	28.9285	28.6915	0.2370
Muestra 2	27.0456	26.7957	0.2499
Muestra 3	29.1145	28.8613	0.2532
Muestra 4	26.4301	26.1643	0.2658
Muestra 5	27.0230	26.7556	0.2674
Muestra 6	14.8056	14.6707	0.1349

El contenido de cenizas de la bebida fermentada, determinado mediante la relación, establecida, presentó valores entre 14.6707 y 28.8613%. Por su parte la materia orgánica varió entre 0.1349 y 0.2532%, evidenciando diferencias entre las repeticiones realizadas.

6.3 Determinación de aminoácidos libres

Figura 11. Curva de calibración de glicina para la determinación de aminoácidos libres.



Se obtuvo una relación lineal entre la concentración de glicina y la absorbancia, descrita por la ecuación $y = 0.0005x - 0.0195$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9016. La ecuación obtenida se utilizó para el cálculo de la concentración de aminoácidos libres en las muestras analizadas.

Tabla 10. Concentración de aminoácidos libres en amaranto en grano (MS) y bebida líquida fermentada (BL).

Muestra	Absorbancia	Aminoácidos libres ($\mu\text{g/mL}$)
BL1	0,023	46,0195
BL2	0,028	56,0195
BL3	0,035	70,0195
BL4	0,029	58,0195
MS1	0,004	8,0195
MS2	0,006	12,0195
MS3	0,005	10,0195
MS4	0,019	38,0195

Los resultados obtenidos mostraron diferencias en la concentración de aminoácidos libres entre las muestras analizadas. La bebida líquida fermentada (BL) presentó valores superiores a los observados en el amaranto en grano (MS), siendo BL3 la muestra con la mayor concentración de aminoácidos libres.

7. DISCUSION

7.1 Sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) y contenido de alcohol

Durante el proceso de fermentación se observó una disminución general de los sólidos solubles, pasando de 7.5 a 3.8 $^{\circ}\text{Brix}$, lo cual indica el consumo progresivo de azúcares fermentables por parte de los microorganismos presentes en el sistema. Estos compuestos son utilizados como fuente de energía y transformados principalmente en

etanol, dióxido de carbono y otros metabolitos, lo que explica la tendencia descendente observada a lo largo del proceso. Aunque se registraron algunas variaciones en los valores intermedios de °Brix, este comportamiento es común en fermentaciones donde no se mantienen condiciones completamente controladas, ya que factores como la adaptación microbiana, la disponibilidad de sustrato y la posible falta de homogeneidad de la muestra pueden generar fluctuaciones temporales en las mediciones.

El contenido de alcohol estimado fue de 2.04 % v/v, el cual debe considerarse como un valor aproximado, ya que fue calculado a partir de la diferencia de °Brix y no mediante una determinación directa de etanol. Aun así, este valor permite tener una referencia del avance del proceso fermentativo. En bebidas fermentadas a base de matrices vegetales, se ha reportado que la disminución de sólidos solubles se relaciona directamente con la utilización de azúcares por parte de los microorganismos, lo cual coincide con el comportamiento observado en este trabajo (García-Díaz *et al.*, 2025).

7.2 pH de la bebida durante la fermentación

Durante el proceso de fermentación, el pH de la bebida se mantuvo en un rango de 4.10 a 4.30, sin presentar una disminución marcada a lo largo del tiempo. Este comportamiento indica que, aunque existió actividad fermentativa evidenciada previamente por la reducción de los sólidos solubles, la producción de compuestos ácidos no fue suficientemente elevada como para generar un descenso significativo en el pH. En fermentaciones de bebidas, es común observar una acidificación progresiva del medio debido a la formación de ácidos orgánicos; sin embargo, la magnitud de este cambio depende en gran medida del tipo de sustrato, la microbiota involucrada y las condiciones del proceso.

En este caso, la relativa estabilidad del pH puede atribuirse a la naturaleza del amaranto, el cual presenta componentes con cierta capacidad amortiguadora, así como a una fermentación moderada en la que el metabolismo microbiano pudo estar más enfocado en la transformación de azúcares que en la producción de ácidos. Además, es importante considerar que durante el manejo experimental algunas

mediciones se realizaron fuera de condiciones completamente controladas de temperatura, lo que pudo influir ligeramente en los valores registrados.

Este tipo de comportamiento ha sido documentado en bebidas fermentadas de origen vegetal, donde no siempre se observa una caída pronunciada del pH, especialmente cuando las condiciones no favorecen una actividad acidificante intensa. De acuerdo con Kitessa *et al.* (2024), la evolución del pH durante la fermentación depende directamente de la producción de ácidos orgánicos y de la capacidad del sistema para amortiguar dichos cambios. Asimismo, García-Díaz *et al.* (2025) señalan que en bebidas fermentadas a partir de matrices vegetales el pH puede mantenerse relativamente estable aun cuando el proceso fermentativo está ocurriendo, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

7.3 Temperatura durante la fermentación

Durante el proceso de fermentación, la temperatura registrada se mantuvo entre 10.4 y 20.5 °C, presentando variaciones a lo largo del tiempo sin una tendencia definida. A diferencia de otros parámetros, estos cambios no reflejan directamente el comportamiento del proceso fermentativo, sino las condiciones bajo las cuales se realizaron las mediciones. En este caso, algunas determinaciones se llevaron a cabo después de retirar la muestra de refrigeración y permitir que alcanzara temperatura ambiente de manera intencional, con el objetivo de obtener lecturas en condiciones comparables.

Este aspecto es relevante, ya que la temperatura influye directamente en la actividad microbiana y en la velocidad de fermentación. Sin embargo, en este trabajo no se mantuvo un sistema con control térmico constante durante todo el proceso, por lo que los valores obtenidos deben interpretarse como parte del manejo experimental más que como una variable estrictamente controlada. Aun así, el rango registrado se encuentra dentro de condiciones en las que puede existir actividad microbiana, aunque probablemente a una velocidad moderada en los periodos de menor temperatura.

Diversos estudios han señalado que la temperatura afecta la cinética de fermentación, influyendo en el crecimiento microbiano y en la producción de metabolitos. De acuerdo

con Marco *et al.* (2021), las variaciones en temperatura pueden modificar la velocidad de transformación de los sustratos y, en consecuencia, el desarrollo del proceso fermentativo. En este sentido, las condiciones observadas en este trabajo ayudan a explicar el comportamiento moderado previamente descrito en la fermentación.

7.4 Acidez titulable

La acidez titulable de la bebida fermentada presentó valores de 1.9 y 2.2 %, con un promedio de 2.05 %, lo que indica un incremento moderado hacia el final del proceso. Este comportamiento es consistente con lo esperado en fermentaciones, ya que durante este proceso los microorganismos transforman los azúcares presentes en la materia prima en ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico y otros compuestos ácidos, lo que se refleja directamente en el aumento de la acidez titulable (Kitessa *et al.*, 2024).

La acidez titulable no solo representa la concentración de ácidos presentes, sino que también es un indicador importante de la actividad metabólica microbiana durante la fermentación. A diferencia del pH, que mide la concentración de protones libres en solución, la acidez titulable refleja la cantidad total de ácidos capaces de reaccionar con una base, por lo que resulta más representativa del grado real de acidificación del sistema (Nielsen, 2023).

Los valores obtenidos en este estudio son relativamente elevados en comparación con otras bebidas fermentadas a base de amaranto o matrices similares, donde se han reportado acideces titulables menores, dependiendo del tipo de sustrato y las condiciones de fermentación. Esta diferencia puede atribuirse a factores como la concentración inicial de azúcares, la actividad de la levadura y el tiempo de fermentación, que en este caso permitió una mayor conversión de azúcares en compuestos ácidos (Canaviri, 2025).

Además, el incremento observado en la acidez puede relacionarse con la producción continua de metabolitos durante la fermentación, lo cual contribuye no solo a la conservación del producto, sino también a sus características sensoriales. En bebidas fermentadas, una mayor acidez suele asociarse con mayor estabilidad microbiológica,

ya que el ambiente ácido limita el crecimiento de microorganismos no deseados (Carrasquero-Ferrer, 2024).

En conjunto, los resultados obtenidos indican que el proceso de fermentación fue efectivo en la generación de compuestos ácidos, reflejando una actividad metabólica adecuada de los microorganismos presentes. Sin embargo, el nivel de acidez alcanzado sugiere que es importante controlar variables como el tiempo de fermentación y la concentración de sustrato, ya que incrementos excesivos podrían afectar la aceptabilidad del producto final.

7.5 Contenido de proteína en amaranto en grano

El contenido de proteína determinado en el amaranto en grano presentó un valor promedio de 18.3405 %, con un contenido de nitrógeno de 2.9345 %. Las repeticiones mostraron valores muy similares entre sí, lo que indica buena precisión y consistencia en el análisis realizado.

El valor obtenido se encuentra dentro de los rangos reportados para el amaranto, el cual suele presentar contenidos de proteína entre 14 y 18 %, dependiendo de factores como la variedad, condiciones de cultivo y procesamiento del grano. En este sentido, el resultado obtenido puede considerarse adecuado y representativo de una materia prima con buen valor nutricional (Santos *et al.*, 2022).

El amaranto es reconocido por su alto contenido proteico en comparación con otros cereales, así como por su perfil de aminoácidos más balanceado, especialmente por su contenido de lisina, lo que lo convierte en una fuente de proteína de buena calidad. Estas características lo hacen particularmente atractivo en el desarrollo de productos fermentados con valor agregado desde el punto de vista nutricional (Sarker & Oba, 2023).

Asimismo, la baja variabilidad observada entre repeticiones indica una buena consistencia en los resultados obtenidos, lo que aporta confiabilidad a la determinación del contenido de proteína en la materia prima.

En conjunto, los resultados indican que la materia prima utilizada conserva un contenido proteico significativo, lo que representa una base favorable para la

elaboración de la bebida fermentada, contribuyendo a sus características nutricionales finales.

7.6 Contenido de proteína en la bebida fermentada

El contenido de proteína en la bebida fermentada presentó un valor promedio de 0.1947 %, con un contenido de nitrógeno de 0.0311 %. A diferencia del amaranto en grano, se observó una disminución considerable en la concentración de proteína, lo cual era esperable debido al proceso de dilución inherente a la elaboración de la bebida.

Durante la preparación, el amaranto fue sometido a una extracción en fase líquida, lo que provoca que únicamente una fracción de las proteínas presentes en la materia prima se transfiera al producto final. Además, no todas las proteínas son completamente solubles en agua, por lo que una parte importante permanece en el residuo sólido, contribuyendo a que el contenido proteico de la bebida sea significativamente menor en comparación con el amaranto en grano (Sarker & Oba, 2023).

Por otro lado, durante la fermentación pueden ocurrir procesos de degradación parcial de proteínas por acción enzimática de los microorganismos, lo que da lugar a péptidos y aminoácidos libres. Aunque esto puede mejorar la biodisponibilidad de los compuestos nitrogenados, no necesariamente se traduce en un aumento del contenido total de proteína medido por métodos como Kjeldahl, ya que estos procesos implican transformaciones más que incrementos netos en la cantidad total de nitrógeno (Adebo, 2023).

Asimismo, se observó cierta variabilidad entre las repeticiones analizadas, comportamiento que puede presentarse en matrices líquidas fermentadas debido a diferencias en la distribución de sólidos y compuestos presentes en la muestra (Santos *et al.*, 2022).

En conjunto, los resultados obtenidos reflejan una reducción esperada del contenido proteico en la bebida fermentada en comparación con el amaranto en grano, lo cual está directamente relacionado con la dilución, la solubilidad de las proteínas y las

transformaciones bioquímicas propias del proceso de fermentación. A pesar de ello, la presencia de compuestos nitrogenados en la bebida sigue siendo relevante desde el punto de vista nutricional, particularmente por la presencia de aminoácidos libres y péptidos generados durante la fermentación.

7.7 Contenido de grasa en amaranto en grano

El contenido de grasa en el amaranto en grano presentó un valor promedio de 5.1025 %, con una variación baja entre las repeticiones (5.1077, 5.3798 y 4.82 %), lo que indica buena consistencia en el análisis realizado. Esta baja dispersión sugiere que el método de extracción fue adecuado y que la muestra presentó una composición relativamente homogénea en su fracción lipídica.

El valor obtenido se encuentra dentro de los rangos reportados para el amaranto, donde el contenido de grasa suele ubicarse alrededor de 5–9 %, dependiendo de la variedad y de las condiciones de cultivo y procesamiento. Por lo tanto, el resultado puede considerarse representativo de una materia prima con contenido lipídico típico (Santos et al., 2022).

Los lípidos del amaranto están compuestos principalmente por ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico y oleico, los cuales tienen relevancia desde el punto de vista nutricional. Esta composición no solo aporta valor energético, sino que también puede influir en la estabilidad y características funcionales del producto (Tang et al., 2022).

Por otra parte, es importante considerar que la determinación de grasa mediante extracción Soxhlet puede verse influenciada por la eficiencia del solvente y por la posible coextracción de compuestos no lipídicos. Sin embargo, la baja variabilidad observada entre repeticiones indica que estos factores no afectaron de manera significativa los resultados obtenidos, lo que refuerza la confiabilidad del análisis realizado (Nielsen, 2023).

En conjunto, los resultados indican que el amaranto en grano utilizada presenta un contenido de grasa acorde a lo reportado en la literatura, lo que confirma la calidad de la materia prima empleada y su aporte al valor nutricional de la bebida fermentada

7.8 Contenido de cenizas y materia orgánica en amaranto en grano

El contenido de cenizas en el amaranto en grano presentó valores entre 17.6536 y 29.8825 %, evidenciando variación entre las muestras analizadas. En contraste, la materia orgánica se mantuvo en un rango más estrecho (0.9183 a 0.9728), lo que sugiere mayor estabilidad en esta fracción.

Las cenizas corresponden a la fracción mineral del material, por lo que su variación puede asociarse tanto a la distribución natural de minerales en matrices vegetales como a las condiciones de procesamiento y análisis. En el caso del amaranto, diversos estudios reportan contenidos de cenizas considerablemente menores, generalmente entre 2 y 4 % en base seca (Bressani, 2011; Santos *et al.*, 2022). Sin embargo, en este trabajo se observa una proporción más elevada, lo cual puede entenderse considerando que el cálculo se realizó de manera indirecta a partir de la diferencia entre amaranto en grano total y materia orgánica, lo que tiende a amplificar pequeñas variaciones en los datos experimentales.

Por otra parte, la materia orgánica mostró un comportamiento más uniforme entre las muestras, lo cual es consistente con la naturaleza de los compuestos que la integran, principalmente carbohidratos, proteínas y otros componentes estructurales relativamente estables. Esta diferencia en la variabilidad entre ambas fracciones permite una interpretación más completa de los resultados, donde la fracción mineral refleja mayor sensibilidad a cambios en la muestra, mientras que la fracción orgánica mantiene una tendencia más constante.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten caracterizar la composición del amaranto en grano desde una perspectiva integral, destacando no solo los valores absolutos, sino también el comportamiento diferencial de sus componentes. Este análisis aporta información relevante para entender la distribución de la fracción mineral y orgánica en el sistema evaluado, lo cual es clave en estudios de composición proximal en matrices vegetales.

7.9 Contenido de cenizas y materia orgánica en la bebida fermentada

El contenido de cenizas en la bebida fermentada presentó valores entre 14.6707 y 28.8613 %, mostrando variación entre las muestras analizadas. Por su parte, la materia orgánica osciló entre 0.1349 y 0.2674, evidenciando también diferencias entre repeticiones, aunque en un rango relativamente bajo.

Las cenizas representan la fracción mineral presente en la muestra, por lo que su comportamiento en sistemas líquidos fermentados puede verse influenciado tanto por la concentración de sólidos como por la distribución no homogénea de los compuestos disueltos. En bebidas fermentadas, se ha reportado que la fracción mineral puede variar dependiendo del sustrato inicial, la liberación de compuestos durante el proceso y la posible sedimentación de partículas (Nielsen, 2023).

En este caso, la variabilidad observada puede asociarse a la naturaleza heterogénea de la bebida, donde pequeñas diferencias en la toma de muestra influyen directamente en la proporción de sólidos y, por lo tanto, en el contenido de cenizas determinado. Esto es particularmente relevante en matrices líquidas que no han sido completamente homogenizadas, donde la distribución de sólidos suspendidos no es uniforme.

Por otro lado, la materia orgánica presentó valores bajos en comparación con el amaranto en grano total, lo cual es consistente con un sistema donde la mayor parte de los sólidos corresponde a compuestos previamente transformados durante la fermentación. Durante este proceso, los microorganismos consumen compuestos orgánicos, modificando su concentración y contribuyendo a la generación de productos finales como alcoholes y ácidos orgánicos (Abedo, 2023).

En conjunto, los resultados reflejan el comportamiento esperado en una bebida fermentada, donde tanto la fracción mineral como la orgánica están sujetas a variaciones derivadas del proceso y de la naturaleza del sistema, permitiendo caracterizar de manera integral la composición final del producto.

7.10 Contenido de aminoácidos libres en amaranto en grano y bebida fermentada

Los resultados obtenidos mostraron una mayor concentración de aminoácidos libres en la bebida fermentada en comparación con el amaranto en grano. Este

comportamiento puede estar asociado a los cambios que ocurren durante la fermentación, ya que los microorganismos son capaces de transformar compuestos nitrogenados complejos en moléculas de menor tamaño, tales como péptidos y aminoácidos libres. Cruz-Casas *et al.* (2023) reportaron que durante la fermentación de matrices a base de amaranto se produce la liberación de hidrolizados proteicos y compuestos derivados de la degradación de proteínas, lo que incrementa la disponibilidad de fracciones nitrogenadas de menor peso molecular.

De manera paralela, en el análisis proximal realizado en el presente trabajo se observó una disminución en el contenido de proteína de la bebida fermentada con respecto a el amaranto en grano. Ambos resultados podrían estar relacionados, ya que una parte de las proteínas presentes en la materia prima puede ser transformada durante el proceso fermentativo en compuestos más simples, contribuyendo al incremento de aminoácidos libres observado en las muestras de bebida fermentada. De forma similar, Orona-Tamayo *et al.* (2022) reportaron cambios en la fracción proteica y la generación de compuestos bioactivos en bebidas fermentadas elaboradas a partir de amaranto, atribuidos a la actividad metabólica de los microorganismos durante la fermentación.

En conjunto, los resultados sugieren que el proceso fermentativo favoreció la generación de aminoácidos libres, lo que explica las mayores concentraciones registradas en la bebida fermentada respecto a el amaranto en grano. Asimismo, la disminución del contenido de proteína observada en la bebida podría estar relacionada con la transformación parcial de estas macromoléculas en compuestos nitrogenados de menor tamaño durante la fermentación.

8. CONCLUSIONES

En este trabajo se logró obtener una bebida alcohólica fermentada a partir de amaranto mediante un proceso de hidrólisis térmica en el que se utilizó jengibre como fuente natural de enzimas, seguido de fermentación con levadura, lo que confirma que este pseudocereal puede emplearse como materia prima para el desarrollo de este tipo de productos.

A lo largo del proceso se observó una disminución de los sólidos solubles de 7.5 a 3.8 °Brix, lo cual refleja el consumo de azúcares fermentables por parte de los microorganismos. A partir de este cambio se estimó un contenido de alcohol de 2.04 % v/v, indicando que la fermentación se llevó a cabo de manera efectiva.

El pH se mantuvo dentro de un rango de 4.10 a 4.30, sin cambios bruscos durante el proceso, mientras que la acidez titulable aumentó hasta un promedio de 2.05 %. En conjunto, estos parámetros indican que el sistema presentó condiciones adecuadas para el desarrollo de la fermentación.

En cuanto a la composición proximal, el amaranto en grano presentó un contenido de proteína de 18.34 % y de grasa de 5.10 %, valores que coinciden con lo reportado para el amaranto. En la bebida final se observó una disminución en la concentración de proteína, mientras que la concentración de aminoácidos libres fue mayor que en el amaranto en grano. Estos resultados sugieren que durante la fermentación ocurrieron cambios en la composición proteica del sistema.

Por otra parte, el contenido de cenizas mostró variación entre las muestras tanto en amaranto en grano como en la bebida fermentada, lo cual puede atribuirse a la distribución de la fracción mineral en cada matriz analizada.

En general, los resultados obtenidos permiten concluir que el amaranto es una alternativa viable para la elaboración de bebidas fermentadas y que el uso de jengibre como fuente natural de enzimas favoreció el proceso de hidrólisis previo a la fermentación. Esto permitió obtener un producto con características fisicoquímicas definidas y evidenció cambios en su composición durante la fermentación, mostrando potencial para su aprovechamiento en el desarrollo de alimentos con valor agregado.

9. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios adicionales que permitan optimizar las condiciones de fermentación, con la finalidad de incrementar el rendimiento alcohólico y evaluar su efecto sobre las características fisicoquímicas del producto.

2. Evaluar diferentes concentraciones de amaranto y otros ingredientes utilizados en la formulación para determinar su influencia en la composición nutricional y sensorial de la bebida.
3. Complementar el análisis de la bebida mediante la determinación de otros compuestos de interés, con el fin de obtener una caracterización más completa del producto final.
4. Realizar análisis microbiológicos y pruebas de aceptación sensorial que permitan evaluar la inocuidad y aceptación del producto por parte de los consumidores.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adebo, O. A. (2023). African fermented foods: Overview, emerging trends, and health implications. *Food Research International*, 162, 112126. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112126>
2. Aderibigbe, O. R., Ezekiel, O. O., Aworh, O. C., & Olagunju, A. I. (2022). Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus spp.*) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(24), 6660–6675. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1825323>
3. Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2020). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.014>
4. Amare, E., Mouquet-Rivier, C., Servent, A., Morel, G., Adish, A., & Haki, G. D. (2021). Protein quality of amaranth grain and its potential to improve the nutritional value of cereal-based foods. *Foods*, 10(5), 1000. <https://doi.org/10.3390/foods10051000>
5. Ayustaningwarno, F., Anjani, G., Fitranti, D. Y., Dieny, F. F., Tsani, A. F. A., Nissa, C., & Rahadiyanti, A. (2024). A critical review of ginger's (*Zingiber officinale*) antioxidant and immunomodulatory properties. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1364836. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1364836>

6. Bressani, R. (2011). Amaranth: The grain of the future. *Food Reviews International*, 27(1), 1–12.
7. Canaviri, R. C. S. (2025). Evaluación fisicoquímica de bebidas fermentadas con amaranto. Zamorano.
8. Carrasquero-Ferrer, S. (2024). Medición del grado de acidez en vinagre comercial como estrategia para fortalecer competencias científicas. *Revista Conrado*.
9. Cruz-Casas, D. E., Aguilar-González, M. A., Ramírez-Telles, J. A., Chávez-Servia, J. L., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2023). Bioactive protein hydrolysates obtained from amaranth by fermentation with lactic acid bacteria and *Bacillus* species. *Food Science & Nutrition*, 11(3), 1160–1173. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3201>
10. Gamel, T. H., & Mesallam, A. S. (2020). Effect of germination on the nutritional, functional, and antioxidant properties of amaranth grain. *Food Chemistry*, 319, 126553. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126553>
11. García-Díaz, M., Hernández-Martínez, C., Sánchez-Madrigal, M. Á., Morales-Castro, J., & González-Ávila, M. (2025). Development of a high protein and fiber beverage based on amaranth flour, rice bran, and whey through solid-state and submerged fermentation. *CyTA - Journal of Food*, 23(1), e2599595. <https://doi.org/10.1080/19476337.2025.2599595>
12. Hashim, M. M., Mingsheng, D., Iqbal, M. F., & Xiaohong, C. (2021). Ginger rhizome as a potential source of milk coagulating cysteine protease. *Phytochemistry*, 181, 112610. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112610>
13. Jan, N., Hussain, S. Z., Naseer, B., Bhat, T. A., & Fida, M. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry: X*, 18, 100687. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100687>
14. Kitessa, S. M., Abebe, H., & Tola, Y. B. (2024). Fermentation dynamics and physicochemical changes in plant-based fermented beverages: A review. *Annals of Microbiology*, 74, 45. <https://doi.org/10.1186/s13213-024-01763-w>
15. Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., De Vuyst, L., & Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics

- (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(3), 196–208. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5>
16. Nafi, N., Hamzah, Y., & Rahman, N. A. (2022). Plant proteases and their applications in food processing: A review. *Food Reviews International*, 38(8), 1453–1474.
 17. Nielsen, S. S. (2023). *Food analysis* (6th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94328-0>
 18. Orona-Tamayo, D., Valverde, M. E., Paredes-López, O., & Bello-Pérez, L. A. (2022). Scavenging peptides, antioxidant activity, and hypoglycemic activity of a germinated amaranth beverage fermented by *Lactiplantibacillus plantarum*. *Journal of Food Biochemistry*, 46(5), e14139. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14139>
 19. Santos, M. C. B., *et al.* (2022). Nutritional and functional properties of amaranth grain: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103, 104197. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104197>
 20. Sarker, U., & Oba, S. (2023). Nutrients, minerals, and bioactive compounds in *Amaranthus*. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1136820. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1136820>
 21. Sarker, U., Oba, S., & Daramy, M. A. (2022). Nutritional and antioxidant properties of *Amaranthus* species: A review. *Plants*, 11(7), 1036. <https://doi.org/10.3390/plants11071036>
 22. Styawan, A. A., Susidarti, R. A., Purwanto, Windarsih, A., Rahmawati, N., Sholikhah, I. K. M., & Rohman, A. (2022). Review on ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Phytochemical composition, biological activities and authentication analysis. *Food Research*, 6(4), 35–47.
 23. Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2022). Characterization of phenolics, amino acids, and lipids in amaranth grain. *Food Chemistry*, 367, 130659. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130659>
 24. Yemm, E. W., Cocking, E. C., & Ricketts, R. E. (1955). The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*, 80(948), 209–214. <https://doi.org/10.1039/AN9558000209>