

Fermentación de leguminosas con probióticos y su efecto sobre fenoles totales, taninos y análisis sensorial

Nirza de la Cruz Noguera-Machado¹ , Franklin Jesús Pacheco-Coello² ,
Luis Edgardo Ojeda-Ojeda³ .

Resumen: Introducción: Las leguminosas han sido catalogadas como alimentos funcionales, debido a la combinación de proteínas, fibra y compuestos fitoquímicos que le confieren propiedades nutraceuticas. Sin embargo, la presencia de algunos compuestos anti nutricionales puede interferir en los procesos de absorción de nutrientes. Dichos compuestos pueden reducirse significativamente mediante procesos como la cocción y la fermentación. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fermentación con probióticos sobre el contenido de fenoles y taninos, así como en las propiedades organolépticas, de caraotas (*Phaseolus vurlagris*), frijoles (*Vigna unguiculata*) y lentejas (*Lens culinaris*). **Materiales y Métodos:** Se desarrolló una investigación de tipo experimental. Las leguminosas fueron fermentadas durante 24 horas con diferentes probióticos (*Bacillus clausii*, *Lactobacillus acidophilus/rhamnosus*, *Saccharomyces cerevisiae*), utilizando inóculos acuosos y enriquecidos. **Resultados:** Se demostró que la fermentación, especialmente con inóculos enriquecidos, aumentó el contenido de fenoles totales en más de un 40 % y redujo el de los taninos en todas las leguminosas. Sin embargo, se evidenció un efecto negativo en las características sensoriales de caraotas y lentejas, por la baja aceptación a nivel de los consumidores. En contraste, los frijoles fermentados con *S. cerevisiae* mantuvieron una aceptación similar a la muestra control. Para concluir, la fermentación de leguminosas con probióticos es prometedora para mejorar y aumentar compuestos beneficiosos. No obstante, es crucial considerar los cambios en las propiedades sensoriales para asegurar la aceptabilidad del consumidor. *An Venez Nutr 2025; 38(1): 2-10.*

Palabras clave: Fabaceae, probióticos, fenoles totales, taninos, análisis sensorial.

Legume fermentation with probiotics and its effect on total phenols, tannins, and sensory analysis.

Abstract: Introduction: Legumes have been classified as functional foods due to their combination of proteins, fiber, and phytochemical compounds, which provide nutraceutical properties. However, the presence of certain anti-nutritional compounds can interfere with nutrient absorption processes. These compounds can be significantly reduced through processes like cooking and fermentation. The objective of the present research was to evaluate the effect of probiotic fermentation on the content of phenols and tannins, as well as on the organoleptic properties of black beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*), and lentils (*Lens culinaris*). **Materials and Methods:** An experimental investigation was conducted. The legumes were fermented for 24 hours with different probiotics (*Bacillus clausii*, *Lactobacillus acidophilus/rhamnosus*, *Saccharomyces cerevisiae*), using both aqueous and enriched inocula. **Results:** It was demonstrated that fermentation, especially with enriched inocula, increased the total phenol content by more than 40% and reduced tannin content in all legumes. However, a negative effect on the sensory characteristics of black beans and lentils was observed due to low consumer acceptance. In contrast, cowpeas fermented with *S. cerevisiae* maintained similar acceptance to the control sample. In conclusion, the fermentation of legumes with probiotics is promising for increasing beneficial compounds. Nevertheless, it is crucial to consider changes in sensory properties to ensure consumer acceptability. *An Venez Nutr 2025; 38(1): 2-10.*

Keywords: Fabaceae, probiotics, total phenols, tannins, sensory analysis

Introducción

En la actualidad, la comunidad científica en general reconoce la importancia del consumo diario de frutas, leguminosas y hortalizas, así como de alimentos fermentados, por los múltiples beneficios que aportan para la salud (1,2). Específicamente, las leguminosas son consideradas por la Organización de las Naciones

¹Profesora Titular de la Escuela de Bioanálisis "Omaira Figueroa" de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Carabobo (UC). Adscrita al Instituto de Investigaciones Biomédicas "Dr. Francisco Triana Alonso" UC. ²Profesor Agregado de la Escuela de Bioanálisis "Omaira Figueroa" de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Carabobo (UC). Adscrito al Laboratorio de Metales Pesados y al Instituto de Investigaciones Biomédicas "Dr. Francisco Triana Alonso", ambos de la UC. ³Profesor Titular de la Escuela de Medicina "Witremundo Torrealba" de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Carabobo (UC). Adscrito al Instituto de Investigaciones Biomédicas "Dr. Francisco Triana Alonso" UC. Correspondencia: Nirza de la Cruz Noguera Machado, nnoquera1@uc.edu.ve.

Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como parte fundamental del desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria, debido a su valor nutritivo y los beneficios medioambientales que proporcionan a nivel de los sistemas de producción agrícola (3).

Estas plantas pertenecientes a la familia Fabaceae, están constituidas por más de 20.000 especies, de las cuales aproximadamente 150 son de interés para la alimentación humana y animal. Entre las más empleadas para el consumo humano destacan: las caraotas (*Phaseolus vulgaris*), las habas (*Vicia faba*), los garbanzos (*Cicer arietinum*), las arvejas (*Pisum sativum*), el frijol mungo (*Vigna radiata*), el frijol de carete y frijol bayo (*Vigna unguiculata*), la soya (*Glycine max*), y las lentejas (*Lens culinaris*), entre otros (3-5).

Las leguminosas también han sido catalogadas como alimentos funcionales, debido a la combinación distintiva de proteína vegetal, fibra dietética y compuestos fitoquímicos, que les proporciona propiedades tanto funcionales como bioactivas, con potencial antiinflamatorio, antioxidante, anticancerígeno, antidiabético y antihipertensivo (5-9). Entre los compuestos bioactivos más relevantes destacan péptidos, polisacáridos y los compuestos fenólicos, como las catequinas, el kaempferol y los flavonoides (8).

No obstante, las leguminosas también poseen compuestos denominados anti nutricionales, tales como los taninos, inhibidores de proteasas, entre otros. Dichos compuestos tienen la capacidad de interferir con los procesos de absorción de proteínas y carbohidratos en el organismo, debido a la formación de complejos insolubles, ocasionar irritabilidad de la mucosa intestinal y una reducción de la tasa de biodisponibilidad de minerales (10-12).

Específicamente, los taninos son un grupo heterogéneo de compuestos polifenólicos hidrosolubles de alto peso molecular, que les confieren el sabor astringente a las leguminosas, y están presentes otros alimentos de origen vegetal, como el café, el vino y chocolate, entre otros. Y según su estructura y reactividad se clasifican en taninos hidrolizables y condensados (12,13).

La principal propiedad química de los taninos es su capacidad de formar complejos con las proteínas y, en menor extensión, con polisacáridos, iones metálicos, aminoácidos, ácidos nucleicos, entre otros (13).

La toxicidad por taninos ingeridos por vía oral es relativamente baja y aunque algunos reportes han asociado su consumo excesivo con la incidencia de algunos tipos de cáncer, esto no ha sido demostrado.

Tampoco se ha establecido una cantidad mínima necesaria para ocasionar trastornos fisiológicos. Al contrario, existe nueva evidencia científica de que el consumo de taninos puede traer beneficios para la salud (12,13).

Por otra parte, muchos de estos factores anti nutricionales presentes en las leguminosas pueden ser eliminados a través de procesos tradicionales de cocción (hervir o asar), así como a través de procesos húmedos previos como el remojo en agua y la fermentación (11,13).

La fermentación es un proceso útil, no sólo como técnica ancestral para la conservación de alimentos, sino también para mejorar el valor nutritivo de muchos alimentos, obtener nuevos sabores, aromas y texturas, y complacer diferentes gustos gastronómicos (2,14). Las leguminosas son consideradas una excelente matriz prebiótica, pues son una fuente natural de oligosacáridos, almidón resistente, polifenoles e isoflavonas, las cuales pueden ser utilizadas por los microorganismos para su crecimiento (2,15). Durante este proceso se modifica tanto el perfil nutricional del alimento, como sus propiedades sensoriales y reológicas (2).

Diferentes tipos de microorganismos han sido empleados en la fermentación de varios tipos de leguminosas, entre los que destacan bacterias ácido-lácticas del género *Lactobacillus*, levaduras del género *Candida* y *Saccharomyces*, y hongos de los géneros *Pleurotus*, *Rhizopus*, *Aspergillus*. Con resultados positivos por el incremento del contenido proteico, de la fibra dietética y de compuestos bioactivos, así como por la reducción de compuestos anti nutricionales (16-18).

Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fermentación mediada por probióticos, sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y de taninos, presentes en tres especies de leguminosas de consumo frecuente en Venezuela.

Materiales y métodos:

Se desarrolló una investigación cuantitativa, tipo experimental, descriptiva, de corte transversal. Las unidades de experimentales estuvieron constituidas por las semillas de las leguminosas seleccionadas, a saber, caraotas negras (*P. vurlagris*), frijol bayo (*V. unguiculata*) y lentejas (*L. culinaris*). Las cuales fueron sometidas a procesos de fermentación con bacterias probióticas de origen comercial. Todo el procedimiento experimental se desarrolló en la sección de Biotecnología Agroalimentaria del Instituto de Investigaciones Biomédicas Dr. "Francisco Javier Triana Alonso",

ubicado en Maracay estado Aragua, entre junio de 2024 y febrero de 2025.

Muestras biológicas

Las semillas de leguminosas fueron adquiridas en los mercados locales de la parroquia Samán de Güere, municipio Santiago Mariño del estado Aragua, entre los meses de junio de 2024 y enero de 2025. Las especies seleccionadas se correspondieron a las más consumidas de acuerdo con encuesta realizada por Noguera y Ojeda (19) en su trabajo sobre las leguminosas en la dieta de la comunidad universitaria en Venezuela.

Los probióticos empleados correspondieron a marcas comerciales, constituidos por las siguientes especies: Probiótico (A) por *Bacillus clausii*, Probiótico (B) por la combinación de *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus rhammossus*, Probiótico (C) por *Saccharomyces cerevisiae*. Los mismos fueron adquiridos en una tienda dedicada a la venta de fármacos, alimentos y productos de salud, ubicada en la parroquia las Delicias del Municipio Girardot del estado Aragua.

Fermentación

Se realizó un proceso de fermentación sumergida de las semillas de las leguminosas, tomando como guía el procedimiento planteado por El-Moghazy *et al.* (20) con modificaciones. Para ello, se pesaron 100 g de las semillas de las leguminosas y fueron sometidas a hidratación durante 12 horas a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo, se procedió a realizar un lavado y someter a un proceso de cocción durante 10 min a 100 °C a fin de inactivar la microbiota nativa. Las leguminosas hidratadas y tratadas térmicamente, fueron trasvasadas a frascos con 225 ml de agua estéril, en los cuales se agregaron 25 mL de inóculo para una concentración final de 2×10^8 unidades formadoras de colonia (ufc) por mL.

Los inóculos de los probióticos se prepararon mezclando el contenido de los mismos con dos solventes distintos, agua y medio de cultivo, trabajando así con dos tipos de inóculos, uno acuoso y otro enriquecido. Los medios de cultivo utilizados fueron el MRS (Man, Rogosa y Sharpe) descrito por Coda *et al.* (21) para las cepas de *B. clausii*, *L. acidophilus*, *L. rhammossus*, y el medio YPD (extracto de levadura, peptona y dextrosa) para el caso de *S. cerevisiae*.

Los ensayos se diseñaron un probiótico a la vez, es decir, se prepararon los inóculos de un determinado probiótico, tanto acuoso como en enriquecido y se incorporaron a

cada tipo de leguminosa. Lo que representó un total de tres sistemas de fermentación por leguminosa, a saber: control, inóculo acuoso e inóculo enriquecido, con sus correspondientes duplicados. En total, se incubaron 18 sistemas de fermentación por probiótico.

La incubación de los sistemas con los probióticos A y B se realizó a 37 °C por 24 horas, sin agitación. Mientras que en el caso de los sistemas con el probiótico C la incubación se realizó a 30 °C, bajo agitación a 150 rpm por 24 horas.

Finalizado el tiempo de incubación, se procedió a filtrar, lavar y secar las semillas a 60 °C por 12 horas, a fin de someterlas a las determinaciones de fenoles totales, taninos y análisis sensorial.

Determinación de fenoles y taninos

Para la determinación de estos compuestos en primera instancia se procedió a preparar un extracto acuoso a partir de las semillas fermentadas y las usadas de control. Para ello, se sometieron a un proceso de trituración y molienda mecánica, se tomaron 2,5 g y se suspendieron en 100 mL de agua destilada en un vaso precipitado. La mezcla fue sometida a calentamiento a 90 °C por 5 minutos, se dejó enfriar y se filtró a través de papel filtro Whatman No. 1. El extracto se almacenó en frascos ámbar en oscuridad hasta su uso para la cuantificación de los metabolitos de interés.

La cuantificación de fenoles totales se realizó por el método descrito por Jeszka-Skowron *et al.* (22), basado en cambios colorimétricos. Par ello, se realizó una curva de calibración con un estándar de Ácido Gálico (Sigma-Aldrich de Berlín Alemania), a concentraciones de 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 1000 ppm y las lecturas de absorbancia se realizaron a 510 nm. Luego de los extractos acuosos se tomó 1 mL y se le adicionó 4 mL de reactivo de Folin y se procedió a realizar la lectura de absorbancia. El equipo empleado fue un espectrofotómetro UV/VIS Génesis 20 (Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, USA) y las lecturas se realizaron a 510 nm. Los resultados fueron en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de material vegetal (mg EAG/100g MV).

Para la determinación de taninos se procedió de acuerdo con el protocolo descrito por Pacheco (23), basado en determinaciones colorimétricas. Igualmente se realizó una curva patrón a partir de una solución madre de ácido tánico a diferentes concentraciones. De las muestras se tomó 1 mL del extracto acuso, se agregaron 5 mL de agua destilada y la mezcla fue sometida a calentamiento hasta su ebullición por 2 minutos, se dejó reposar hasta

alcanzar la temperatura ambiente. Luego se añadió 1 mL de cloruro férrico al 0,1 % para realizar la lectura de absorbancia empleando el espectrofotómetro UV/VIS Génesis 20 (Thermo Scintific, Waltham, Massachusetts, USA) a 700 nm. Los resultados fueron expresados en mg de ácido tánico por cada 100 g de material vegetal (mg EAT/100g MV).

Pruebas de análisis sensorial

Se realizó una prueba de aceptabilidad orientada al consumidor, con un panel no entrenado de 30 personas cuyo criterio de inclusión fue ser mayor de edad, para determinar el grado de aceptación o rechazo de las leguminosas fermentadas con los probióticos en comparación con las no fermentadas. Las características evaluadas fueron el olor, color, sabor, textura, acidez y amargor, utilizando una escala hedónica de 5 puntos, donde 1 era el mínimo valor, correspondiente a “me desagrada muchísimo”, 2 “me desagrada”, 3 “ni me agrada, ni me desagrada”, 4 “me agrada” y 5 el máximo valor, “me agrada muchísimo”.

Las leguminosas fueron preparadas bajo cocción estándar a 100 °C por un tiempo de 2 horas para caraotas y frijol, y 1 hora para las lentejas, con la adición de sólo 0,5 g de sal por cada 100 g de leguminosa.

A cada persona se le entregaron 4 muestras en vasos con tapa transparente, correspondientes a una leguminosa en específica, codificadas por cada tipo de probiótico y el control. Cada muestra contenía entre 15 y 20 g de las leguminosas. También se les colocó agua y servilleta, y se les dio las instrucciones de cómo llenar la ficha de evaluación, la cual les fue entregada junto con un lápiz.

Este análisis se llevó a cabo en un salón del campus universitario de la Facultad de Ciencias de la Salud sede Aragua de la Universidad de Carabobo, con buena iluminación, aire acondicionado y los participantes ingresaron en grupos de 3 y 4 personas. Las evaluaciones de cada leguminosa se realizaron en días diferentes.

Análisis estadístico

Los datos correspondientes a la cuantificación de fenoles totales y taninos se analizaron de acuerdo con una estadística descriptiva, calculando promedio y desviación estándar. Para el caso del análisis sensorial, se aplicó un análisis de varianza no paramétrico, empleando la prueba de Friedman, a fin de determinar si había diferencias estadísticamente significativas en

el grado de aceptación de las leguminosas fermentadas por los diferentes probióticos. El nivel de significancia empleado 5 %. El programa estadístico empleado fue Jamovi 2022 ©.

Resultados

Durante los experimentos se evidenció que en todos los sistemas con probióticos, tanto con inóculos enriquecidos como con inóculos acuosos, hubo cambios de coloración en las semillas y en el olor característico de cada leguminosa. Mientras que en el caso de los sistemas controles (sin adición de probiótico), no se evidenció turbidez, cambios de coloración o cambios en el olor característico, hecho que confirma la ausencia de actividad biológica microbiana y ausencia de contaminantes durante el desarrollo de los experimentos.

También se observó que los sistemas con las semillas e inóculos enriquecidos, independientemente del tipo de probiótico y de leguminosa, los niveles de turbidez fueron mayores que los sistemas con las semillas e inóculos acuosos, lo cual era de esperarse, gracias a que los medios garantizan la disponibilidad de nutrientes para el rápido crecimiento de las bacterias.

Contenido de Fenoles y Taninos

En lo que respecta al contenido de fenoles totales de los sistemas controles, la leguminosa con mayores valores fue la caraota ($31,56 \pm 0,93$ mg/100 g de semillas), seguido por el frijol ($24,45 \pm 1,13$ mg/100 g de semillas) y luego la lenteja ($16,21 \pm 0,13$ mg/100 g de semilla). Al comparar los resultados de las semillas sometidas a fermentación, en todas las leguminosas, se observó que los sistemas de fermentación con inóculos enriquecidos exhibieron promedios superiores en cuanto al contenido de fenoles totales. Estos valores, también resultaron superiores a los controles, en el caso de la caraota y el frijol en más del 40 %, y en el de las lentejas en más del 70 %. Por lo que se puede afirmar que, las fermentaciones con inóculos enriquecidos con medios de cultivo favorecieron el incremento en el contenido de fenoles totales de las leguminosas (Cuadro 1).

En relación al efecto de cada probiótico, se evidenció que el B, con la combinación de *L. acidophilus* y

Cuadro 1. Contenido promedio de fenoles totales de las leguminosas fermentadas versus sin fermentar (control)

Leguminosa	Tipo de inóculo	Probiótico A	Probiótico B	Probiótico C	Control
Caraotas	Acuoso	29,12 ± 0,13	27,90 ± 1,14	32,10 ± 0,99	31,56 ± 0,93
	Enriquecido	38,12 ± 0,53	41,20 ± 1,10	36,60 ± 1,20	
Frijol	Acuoso	22,12 ± 0,23	20,02 ± 1,03	15,10 ± 0,34	24,45 ± 1,13
	Enriquecido	31,32 ± 1,23	34,02 ± 0,87	29,56 ± 2,80	
Lentejas	Acuoso	16,00 ± 0,76	20,34 ± 1,23	27,90 ± 1,09	16,21 ± 0,13
	Enriquecido	21,43 ± 0,56	27,12 ± 1,18	28,12 ± 1,39	

Resultados expresados en mg EAG/100 g MV

L. rhammossus, generó el mayor incremento en el contenido de fenoles totales de caraotas y frijoles, mientras que en el caso de las lentejas fue el probiótico C con *S. cerevisiae* (Cuadro 1).

Para el caso de los taninos, la caraota también resultó ser la leguminosa con mayor concentración (17,43 ± 0,53 mg/ 100 g de semillas) seguida por el frijol (14,45 ± 1,05 mg/ 100 g de semillas) y por último la lenteja (11,14 ± 0,63 mg/ 100 g de semillas). En lo que concierne al efecto de la fermentación, se observó que favoreció la reducción de los taninos, independientemente del tipo de inóculo. No obstante, los niveles más bajos se alcanzaron en los sistemas con inóculos enriquecidos, a menos de la mitad de la concentración obtenida en los sistemas controles. En caraotas la reducción mayor se logró con el probiótico C, 8,45 ± 1,10 mg/ 100 g de semillas, mientras que para frijol y lenteja se obtuvo con el

probiótico B, 5,33 ± 0,93 y 3,26 ± 0,17 mg/ 100 g de semillas, respectivamente (Cuadro 2).

Análisis sensorial

En el caso de las caraotas, se evidenció que los consumidores prefirieron el control en todos los aspectos evaluados. De los parámetros organolépticos el olor, el sabor y la textura fueron los más afectados, con bajos niveles de aceptación (Figura 1A).

Para el frijol los resultados fueron diferentes, pues hubo un mayor nivel de aceptación para las semillas fermentadas con probióticos B y C, alcanzando niveles de aceptación similares al control en cuanto al sabor, textura y olor (Figura 1B).

En tanto que las lentejas fermentadas también experimentaron un bajo nivel de aceptación,

Cuadro 2. Contenido promedio de taninos de las leguminosas fermentadas versus sin fermentar (control)

Leguminosa	Tipo de inóculo	Probiótico A	Probiótico B	Probiótico C	Control
Caraotas	Acuoso	16,12 ± 0,38	14,65 ± 0,18	10,34 ± 1,18	17,43 ± 0,53
	Enriquecido	11,13 ± 0,43	9,33 ± 0,98	8,45 ± 1,10	
Frijol	Acuoso	10,22 ± 0,88	11,43 ± 1,48	12,54 ± 0,68	14,45 ± 1,05
	Enriquecido	7,43 ± 0,63	5,33 ± 0,93	7,65 ± 1,93	
Lentejas	Acuoso	11,12 ± 0,45	9,30 ± 1,60	4,65 ± 0,86	11,14 ± 0,63
	Enriquecido	5,13 ± 0,88	3,26 ± 0,17	4,12 ± 0,73	

Resultados expresados en mg EAT/100 g de MV

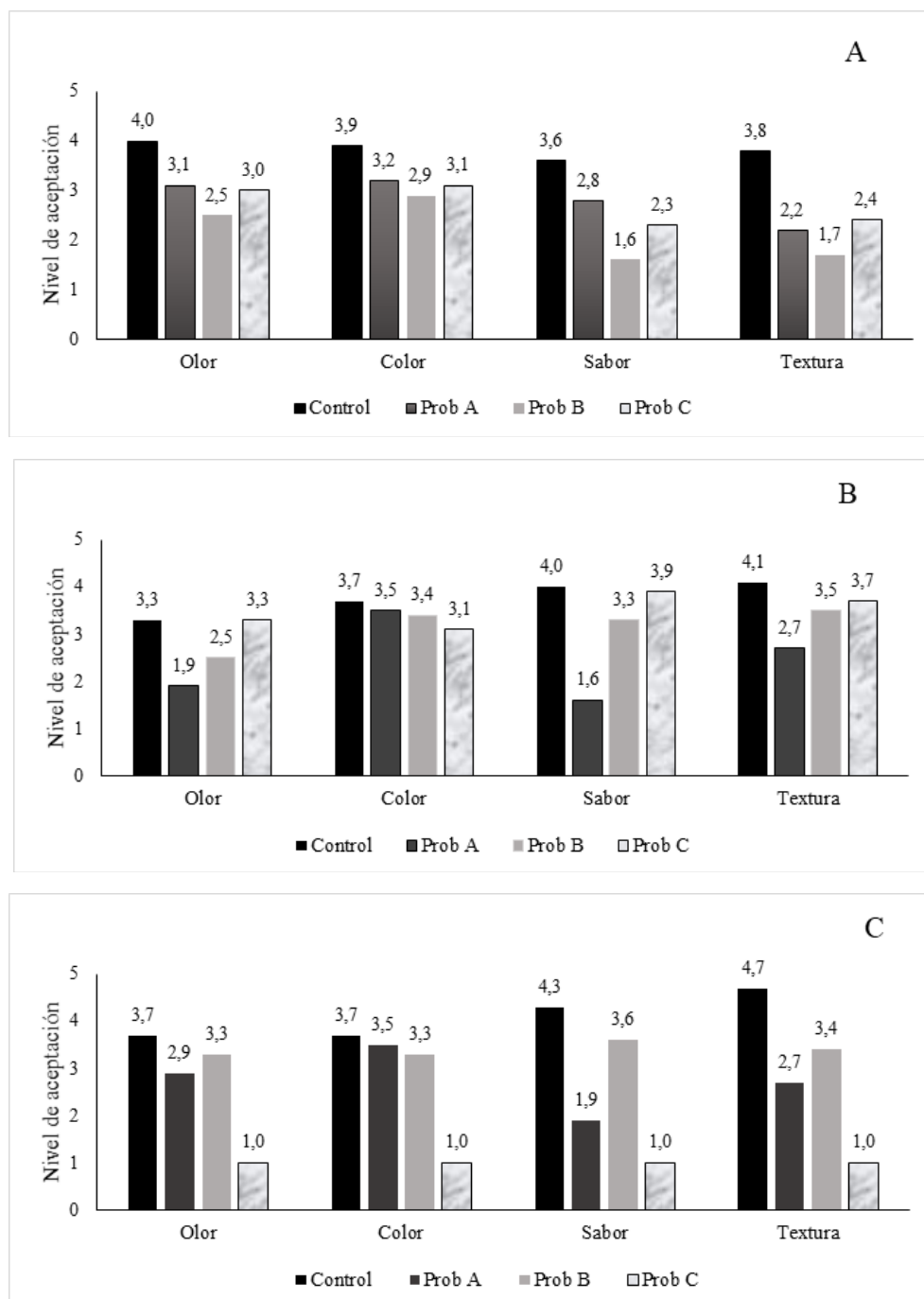


Figura 1. Nivel de aceptación de los consumidores sobre las leguminosas fermentadas, donde: (A) Caraotas, (B) Frijol, (C) Lentejas. Expresado en escala hedónica del 1 al 5, donde 1 es altamente desagradable y 5 es muy agradable.

específicamente las tratadas con el probiótico C tuvieron total rechazo de los consumidores. Sólo las fermentadas con el probiótico B tuvieron un nivel de aceptación promedio más cercano al control, al igual que en el caso de su olor y color (Figura 1C).

Al realizar la comparación estadística no paramétrica se encontró que, en el caso de las caraotas, la única

propiedad organoléptica en la que los consumidores no encontraron diferencias estadísticamente significativas fue el color. Para el frijol, no hubo diferencias ni en el olor ni en el color. Mientras para las lentejas, los consumidores percibieron diferencias en todos los parámetros organolépticos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis estadístico del efecto de la fermentación con probióticos sobre las propiedades organolépticas de las legumbres

Leguminosas	Propiedad	Valor Fr	Valor Fr Tabulado
Caraotas	Olor	11,19*	
	Color	5,88	7,82
	Sabor	9,21*	k = 4,
	Textura	12,66*	N = 10
Frijol	Olor	2,55	$\alpha = 0,05$
	Color	4,23	
	Sabor	8,19*	
	Textura	9,96*	
Lentejas	Olor	20,07*	
	Color	18,63*	
	Sabor	21,99*	
	Textura	23,25*	

*Fr calculado > Fr tabulado, diferencias significativas con un 95 % de confiabilidad.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación son relevantes y demuestran el potencial de mejorar la calidad nutricional de las leguminosas a través del uso de los probióticos.

Las concentraciones obtenidas para estos metabolitos, tanto fenoles totales como taninos, resultaron inferiores a los valores reportados por Pérez-Pérez *et al.* (24) y por Rochín-Medina *et al.* (25) para diferentes variedades de *P. vulgaris*, a pesar de utilizar un método de determinación similar utilizado, en cuanto a los patrones utilizados, ácido gálico y tánico, respectivamente. Esta diferencia probablemente, se deba a las características genéticas de las variedades utilizadas, así como de los factores ambientales (abióticos y bióticos), ya que la producción de los metabolitos secundarios por parte de las plantas es multifactorial.

No obstante, independientemente de esta diferencia en las concentraciones reportadas por otros autores,

el efecto del bioproceso o fermentación sobre estos compuestos fue notable.

El impacto sobre el contenido de compuestos fenólicos fue favorable. Se evidenció un incremento similar al descrito por Espinosa-Páez *et al.* (16), en fermentación sólida de harina de *P. vulgaris* con *Pleurotus ostreatus*. Estos autores encontraron que, además de incrementar entre 6 % a 13 % en el contenido de proteína total, también lograron el aumento en el contenido total de polifenoles. Los investigadores atribuyeron este efecto a la capacidad del microorganismo de generar enzimas como las lacasas, capaces de despolimerizar compuestos fenólicos conjugados de sustratos de leguminosas.

La reducción en el contenido total de taninos, también fue similar a lo descrito por Brea *et al.* (13), quien lo asoció a la capacidad de hidrólisis de las enzimas producidas por los microorganismos.

Un resultado contrario fue obtenido por Bautista-Expósito *et al.* (26), en fermentación sumergida de harina de lentejas con *Lactobacillus plantarum*. Estos autores, a pesar de trabajar con una bacteria del mismo género a una de las empleadas en la presente investigación, describieron una reducción del 31,5 % en el contenido total de polifenoles. Este descenso fue atribuido al pH, pues el proceso se llevó a un valor controlado de 6,8 y muchos flavonoides son sensibles a valores superiores a 6.

En función de estas comparaciones, se puede afirmar que las condiciones de fermentación utilizadas fueron favorables para todos los microorganismos seleccionados (*B. clausii*, *L. acidophilus*, *L. rhammossus*, *S. cerevisiae*), puesto que tuvieron la capacidad de producir la batería de enzimas hidrolíticas necesarias para favorecer la liberación de los compuestos fenólicos presentes en las leguminosas.

Otro aspecto a destacar fue el hecho de que, este incremento se logró a pesar de haber tenido menor superficie de sustrato, pues se trabajó con las semillas enteras y no con harinas como en el caso de los estudios mencionados. De hecho, existen pocas publicaciones de fermentaciones con semillas enteras (2).

En relación al efecto sobre las propiedades sensoriales, se evidenció que fue negativo en la mayoría de los casos. Esto probablemente debido a que, las leguminosas seleccionadas tienen una amplia tradición en la gastronomía venezolana, por lo que las variaciones en el sabor, olor, color o textura, fueron fácilmente percibidas

por la mayoría de los consumidores y generaron un nivel de rechazo. Sólo en el caso de frijol (*V. unguiculata*) fermentado con *S. cerevisiae*, se lograron niveles de aceptación similares al frijol sin fermentar. Lo cual podría ser una opción viable para mejorar aspectos nutricionales de esta leguminosa en particular.

Conclusión

La fermentación de todas las leguminosas seleccionadas, con los probióticos probados en medios enriquecidos, favoreció el incremento de los fenoles totales y redujo la concentración de taninos. No obstante, las propiedades organolépticas se vieron afectadas negativamente, lo que ocasionó bajos niveles de aceptación por parte de los consumidores.

El frijol bayo fermentado con *S. cerevisiae*, fue la leguminosa fermentada que tuvo mayor aceptación de los consumidores.

En función de estos hallazgos se podrían plantear alternativas orientadas a la formulación de nuevos productos a base de leguminosas fermentadas.

Agradecimientos

Al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit) del Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología (MINCYT) de Venezuela, por ser el ente financiador de la presente investigación bajo el número de proyecto 2024PGP118.

Al personal técnico, administrativo y docente Instituto de Investigaciones Biomédicas Dr. “Francisco Javier Triana Alonso” y de la Facultad de Ciencias de la Salud sede Aragua que colaboraron en la ejecución de este trabajo.

Financiamiento: Investigación perteneciente al proyecto 2024PGP118 financiado por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit) del Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología (MINCYT).

Referencias

1. Baldeón M, Felix C, Fornasini M, Zertuche F, Largo C, Paucar MJ, et al. Prevalence of metabolic syndrome and diabetes mellitus type-2 and their association with intake of dairy and legume in Andean communities of Ecuador. PLoS ONE. 2021;16(7): e0254812. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254812>.

2. Garrido-Galand S, Asensio-Grau A, Calvo-Lerma J, Heredia A, Andrés A. The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review. Food Research International. 2021; 145:110398. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110398>
3. Bonte A. Leguminosas para un futuro sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en Venezuela. [Internet]. 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/venezuela/noticias/detail-events/fr/c/1630501/>
4. Alagbe E, Okoye G, Amoo T, Adekeye B, Taiwo O, Adeyemi A, Daniel E. Spontaneous and controlled fermentation to improve nutritional value of Ikpakpa beans, Phaseolus vulgaris. Cogent Engineering. 2022;9(1):1-10. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2066823>.
5. Dimopoulou M, Vareltzis P, Gortzi O. A Systematic review of the twelve most popular bean varieties, highlighting their potential as functional foods based on the health benefits derived from their nutritional profiles, focused on non-communicable diseases. Appl Sci. 2024; 14:10215. <https://doi.org/10.3390/app142210215>
6. Ruiz J, Vasconcelos-Ulloa J, González-Mendoza D, Beltrán-González G, Díaz-Molina R. Efecto de una intervención dietética con un producto alimenticio a base de leguminosas sobre los niveles de malondialdehído, índice HOMA y perfil de lípidos. Endocrinol Diabetes Nutr. 2020;67(4):235-244. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2019.08.003>
7. Guerrero L, Durán-Agüero S. Consumo de leguminosas y su relación con enfermedades crónicas no transmisibles. Rev Chil Nutr 2020; 47(5): 865-869. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000500865>
8. Hernández-Ruiz R, Olivares-Ochoa X, Salinas-Varela Y, Guajardo-Espinoza D, Roldán-Flores L, Rivera-León E, et al. A. Phenolic Compounds and anthocyanins in legumes and their impact on inflammation, oxidative stress, and metabolism: Comprehensive Review. Molecules. 2025; 30:174. <https://doi.org/10.3390/molecules30010174>
9. Ojeda-Ojeda L, Noguera-Machado N, López J, Rivera V, Quintero H, Valero A, et al. Peptide Inhibitors of Angiotensin-I Converting Enzyme (ACE) Bioavailability in Legumes Subjected to Hydrothermal Treatment. Indonesian Food and Nutrition. 2024; 21(1):22-29.
10. George T, Obilana A, Oyeyinka S. The prospects of African yam bean: past and future importance. Heliyon. 2020;6:e05458. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05458>
11. Ozolina K, Sarenkova I, Muizniece-Brasava S. The anti-nutritional factors of legumes and their treatment possibilities: a review. Research for

- Rural Development. 2023;38(1):68-76. <https://doi.org/10.22616/RRD.29.2023.010>
12. Ojo M. Tannis in food: nutritional implications and processing effects hydrothermal techniques on underutilized hard to cook legume seeds – A review. *Prev. Nutr. Food Sci.* 2022;27(1):14-19. <https://doi.org/10.3746/pnf.2022.27.1.14>
13. Brea O, Borrás L, Rache L. Fermentación en estado sólido como método para reducir factores antinutricionales en la harina de frutos de *Artocarpus altilis*. *Ciencia en Desarrollo.* 2022; 13(2):201-210. <https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.15506>.
14. Xu L, Guo S, Zhang S. Effects of solid-state fermentation on the nutritional components and antioxidant properties from quinoa. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 2019;31(1):39–45. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i1.1898>.
15. Cichońska P, Ziarno M. Legumes and legume-based beverages fermented with lactic acid bacteria as a potential carrier of probiotics and prebiotics. *Microorganisms.* 2022;10:91. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010091>
16. Espinosa-Páez E, Alanis-Guzmán M, Hernández-Luna C, Baez-González J, Amaya-Guerra C, Andrés-Grau A. Increasing antioxidant activity and protein digestibility in *Phaseolus vulgaris* and *avena sativa* by fermentation with the *Pleurotus ostreatus* fungus. *Molecules.* 2017; 22:12. <https://doi.org/10.3390/molecules22122275>.
17. Mora-Uzeta C, Cuevas-Rodríguez E, López-Cervantes J, Milán-Carrillo J, Gutiérrez R, Reyes C. Improvement nutritional/antioxidant properties of underutilized legume tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) by solid state fermentation. *Agrociencia.* 2020; 53(1):987–1003.
18. Reis L, Morris T, Quilliam C, Rodrigues L, Loewen M, Weber L. The effects of fermentation of low or high tannin fava bean-based diets on glucose response, cardiovascular function, and fecal bile acid excretion during a 28-day feeding period in dogs: comparison with commercial diets with normal vs. high protein. *Metabolites.* 2021;11:878. <https://doi.org/10.3390/metabo11120878>.
19. Noguera-Machado N, Ojeda-Ojeda L. Las leguminosas en la dieta de la comunidad universitaria de la Universidad de Carabobo, Venezuela. *Agroalimentaria.* 2025;31(60):165-177.
20. El-Moghazy G, Dina M, El Ghafar A. Effect of fermentation of faba bean (*Vicia faba*) on its nutritive and sensory properties. *J Food and Dairy Sci. Mansoura Univ.* 2011;2(4):237- 250.
21. Coda R, Melama L, Rizzello C, Curiel J, Sibakov J, Holopainen U, *et al.* Effect of air classification and fermentation by *Lactobacillus plantarum* VTT E-133328 on faba bean (*Vicia faba* L.) flour nutritional properties. *Int J Food Microbiol.* 2015;193:34–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.10.012>
22. Jeszka-Skowron M, Zgola-Grzeskowiak A, Grzeskowiak T. Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. *Eur Food Res Technol.* 2015;24(1):19-31.
23. Pacheco F. Primer análisis comparativo de la actividad antioxidante, hemolítica y antihemolítica de extractos acuosos de cinco especies del género *hibiscus* presentes en Latinoamérica. *Ciencia, Ambiente y Clima.* 2023; 6(2):1-24. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i2.3015>.
24. Pérez-Pérez L, Del Toro C, Sánchez E, González R, Reyes A, Borboa J, *et al.* Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México, mediante un sistema gastrointestinal in vitro. *Biotechnia.* 2020; XXII(1):117-125.
25. Rochín-Medina J, Mora-Rochín S, Navarro-Cortez R, Tovar-Jimenez X, Quiñones-Reyes G, Ayala-Luján J, *et al.* Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de variedades de frijol sembradas en el estado de Zacatecas. *Acta Universitaria.* 2021; 31:e3059. <http://doi.org/10.15174.au.2021.3059>
26. Bautista-Exposito S, Martínez-Villaluenga C, Dueñas M, Silvan J, Frias J, Peñas E. Combination of pH-controlled fermentation in mild acidic conditions and enzymatic hydrolysis by Savinase to improve metabolic healthpromoting properties of lentil. *J Funct Foods.* 2018;48:9–18. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.019>.

Recibido: 15-07-2025

Aceptado: 15-08-2025