

Fermentación aeróbica de polvillo de arroz con *Saccharomyces cerevisiae* para alimentación porcina**Aerobic fermentation of rice bran with *Saccharomyces cerevisiae* for pig feeding**

Jorge Gabriel Palacios Revelo, María Celina Santos Falconez, Diego Quiñonez Navarrete, Angel Virgilio Cedeño Moreira & Carlos Alfredo Cedeño Palacios

DIMENSIÓN CIENTÍFICA**Enero - junio, V°7 - N°1; 2026****Recibido:** 24-06-2026**Aceptado:** 27-06-2026**Publicado:** 30-06-2026**PAIS**

- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Portoviejo

INSTITUCION

- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica de Manabí

CORREO:

- ✉ jpalaciosrevelo@gmail.com
- ✉ msantosf@uteq.edu.ec
- ✉ diegothorne9@gmail.com
- ✉ acedenom@uteq.edu.ec
- ✉ alfredo.cedeno@utm.edu.ec

ORCID:

-  <https://orcid.org/0000-0002-8509-8486>
-  <https://orcid.org/0000-0001-6047-8426>
-  <https://orcid.org/0009-0001-6466-7512>
-  <https://orcid.org/0000-0002-6564-5569>
-  <https://orcid.org/0000-0002-2698-9254>

FORMATO DE CITA APA.

Palacios, J., Santos, M., Quiñonez, D., Cedeño, A. & Cedeño, C. (2026). Fermentación aeróbica de polvillo de arroz con *Saccharomyces cerevisiae* para alimentación porcina. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°1). Pág. 7288 – 7304.

Resumen

La alimentación porcina requiere opciones que permitan aprovechar materias primas disponibles y reducir el desperdicio de subproductos agrícolas. Este estudio evaluó la fermentación aeróbica del polvillo de arroz con *Saccharomyces cerevisiae* y melaza, considerando diferentes niveles de fosfato de potasio. Se trabajó con cinco tratamientos: T0 sin fosfato de potasio, y T1, T2, T3 y T4 con 0,2; 0,4; 0,6 y 0,8 % de fosfato de potasio, respectivamente. El crecimiento de la levadura se midió mediante absorbancia a 600 nm. Además, se analizaron humedad, proteína cruda, fibra cruda, cenizas y pH del sustrato fermentado. En la evaluación inicial, T1 presentó la mayor absorbancia a las 12 horas, seguido por T0; por ello, ambos tratamientos fueron considerados para los análisis posteriores. Durante la fermentación, T1 mostró mayor contenido de proteína cruda y cenizas en comparación con T0, especialmente a las 32 y 40 horas. En la relación beneficio-coste, T0 registró un valor de 1,63 y T1 de 1,59. Estos resultados muestran que la fermentación del polvillo de arroz con levadura modifica la composición del sustrato y permite comparar el efecto del fosfato de potasio frente al tratamiento control.

Palabras clave: polvillo de arroz; *Saccharomyces cerevisiae*; fermentación aeróbica; fosfato de potasio; alimentación porcina; beneficio-coste.

Abstract

Pig feeding requires options that allow the use of available raw materials and reduce the waste of agricultural by-products. This study evaluated the aerobic fermentation of rice bran with *Saccharomyces cerevisiae* and molasses, using different levels of potassium phosphate. Five treatments were used: T0 without potassium phosphate, and T1, T2, T3, and T4 with 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8% potassium phosphate, respectively. Yeast growth was measured by absorbance at 600 nm. Moisture, crude protein, crude fiber, ash, and pH of the fermented substrate were also analyzed. In the initial evaluation, T1 showed the highest absorbance at 12 hours, followed by T0; therefore, both treatments were considered for the following analyses. During fermentation, T1 showed higher crude protein and ash content than T0, especially at 32 and 40 hours. In the benefit-cost ratio, T0 reached a value of 1.63 and T1 reached 1.59. These results show that rice bran fermentation with yeast changes the composition of the substrate and allows comparison of the effect of potassium phosphate with the control treatment.

Keywords: rice bran; *Saccharomyces cerevisiae*; aerobic fermentation; potassium phosphate; pig feeding; benefit-cost ratio.

Introducción

La alimentación animal enfrenta el reto de mantener la producción pecuaria con materias primas accesibles y con menor desperdicio de recursos (Chisoro et al., 2023). En la producción porcina, este desafío es importante porque el alimento representa una parte considerable de los costos del sistema productivo (Maher et al., 2025). Además, el crecimiento de la producción de cerdos aumenta la demanda de ingredientes que también pueden competir con el consumo humano o con otras cadenas agroindustriales (Lassaletta et al., 2019; Ramírez et al., 2017).

En este contexto, los subproductos agroindustriales pueden ser una alternativa para formular alimentos de menor costo y aprovechar materiales que aún conservan valor nutricional (Sugiharto & Nuengjamnong, 2025). Estos subproductos provienen de procesos agrícolas o industriales y, aunque no siempre se usan como materia prima principal, pueden aportar energía, fibra, minerales o proteína en la alimentación animal (Godoy Padilla et al., 2020; Ramírez et al., 2017). Su uso requiere una caracterización previa, porque su composición puede variar según el origen, el procesamiento y las condiciones de almacenamiento (Feyisa et al., 2024).

El polvillo de arroz es uno de estos subproductos. Se obtiene durante el procesamiento del grano y puede utilizarse como ingrediente en dietas para animales (Ostertag & Hinrichs, 2023). En cerdos, el arroz y sus derivados han sido estudiados como fuentes alternativas dentro de la dieta, debido a su aporte energético y a su disponibilidad en zonas productoras (Kim et al., 2021). Sin embargo, para mejorar su aprovechamiento, se requieren procesos que ayuden a modificar su composición y hacerlo más útil como ingrediente alimenticio (Manlapig & Matsui, 2025).

La fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* es una opción para transformar subproductos agrícolas en materiales con mayor interés nutricional (Asmare et al., 2023). Esta levadura se ha usado ampliamente en alimentos, bebidas y procesos industriales, y también se ha estudiado en alimentación animal por su aporte de biomasa microbiana, compuestos celulares y nutrientes asociados a su crecimiento (Parapouli et al., 2020; Suárez-Machín et al., 2016). En trabajos previos se ha reportado el uso de *S. cerevisiae* en la fermentación de subproductos del arroz y su posible aplicación en la alimentación porcina (Pinzón-Fajardo & Hurtado-Nery, 2021; Sharif et al., 2020).

La melaza puede emplearse como fuente de carbono porque contiene azúcares disponibles para el crecimiento microbiano (Abbas, 2023). Su uso en alimentación animal y en procesos fermentativos ha sido documentado por su aporte energético y por su disponibilidad como subproducto de la industria azucarera (Mordenti et al., 2021; Palmonari et al., 2020). En una fermentación, la melaza puede ayudar a que la levadura encuentre una fuente inicial de alimento para multiplicarse (Hawaz et al., 2024).

Otro aspecto que puede influir en el proceso es la disponibilidad de minerales, el fosfato de potasio puede aportar fósforo y potasio, elementos relacionados con procesos celulares básicos (Ribeiro-Filho et al., 2022). En sistemas biológicos, estos nutrientes pueden participar en el crecimiento celular, el equilibrio del medio y la actividad de las células durante el proceso fermentativo (Ansari et al., 2020; Picard, 2019). Sin embargo, no siempre una mayor cantidad del aditivo implica mejores resultados, por lo que es necesario evaluar diferentes concentraciones (Yuan et al., 2024).

Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la fermentación aeróbica del polvillo de arroz con *Saccharomyces cerevisiae* y melaza, considerando diferentes niveles de

fosfato de potasio, para analizar el crecimiento celular, la composición bromatológica del producto fermentado y su relación beneficio-costos (Shi et al., 2025).

Métodos y Materiales

Localización del estudio

El estudio se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología del Campus Experimental “La María”, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. La investigación se realizó bajo un enfoque experimental, con control de tratamientos y medición de variables relacionadas con el crecimiento de la levadura y la composición del sustrato fermentado.

Material biológico y sustratos

Se utilizó levadura *Saccharomyces cerevisiae*, polvillo de arroz como sustrato principal y melaza como fuente de carbono. La melaza se empleó por su contenido de azúcares disponibles, los cuales pueden favorecer el desarrollo de levaduras durante procesos fermentativos (Fajardo Castillo & Sarmiento Forero, 2007; Mordenti et al., 2021). El polvillo de arroz fue adquirido en un punto de venta comercial y se limpió para retirar partículas ajenas antes de su uso experimental.

La levadura se reactivó en una solución de melaza al 0,1 % durante 24 horas a 30 °C. Luego se sembró en medio de cultivo Potato Dextrose Agar y Potato Dextrose Broth, medios usados comúnmente para el crecimiento de hongos y levaduras (Aryal, 2015; Sharif et al., 2020).

Diseño experimental

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Los tratamientos se diferenciaron por el nivel de fosfato de potasio incorporado al medio de fermentación:

T0: polvillo de arroz, levadura y melaza, 0.0% de KH_2PO_4 (control).

T1: polvillo de arroz, levadura, melaza y 0.2% de KH_2PO_4 .

T2: polvillo de arroz, levadura, melaza y 0.4% de KH_2PO_4 .

T3: polvillo de arroz, levadura, melaza y 0.6% de KH_2PO_4 .

T4: polvillo de arroz, levadura, melaza y 0.8% de KH_2PO_4 .

Los tratamientos se incubaron durante 48 horas a 32 °C, con agitación constante. Estas condiciones buscaron mantener un ambiente adecuado para el desarrollo de la levadura, considerando que la temperatura, el oxígeno disponible, el pH y la disponibilidad de nutrientes pueden influir en el crecimiento microbiano (Gonzalez & Aranda, 2023; Hamad, 2012).

Variables evaluadas

El crecimiento celular se evaluó mediante absorbancia a 600 nm. Esta medición permitió observar la evolución del crecimiento de *S. cerevisiae* durante la fermentación. Además, se realizó análisis bromatológico del producto fermentado, considerando humedad, proteína cruda, fibra cruda, cenizas y pH. Las mediciones se realizaron a 0, 14, 24, 32 y 40 horas.

También se calculó la relación beneficio-costos de los tratamientos. Para ello, se comparó el beneficio total estimado con el costo total de producción. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Relación beneficio-costos} = \text{Beneficios totales} / \text{Costos totales}$$

Valores superiores a 1 fueron considerados económicamente rentables.

Aunque el diseño experimental consideró cinco tratamientos, el análisis se organizó en dos etapas. En la primera etapa se evaluó el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* mediante absorbancia a 600 nm en todos los tratamientos, con el propósito de identificar las respuestas iniciales frente a los diferentes niveles de fosfato de potasio. A partir de esta comparación, se seleccionaron T1 y T0 para los análisis posteriores de cinética de crecimiento, composición bromatológica y relación beneficio-costos. T1 fue seleccionado por presentar la mayor absorbancia entre los tratamientos evaluados, mientras que T0 se mantuvo como referencia control al no contener fosfato de potasio y mostrar la segunda mayor respuesta. Los tratamientos T2, T3 y T4 no fueron incluidos en la caracterización posterior porque presentaron menores valores de absorbancia en la evaluación inicial.

Análisis estadístico

Los datos fueron organizados en hojas de cálculo. Se realizó análisis descriptivo mediante medidas de tendencia central. Posteriormente, se verificó la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. La comparación entre tratamientos se realizó mediante análisis de varianza y la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

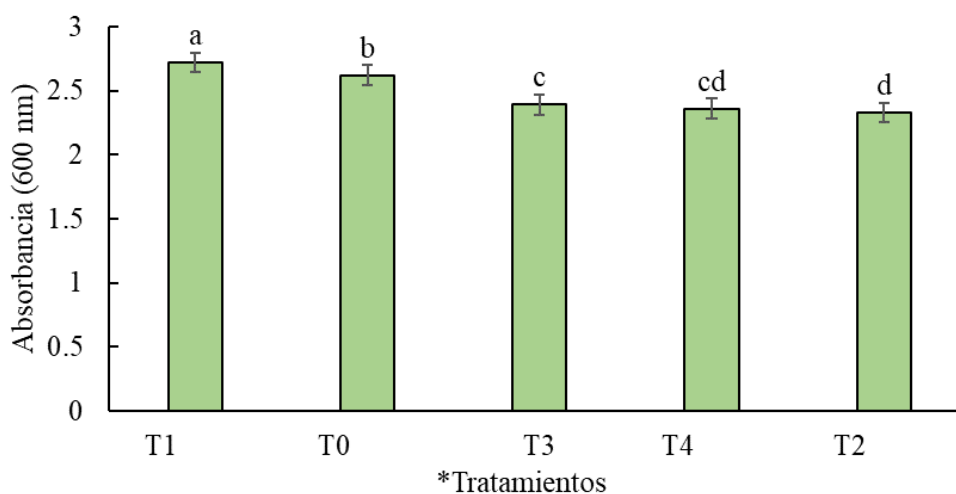
Análisis de resultados

Efecto de los niveles de fosfato de potasio sobre el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae*

A las 12 horas de fermentación se observaron diferencias entre tratamientos en la absorbancia a 600 nm. Como se aprecia en la Figura 1, el tratamiento T1, correspondiente a 0,2 % de fosfato de potasio, presentó el mayor valor de absorbancia, con 2,72. A continuación, se ubicó T0, sin fosfato de potasio, con 2,62. Los tratamientos T3, T4 y T2 registraron valores menores, con 2,39; 2,36 y 2,33, respectivamente.

Estos resultados permitieron identificar una primera respuesta del crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* frente a los niveles de fosfato de potasio. A partir de esta comparación inicial, se seleccionaron T1 y T0 para los análisis posteriores. T1 fue considerado por registrar la mayor absorbancia, mientras que T0 se mantuvo como tratamiento control. Por esta razón, la cinética de crecimiento, la evolución de proteína cruda y fibra, la evolución de humedad, cenizas y pH, así como la relación beneficio-costos, se presentan únicamente para estos dos tratamientos.

Figura 1. Absorbancia a 600 nm por tratamiento a las 12 horas

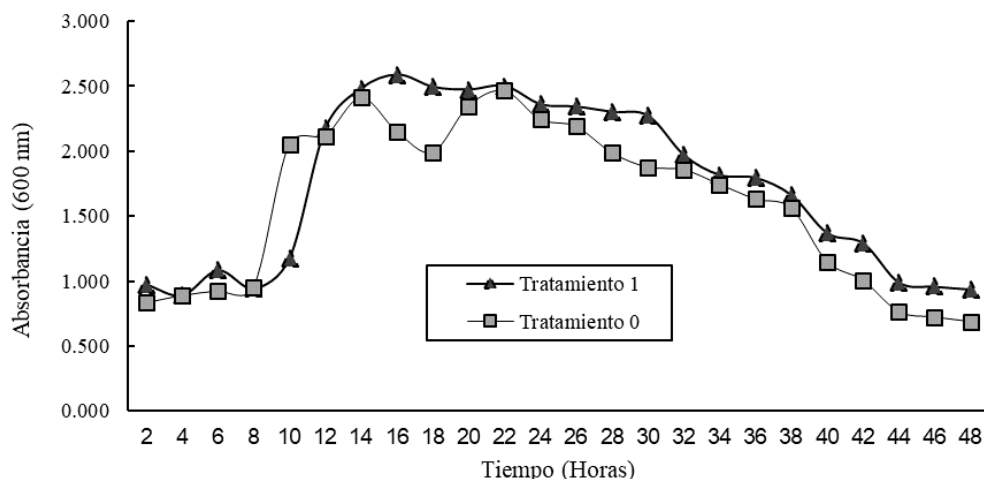


Cinética de crecimiento durante la fermentación aeróbica

La evolución de la absorbancia durante 48 horas permitió observar el comportamiento de T0 y T1 en el tiempo. Como se aprecia en la Figura 2, ambos tratamientos iniciaron con valores bajos de absorbancia durante las primeras horas. Luego, entre las 8 y 14 horas, se observó un aumento más marcado en ambos casos. En T1, el valor más alto se registró cerca de las 14 horas, con una absorbancia aproximada de 2,59. En T0, los valores más altos se mantuvieron entre las 14 y 24 horas, con un valor máximo cercano a las 22 horas.

Después de las 24 horas, los dos tratamientos mostraron una disminución progresiva de la absorbancia. Este comportamiento permite describir una reducción del crecimiento celular durante la etapa final del proceso.

Figura 2. Cinética de crecimiento de T0 y T1 durante 48 horas.



Nota. Se presentan únicamente T0 y T1 porque fueron seleccionados a partir de la comparación inicial de absorbancia a 600 nm. T0 correspondió al tratamiento control y T1 al tratamiento con mayor respuesta inicial.

Composición bromatológica del sustrato fermentado

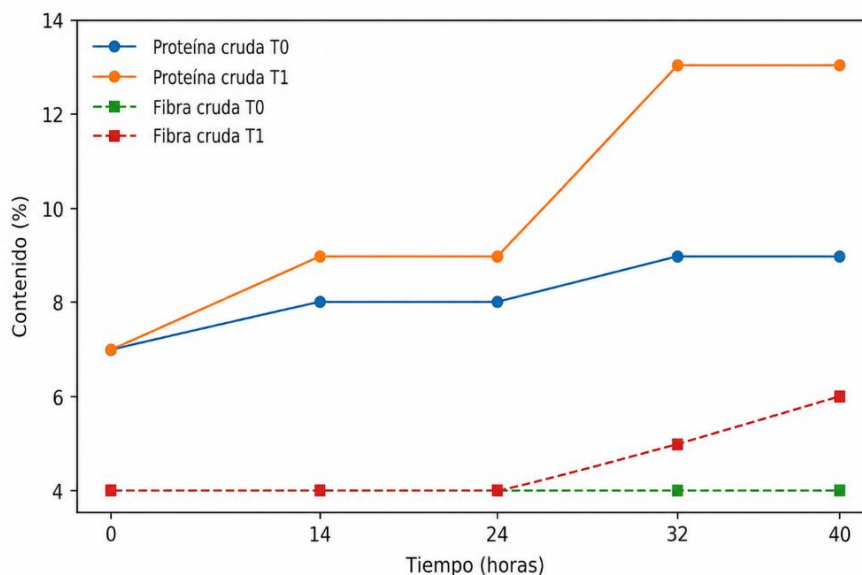
La composición del sustrato fermentado se analizó en T0 y T1, considerando humedad, proteína cruda, fibra cruda, cenizas y pH. Esta comparación se realizó debido a

que ambos tratamientos presentaron las mayores respuestas iniciales de absorbancia, como se observó previamente en la Figura 1.

Al inicio del proceso, ambos tratamientos presentaron valores similares de humedad, proteína cruda y fibra cruda. A las 0 horas, T0 y T1 registraron 8 % de humedad, 7 % de proteína cruda y 4 % de fibra cruda. Las diferencias iniciales se observaron en cenizas y pH: T0 presentó 1,4 % de cenizas y pH 5,0, mientras que T1 registró 1,5 % de cenizas y pH 5,5.

Como se aprecia en la Figura 3, la proteína cruda aumentó en ambos tratamientos durante el proceso, aunque T1 alcanzó valores mayores a las 32 y 40 horas. En esos tiempos, T1 registró 13 % de proteína cruda, mientras que T0 presentó 9 %. La fibra cruda también mostró cambios en T1, pasando de 4 % al inicio a 6 % a las 40 horas. En T0, este valor se mantuvo en 4 % durante todo el seguimiento.

Figura 3. Evolución de proteína cruda y fibra.

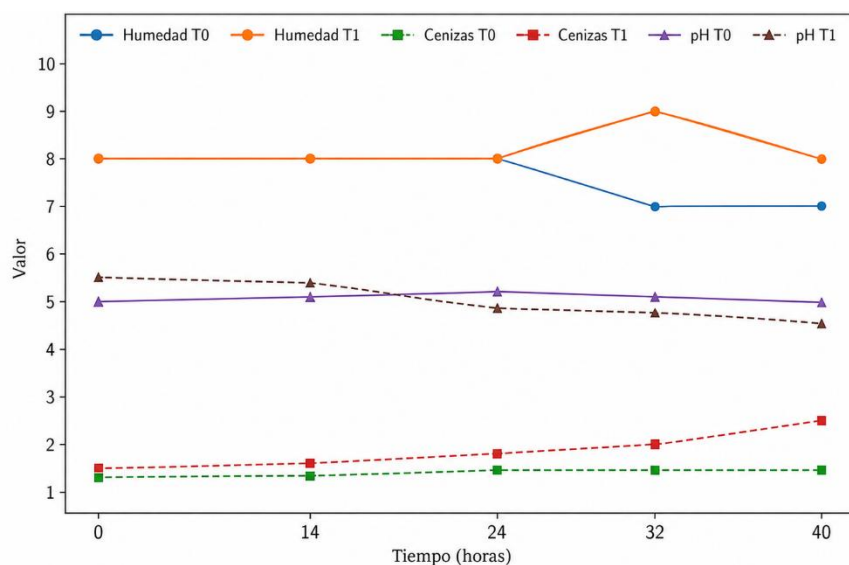


Nota. Se presentan únicamente T0 y T1 porque fueron seleccionados a partir de la comparación inicial de absorbancia a 600 nm. T0 correspondió al tratamiento control y T1 al tratamiento con mayor respuesta inicial

En cuanto a humedad, cenizas y pH, la Figura 4 muestra que T1 presentó mayor contenido de cenizas durante el proceso, con un incremento de 1,5 % al inicio hasta 2,5 % a las 40 horas. En T0, las cenizas se mantuvieron entre 1,4 % y 1,5 %. La humedad presentó variaciones leves: T1 pasó de 8 % a 9 % a las 32 horas y luego regresó a 8 % a las 40 horas, mientras que T0 descendió de 8 % a 7 % desde las 32 horas.

El pH mostró un comportamiento diferente entre tratamientos. En T0 se mantuvo cercano a valores entre 5,0 y 5,2. En T1, el pH descendió de 5,5 al inicio a 4,6 a las 40 horas, como se observa en la Figura 4.

Figura 4. Evolución de humedad, cenizas y pH.



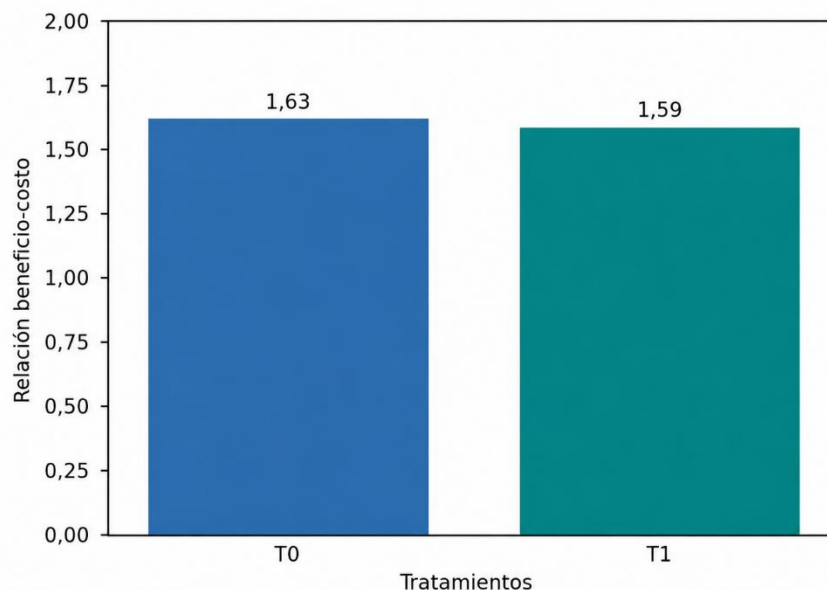
Nota. Se presentan únicamente T0 y T1 porque fueron seleccionados a partir de la comparación inicial de absorbancia a 600 nm. T0 correspondió al tratamiento control y T1 al tratamiento con mayor respuesta inicial

Evaluación económica

La relación beneficio-costos se calculó para T0 y T1. Como se presenta en la Figura 5, T0 registró una relación beneficio-costos de 1,63, mientras que T1 alcanzó un valor de 1,59. En ambos tratamientos, los valores fueron superiores a 1. T0 presentó un valor económico ligeramente mayor, asociado a que no incluyó el costo adicional del fosfato de

potasio. En cambio, T1 presentó mayores valores de proteína cruda y cenizas durante el seguimiento del sustrato fermentado.

Figura 5. *Relación Beneficio-costo.*



Nota. Se presentan únicamente T0 y T1 porque fueron seleccionados a partir de la comparación inicial de absorbancia a 600 nm. T0 correspondió al tratamiento control y T1 al tratamiento con mayor respuesta inicial.

Discusión

La discusión se centra en T0 y T1 porque estos tratamientos fueron seleccionados a partir de la comparación inicial de absorbancia. Como se aprecia en la Figura 1, T1 registró el mayor crecimiento inicial de *Saccharomyces cerevisiae*, mientras que T0 permitió observar el comportamiento del proceso sin adición de fosfato de potasio. Esta comparación permite analizar el efecto del tratamiento con 0,2 % de fosfato de potasio frente al control.

Los resultados muestran que la fermentación aeróbica del polvillo de arroz con *Saccharomyces cerevisiae* modificó la composición del sustrato, principalmente en T1. Este comportamiento coincide con estudios donde se ha reportado que *S. cerevisiae* puede

crecer sobre subproductos agrícolas y generar biomasa con interés para alimentación animal (Pinzón-Fajardo & Hurtado-Nery, 2021; Sharif et al., 2020).

Como se observa en la Figura 2, T0 y T1 presentaron un aumento de absorbancia durante las primeras horas del proceso y una disminución después de las 24 horas. Este comportamiento puede relacionarse con el uso de los nutrientes disponibles en el medio y con los cambios propios de la fermentación. En sistemas microbianos, el crecimiento puede pasar por una etapa inicial de adaptación, una etapa de aumento celular y una fase posterior de reducción cuando las condiciones del medio cambian (Gonzalez & Aranda, 2023).

El mayor crecimiento observado en T1 durante las primeras horas puede estar relacionado con la disponibilidad de azúcares de la melaza y con el aporte mineral del fosfato de potasio. La melaza puede aportar azúcares disponibles, mientras que el fosfato de potasio puede contribuir con minerales necesarios para el desarrollo celular (Eliodório et al., 2023; Palmonari et al., 2020). Sin embargo, los tratamientos con niveles superiores de fosfato de potasio no presentaron mayores valores de absorbancia en la evaluación inicial, como se mostró en la Figura 1.

La Figura 3 muestra que T1 alcanzó mayores valores de proteína cruda a las 32 y 40 horas. Este cambio puede asociarse con el crecimiento de la biomasa de levadura sobre el sustrato. La biomasa de *S. cerevisiae* contiene proteínas, minerales y otros componentes celulares que pueden modificar la composición final del material fermentado (Attfield, 2023; Suárez-Machín et al., 2016).

En la Figura 4 se observa un aumento de cenizas en T1 durante el proceso. Este cambio puede relacionarse con la incorporación de fosfato de potasio y con la concentración de minerales en el sustrato. En alimentación animal, el aporte mineral debe analizarse dentro de la dieta completa, porque puede contribuir al valor del ingrediente, pero requiere

equilibrio con los demás componentes de la ración (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine et al., 2022).

El pH también presentó cambios durante la fermentación. Como se aprecia en la Figura 4, T1 mostró una disminución gradual del pH hasta las 40 horas. Este dato es importante porque el pH puede influir en la estabilidad del producto y en el desarrollo de microorganismos durante el almacenamiento (Hamad, 2012). Por ello, el producto fermentado requiere estudios posteriores de conservación y seguridad antes de recomendar su uso directo en granja.

Desde el punto de vista económico, la Figura 5 muestra que T0 presentó una relación beneficio-costo ligeramente superior a T1, debido principalmente al costo adicional asociado con la incorporación de fosfato de potasio. Sin embargo, T1 alcanzó mayores contenidos de proteína cruda y cenizas, lo que sugiere una mejora en su valor nutricional. En consecuencia, la comparación entre ambos tratamientos debe considerar no solo los costos de producción, sino también la calidad nutricional del ingrediente obtenido y su potencial de utilización en alimentación animal (Shah et al., 2025).

Conclusiones

La fermentación aeróbica del polvillo de arroz con *Saccharomyces cerevisiae* y melaza permitió observar cambios en el crecimiento celular y en la composición del sustrato fermentado.

El tratamiento con 0,2 % de fosfato de potasio presentó la mayor absorbancia a las 12 horas y mostró mejores valores de proteína cruda y cenizas en los tiempos evaluados, especialmente a las 32 y 40 horas.

Los tratamientos sin fosfato de potasio y con 0,2 % de fosfato de potasio fueron económicamente viables bajo las condiciones del estudio, con relaciones beneficio-costos superiores a 1. El tratamiento sin fosfato presentó mayor rentabilidad, mientras que el tratamiento con 0,2 % mostró mejores características bromatológicas.

El producto fermentado puede considerarse una alternativa preliminar para alimentación porcina, pero se requieren estudios posteriores con animales para evaluar consumo, digestibilidad, ganancia de peso, conversión alimenticia, salud intestinal y seguridad del producto durante el almacenamiento.

Referencias bibliográficas

- Chisoro, P., Jaja, I. F., & Assan, N. (2023). Incorporation of local novel feed resources in livestock feed for sustainable food security and circular economy in Africa. *Frontiers in Sustainability*, 4(1251179). <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1251179>
- Maher, S., Sweeney, T., & O'Doherty, J. V. (2025). Optimising nutrition for sustainable pig production: Strategies to quantify and mitigate environmental impact. *Animals: An Open Access Journal From MDPI*, 15(10), 1403. <https://doi.org/10.3390/ani15101403>
- Sugiharto, S., & Nuengjamnong, C. (2025). An update review on the use of agro-industrial byproducts on carcass and meat quality of broiler chickens. *Discover Food*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00509-0>
- Godoy Padilla, D. J., Daza La Plata, R., Fernández Curi, L. M., Layza Mendiola, A. E., Roque Alcarraz, R. E., Hidalgo Lozano, V., & Gómez Quispe, O. E. (2020). Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(2), 1374. <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1374>
- Feyisa, T., Tolera, A., Nurfeta, A., Balehegn, M., & Adesogan, A. (2024). Availability, distribution and quality of agro-industrial byproducts and compound feeds in Ethiopia. *Frontiers in Animal Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1408050>
- Ostertag, F., & Hinrichs, J. (2023). Enrichment of lactoferrin and immunoglobulin G from acid whey by cross-flow filtration. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(11), 2163. <https://doi.org/10.3390/foods12112163>
- Kim, S., Cho, J. H., Kim, H. B., & Song, M. (2021). Rice as an alternative feed ingredient in swine diets. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(3), 465–474. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8204006/>
- Manlapig, J. J. D., & Matsui, H. (2025). Production and utilization of fermented rice bran as animal feed. *Nihon Chikusan Gakkaiho [Animal Science Journal]*, 96(1), e70037. <https://doi.org/10.1111/asj.70037>
- Asmare, S., Alemayehu, K., Mwacharo, J., Haile, A., Abegaz, S., & Ahbara, A. (2023). Genetic diversity and within-breed variation in three indigenous Ethiopian sheep based on whole-genome analysis. *Heliyon*, 9(4), e14863. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14863>
- Parapouli, M., Vasileiadi, A., Afendra, A. S., & Hatziloukas, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS Microbiology*, 6(1), 1–32. <http://www.aimspress.com/article/10.3934/microbiol.2020001>
- Pinzón-Fajardo, O., & Hurtado-Nery, V. (2021). Producción de proteína unicelular de *Saccharomyces cerevisiae* con granza de arroz e inclusión en cerdos. *Orinoquia*, 25(1), 23–33. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092021000100023
-

- Abbas, C. (2023). My journey with yeast. *FEMS Yeast Research*, 23, foad035. <https://doi.org/10.1093/femsyr/foad035>
- Palmonari, A., Cavallini, D., Sniffen, C. J., Fernandes, L., Holder, P., Fagioli, L., Fusaro, I., Biagi, G., Formigoni, A., & Mammi, L. M. E. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6244–6249. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030220303076>
- Hawaz, E., Tafesse, M., Tesfaye, A., Kiros, S., Beyene, D., Kebede, G., Boekhout, T., Groenwald, M., Theelen, B., Degefe, A., Degu, S., Admasu, A., Hunde, B., & Muleta, D. (2024). Bioethanol production from sugarcane molasses by co-fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* isolate TA2 and *Wickerhamomyces anomalus* isolate HCJ2F-19. *Annals of Microbiology*, 74(1). <https://doi.org/10.1186/s13213-024-01757-8>
- Ribeiro-Filho, N., Linforth, R., Bora, N., Powell, C. D., & Fisk, I. D. (2022). The role of inorganic-phosphate, potassium and magnesium in yeast-flavour formation. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 162(Pt A), 112044. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112044>
- Ansari, I., Khalaji, S., & Hedayati, M. (2020). Potassium phosphate and potassium carbonate administration by feed or drinking water improved broiler performance, bone strength, digestive phosphatase activity and phosphorus digestibility under induced heat stress conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 52(2), 591–600. <http://link.springer.com/10.1007/s11250-019-02046-2>
- Yuan, H., Sun, Q., Wang, L., Fu, Z., Zhou, T., Ma, J., Liu, X., Fan, G., & Teng, C. (2024). Optimization of high-density fermentation conditions for *Saccharomycopsis fibuligera* Y1402 through response surface analysis. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(10), 1546. <https://doi.org/10.3390/foods13101546>
- Shi, Y., Wu, X., Meng, G., Ma, X., La, Y., Bao, P., Chu, M., & Yan, P. (2025). Identification and analysis of circular RNAs in mammary gland from yaks between lactation and dry period. *Animals: An Open Access Journal From MDPI*, 15(1), 89. <https://doi.org/10.3390/ani15010089>
- Pinzón-Fajardo, O. R., & Hurtado-Nery, V. L. (2021). Producción de proteína unicelular de *Saccharomyces cerevisiae* con granza de arroz e inclusión en cerdos. *Orinoquia*, 25(1), 23–33. <https://doi.org/10.22579/20112629.653>
- Gonzalez, J. M., & Aranda, B. (2023). Microbial growth under limiting conditions-future perspectives. *Microorganisms*, 11(7), 1641. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071641>
- Eliodório, K. P., Cunha, G. C. de G. e., Lino, F. S. de O., Sommer, M. O. A., Gombert, A. K., Giudici, R., & Basso, T. O. (2023). Physiology of *Saccharomyces cerevisiae* during growth on industrial sugar cane molasses can be reproduced in a tailor-made defined synthetic medium. *Scientific Reports*, 13, Article 37618. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-37618-8>
- Attfield, P. V. (2023). Crucial aspects of metabolism and cell biology relating to industrial production and processing of *Saccharomyces* biomass. *Critical Reviews in*
-

Biotechnology, 43(6), 920–937.
<http://dx.doi.org/10.1080/07388551.2022.2072268>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Division on Earth and Life Studies, Board on Agriculture and Natural Resources, & Committee on Nutrient Requirements of Dairy Cattle. (2022). Nutrient requirements of dairy cattle: Eighth revised edition (8a ed.). National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/25806>

Shah, A. M., Zhang, H., Shahid, M., Ghazal, H., Shah, A. R., Niaz, M., Naz, T., Ghimire, K., Goswami, N., Shi, W., Xia, D., & Zhao, H. (2025). The vital roles of agricultural crop residues and Agro-industrial by-products to support sustainable livestock productivity in subtropical regions. *Animals: An Open Access Journal From MDPI*, 15(8), 1184. <https://doi.org/10.3390/ani15081184>.
