

Economía circular en la industria ronera: desarrollo de un biofertilizante a partir de efluentes vinaza

Circular economy in the rum industry: development of a biofertilizer from vinasse effluents

Economia circular na indústria do rum: desenvolvimento de biofertilizante a partir de efluentes de vinhaça

Rodríguez María Alejandra ^{1*}, Sánchez Gutiérrez Elías Felipe ¹

¹ Universidad Metropolitana (UNIMET), Caracas, Miranda, Venezuela. ROR: <https://ror.org/046np5693>

✉ marodriguezded@unimet.edu.ve | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7353-1388>

✉ e.sanchez@correo.unimet.edu.ve | ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9339-2673>

E-mail do autor da correspondência: marodriguezded@unimet.edu.ve

Revista Saastal

Vol. 1(1) enero - junio 2025

<https://doi.org/10.63804/saastal.v1i1.e4>

Como citar este artículo

Rodríguez M., Sánchez E. (2025). Economía circular en la industria ronera: desarrollo de un biofertilizante a partir de efluentes vinaza. *Saastal*, 1(1), e4.

© 2025 Saastal. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite debidamente al autor y la fuente original.

Recibido: 18 de febrero de 2025

Revisado: 20 de marzo de 2025

Aceptado: 05 de abril de 2025

Publicado: 15 de abril de 2025

Resumen

La industria ronera genera grandes volúmenes de vinaza, un efluente caracterizado por su elevada carga orgánica, acidez y concentración de nutrientes, cuya disposición inadecuada puede ocasionar impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres. No obstante, sus propiedades fisicoquímicas representan una oportunidad para su valorización dentro de los principios de la economía circular. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un biofertilizante a partir de vinaza proveniente de la producción de ron, enriquecida con *Trichoderma harzianum*, y evaluar su potencial aplicación agrícola en el cultivo de *Coriandrum sativum* (cilantro). La investigación comprendió la caracterización fisicoquímica de la vinaza, considerando parámetros de interés agronómico como pH, nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. Posteriormente, se realizó la adecuación del pH para favorecer el crecimiento microbiano, el aislamiento e identificación de *T. harzianum* en medio PDA y la preparación del inóculo para su incorporación en muestras de vinaza a diferentes concentraciones. Asimismo, se diseñó un experimento factorial 2³ para evaluar el efecto del tiempo de cultivo, la concentración del biofertilizante y el tipo de fertilización sobre variables biométricas del cultivo de cilantro. Los resultados preliminares evidenciaron que la vinaza posee concentraciones apreciables de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, especialmente nitrógeno, potasio y calcio, lo que respalda su potencial como materia prima para la formulación de biofertilizantes. Además, se logró el aislamiento exitoso de *T. harzianum* y la adecuación del pH de la vinaza a valores compatibles con el crecimiento del microorganismo. La combinación de los nutrientes presentes en la vinaza y las propiedades promotoras del crecimiento vegetal de *T. harzianum* sugiere una sinergia favorable para la obtención de un insumo agrícola sostenible. Se concluye que la valorización de la vinaza mediante su transformación en biofertilizante constituye una alternativa prometedora para reducir los impactos ambientales de la industria ronera, promover la reutilización de residuos agroindustriales y contribuir al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles.

Palabras clave: biofertilizante; economía circular; gestión de residuos agroindustriales; *Trichoderma harzianum*; vinaza.

Abstract

Vinasse is a by-product generated during rum production and is characterized by high organic load, acidity, and nutrient content. Improper disposal of this effluent can cause significant environmental impacts on aquatic and terrestrial ecosystems. However, its physicochemical properties make it a promising resource for valorization within a circular economy framework. Therefore, this study aimed to develop a biofertilizer from rum vinasse enriched with *Trichoderma harzianum* and to evaluate its potential agricultural application in *Coriandrum sativum* (coriander) cultivation. The research involved the physicochemical characterization of vinasse, focusing on agronomically relevant parameters such as pH, nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium. Subsequently, the vinasse pH was adjusted to conditions suitable for fungal growth, and *T. harzianum* was isolated and cultivated on potato dextrose agar (PDA). The fungal inoculum was then incorporated into vinasse samples at different concentrations. In addition, a 2³ factorial experimental design was established to assess the effects of cultivation time, biofertilizer concentration, and fertilizer type on coriander biometric parameters. Preliminary results revealed that vinasse contains appreciable concentrations of essential nutrients, particularly nitrogen, potassium, and calcium, supporting its potential use as a raw material for biofertilizer production. Furthermore, successful isolation of *T. harzianum* and adjustment of vinasse pH to values compatible with fungal development were achieved. The combination of the nutrient-rich composition of vinasse and the plant growth-promoting properties of *T. harzianum* suggests a synergistic effect that may enhance crop development. These findings indicate that vinasse valorization through biofertilizer production represents a promising strategy to reduce the environmental burden of rum industry effluents, promote agro-industrial waste reuse, and contribute to the development of more sustainable agricultural systems.

Keywords: biofertilizer; circular economy; agro-industrial waste management; *Trichoderma harzianum*; vinasse.

Resumo

A vinhaça é um efluente gerado durante a produção de rum, caracterizado por elevada carga orgânica, acidez e conteúdo de nutrientes. O descarte inadequado desse resíduo pode provocar impactos ambientais significativos em ecossistemas aquáticos e terrestres. Entretanto, suas propriedades físico-químicas representam uma oportunidade para sua valorização dentro dos princípios da economia circular. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo desenvolver um biofertilizante a partir de vinhaça proveniente da produção de rum, enriquecida com *Trichoderma harzianum*, e avaliar seu potencial de aplicação agrícola no cultivo de *Coriandrum sativum* (coentro). A pesquisa compreendeu a caracterização físico-química da vinhaça, considerando parâmetros de interesse agrônomo, como pH, nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio. Posteriormente, realizou-se o ajuste do pH para favorecer o crescimento do fungo, o isolamento e cultivo de *T. harzianum* em meio batata-dextrose-ágar (PDA) e a preparação do inóculo para incorporação em amostras de vinhaça em diferentes concentrações. Além disso, foi desenvolvido um delineamento experimental fatorial 2³ para avaliar os efeitos do tempo de cultivo, da concentração do biofertilizante e do tipo de fertilização sobre parâmetros biométricos do coentro. Os resultados preliminares demonstraram que a vinhaça apresenta concentrações expressivas de nutrientes essenciais, especialmente nitrogênio, potássio e cálcio, confirmando seu potencial como matéria-prima para a produção de biofertilizantes. Adicionalmente, foi obtido o isolamento bem-sucedido de *T. harzianum* e o ajuste do pH da vinhaça para valores compatíveis com o desenvolvimento do microrganismo. A combinação entre a composição nutritiva da vinhaça e as propriedades promotoras de crescimento vegetal de *T. harzianum* sugere um efeito sinérgico favorável ao desenvolvimento das culturas. Conclui-se que a valorização da vinhaça por meio da produção de biofertilizantes constitui uma alternativa promissora para reduzir os impactos ambientais dos efluentes da indústria rumeeira, promover o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: biofertilizante; economia circular; gestão de resíduos agroindustriais; *Trichoderma harzianum*; vinhaça.

Introducción

La generación de residuos agroindustriales representa uno de los principales desafíos ambientales asociados a la producción de alimentos y bebidas. Entre estos residuos destaca la vinaza, un efluente líquido producido durante la destilación del etanol en la industria azucarera y ronera, caracterizado por su elevada carga orgánica, color oscuro, acidez y alta concentración de sales y nutrientes [1], [2]. Se estima que por cada litro de etanol producido se generan entre 10 y 15 litros de vinaza, lo que implica la producción de grandes volúmenes de este subproducto y plantea importantes retos para su manejo y disposición final [3].

La descarga inadecuada de la vinaza puede ocasionar alteraciones significativas en los ecosistemas, debido a la disminución del pH y al incremento de la carga orgánica en cuerpos de agua, afectando la biodiversidad acuática y la calidad ambiental [4]. Asimismo, el almacenamiento prolongado de este efluente favorece la proliferación de insectos y microorganismos que pueden convertirse en focos de contaminación, afectando tanto a las actividades agropecuarias como a las poblaciones cercanas [5]. Debido a estos impactos, existe un creciente interés en el desarrollo de estrategias sostenibles que permitan transformar este residuo en productos de valor agregado, alineados con los principios de la economía circular.

En este contexto, la reutilización agrícola de la vinaza ha despertado especial interés debido a su contenido de materia orgánica y nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. Diversos estudios han demostrado que la aplicación controlada de vinaza puede contribuir a la recuperación de suelos degradados y reducir la dependencia de fertilizantes minerales convencionales, promoviendo una agricultura más sostenible y eficiente en el uso de recursos [6].

Por otra parte, los biofertilizantes constituyen una alternativa tecnológica capaz de mejorar la fertilidad del suelo y la productividad agrícola mediante la incorporación de microorganismos beneficiosos. Estos productos favorecen la actividad biológica del suelo, incrementan la disponibilidad de nutrientes, estimulan el crecimiento vegetal y contribuyen al control de enfermedades fitopatógenas [7]. Dentro de este grupo de microorganismos, los hongos del género *Trichoderma* destacan por su capacidad para colonizar la rizósfera, solubilizar nutrientes poco disponibles y promover el desarrollo de las plantas mediante mecanismos fisiológicos y bioquímicos [8].

Particularmente, *Trichoderma harzianum* ha sido ampliamente utilizado como agente de biocontrol y promotor del crecimiento vegetal debido a su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes, estimular el desarrollo radicular y aumentar la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas [9]. La incorporación de este microorganismo en matrices ricas en nutrientes, como la vinaza, podría generar un biofertilizante con

propiedades complementarias que combine el aporte nutricional del residuo agroindustrial con los beneficios biológicos del hongo.

Entre los cultivos de interés para evaluar este tipo de productos se encuentra *Coriandrum sativum* L. (cilantro), una especie hortícola ampliamente utilizada en la alimentación humana y caracterizada por su rápido crecimiento y corto ciclo productivo, que oscila entre 40 y 45 días para la cosecha comercial de hojas. Estas características convierten al cilantro en un modelo adecuado para la evaluación de nuevas estrategias de fertilización y para la determinación de respuestas agronómicas en periodos relativamente cortos [10].

A pesar del potencial que presentan tanto la vinaza como *Trichoderma harzianum* para aplicaciones agrícolas, todavía existe información limitada sobre el desarrollo de biofertilizantes que integren ambos componentes en sistemas productivos asociados a la industria ronera. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo formular un biofertilizante a partir de vinaza enriquecida con *Trichoderma harzianum* y evaluar su potencial aplicación en el cultivo de *Coriandrum sativum*, contribuyendo al aprovechamiento sostenible de residuos agroindustriales y al fortalecimiento de estrategias de economía circular en el sector agroalimentario.

Metodología

Caracterización fisicoquímica de la vinaza

La vinaza empleada en este estudio fue suministrada por la Hacienda Santa Teresa (Venezuela), donde se genera como subproducto del proceso de destilación para la producción de ron. Con el propósito de evaluar su potencial uso como materia prima para la formulación de biofertilizantes, se determinaron parámetros fisicoquímicos de interés agronómico, incluyendo pH, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca). Los análisis se realizaron mediante metodologías estandarizadas de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC). El nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl (AOAC 955.04), el fósforo mediante el método espectrofotométrico molibdovanadofosfato (AOAC 970.01), mientras que el potasio y el calcio se cuantificaron mediante espectrometría de absorción atómica de acuerdo con los procedimientos oficiales AOAC para fertilizantes. Los resultados fueron comparados con valores reportados en la literatura para vinazas de origen similar y con la composición de un fertilizante orgánico comercial, con el fin de establecer su capacidad potencial para aportar nutrientes esenciales al desarrollo vegetal.

Adecuación de la vinaza

Debido a la naturaleza ácida de la vinaza, se realizó un ajuste de pH para favorecer el crecimiento de *Trichoderma harzianum* y garantizar condiciones adecuadas para su posterior aplicación agrícola. El pH inicial de la muestra fue corregido hasta alcanzar valores comprendidos entre 6,0 y 7,0, rango considerado óptimo para el desarrollo del

microorganismo y compatible con el crecimiento de cultivos hortícolas.

Aislamiento e inoculación de *Trichoderma harzianum*

El aislamiento de *Trichoderma harzianum* se llevó a cabo mediante cultivo en medio Papa Dextrosa Agar (PDA). Una vez obtenidas colonias puras, se realizó la cosecha de conidios y la preparación de una suspensión de esporas utilizando un agente dispersante estéril. La concentración del inóculo fue ajustada a 1×10^7 conidios mL^{-1} mediante recuento microscópico, garantizando una inoculación homogénea en todos los tratamientos.

Posteriormente, se inocularon muestras de vinaza previamente acondicionadas a concentraciones de 50 % y 100 % (v/v). El crecimiento del hongo fue monitoreado mediante recuento viable cada 24 horas, permitiendo la construcción de la curva de crecimiento microbiano y la identificación de las fases lag, exponencial y estacionaria. Una vez alcanzada la fase estacionaria, las suspensiones inoculadas fueron consideradas como biofertilizantes para su evaluación agronómica.

Evaluación agronómica del biofertilizante

La eficacia del biofertilizante fue evaluada utilizando plantas de *Coriandrum sativum* L. (cilantro), seleccionadas debido a su rápido crecimiento y corto ciclo productivo. El ensayo se estableció bajo condiciones controladas e incluyó un tratamiento control sin fertilización para comparar la respuesta del cultivo frente a los tratamientos evaluados.

Se aplicó un diseño factorial 2^3 considerando tres factores experimentales: (i) tiempo de cultivo (45 y 60 días), (ii) concentración del fertilizante (50 y 100 % v/v) y (iii) tipo de fertilización (biofertilizante elaborado a partir de vinaza inoculada con *T. harzianum* y fertilizante comercial). La combinación de estos factores generó ocho tratamientos experimentales, además de un tratamiento control.

Cada tratamiento fue establecido con tres repeticiones independientes, distribuidas aleatoriamente para minimizar los efectos de variabilidad experimental.

Variables de respuesta

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo del cultivo, se evaluaron variables biométricas asociadas al crecimiento vegetal, incluyendo altura de planta (cm), longitud radicular (cm), número de hojas, masa fresca aérea (g), masa fresca radicular (g), masa seca aérea (g) y masa seca radicular (g). Las mediciones se realizaron al finalizar cada periodo experimental.

Análisis dos dados

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico mediante un diseño factorial

completamente aleatorizado. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar los efectos individuales y las interacciones entre los factores evaluados sobre las variables biométricas del cultivo. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó una prueba de comparación de medias para identificar los tratamientos con mejor desempeño agronómico. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software libre PAST 4.03 versión 2020.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica de la vinaza

La caracterización fisicoquímica de la vinaza evidenció la presencia de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, lo que confirma su potencial aprovechamiento como materia prima para la elaboración de biofertilizantes [6]. Los valores obtenidos para pH, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) se presentan en la Tabla 1.

Tabela 1. Características de la vinaza.

Parámetros	Vinaza			Abono comercial
	Hacienda Santa Teresa (2025)	Giraud y Rodríguez (2023) [5]	Abreu y Rodríguez (2021) [9]	Orgánico de lombriz
Potencial de hidrógeno (pH)	4.78 ± 0.08	3.9 ± 0.5	3.8	8.8
Nitrógeno (N) (mg/L)	540	1101 ± 180		986
Fósforo (P) (mg/L)	17.2 ± 0.2	380 ± 1	2780	527
Potasio (K) (mg/L)	76.32	3540 ± 12	14916	351
Calcio (Ca) (mg/L)		2220 ± 8	102560	2206

Los resultados mostraron que la vinaza presentó un pH ácido ($4,78 \pm 0,08$), valor característico de este tipo de efluentes y consistente con reportes previos para vinazas provenientes de procesos de destilación [7], [8]. Asimismo, se observaron concentraciones apreciables de nitrógeno (540 mg L^{-1}), fósforo ($17,2 \pm 0,2 \text{ mg L}^{-1}$), potasio ($76,32 \text{ mg L}^{-1}$) y calcio ($2220 \pm 8 \text{ mg L}^{-1}$), elementos indispensables para el desarrollo vegetal.

Aunque algunos nutrientes presentaron concentraciones inferiores a las reportadas en otras investigaciones, los resultados confirman que la vinaza constituye una fuente potencial de nutrientes para aplicaciones agrícolas. En particular, el contenido de calcio fue comparable al reportado para otros residuos orgánicos utilizados como acondicionadores de suelo [11]. Estos resultados respaldan la estrategia de valorización de la vinaza dentro de esquemas de economía circular orientados al aprovechamiento sostenible de residuos agroindustriales.

Adecuación de la vinaza y aislamiento de Trichoderma harzianum

Debido a la acidez inicial de la vinaza, se realizó un ajuste de pH hasta alcanzar valores comprendidos entre 6 y 7, rango adecuado para el crecimiento de *Trichoderma harzianum* y para su posterior aplicación agrícola. La corrección del pH permitió obtener condiciones favorables para la colonización microbiana y la producción del biofertilizante.

El aislamiento del hongo se realizó exitosamente en medio PDA. Las colonias obtenidas presentaron las características morfológicas típicas de *T. harzianum*, encontrándose un crecimiento abundante producción de conidios.

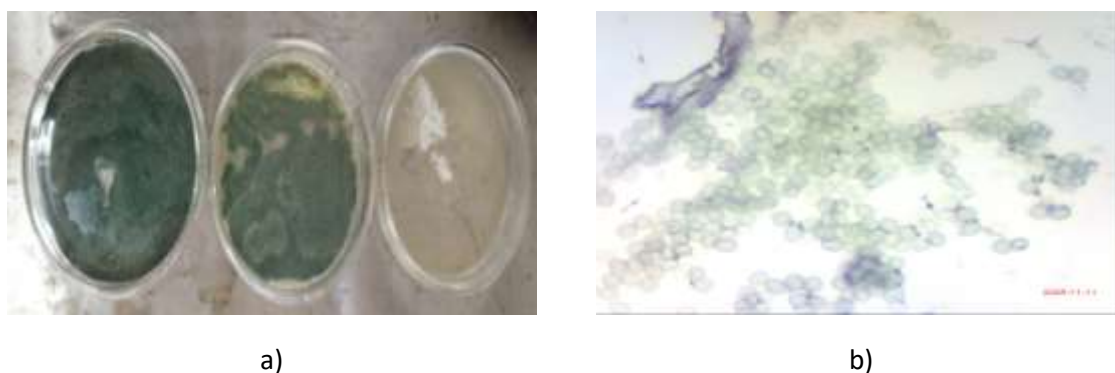


Figura 1. *Trichoderma harzianum* a) en placas Petri. b) en microscopio a 40X.

La Figura 1 muestra el crecimiento de *T. harzianum* en placas Petri y la observación microscópica de sus estructuras reproductivas. Estos resultados confirman la viabilidad del microorganismo y su potencial utilización en la formulación del biofertilizante. Estudios previos han señalado que esta especie posee capacidad para promover el crecimiento vegetal, mejorar la disponibilidad de nutrientes y actuar como agente de biocontrol [8], [12].

Evaluación experimental del biofertilizante

Con base en los resultados obtenidos durante la caracterización de la vinaza y el aislamiento del hongo, se estableció el diseño factorial 2^3 para evaluar el efecto del biofertilizante sobre el crecimiento de *Coriandrum sativum* L. Las combinaciones experimentales consideradas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Pruebas a realizar según el diseño experimental 2^3 .

Prueba	Tiempo (días)	Concentración (v/v %)	Tipo de fertilizante (biofertilizante comercial)
1	45	50	B
2	45	100	B
3	45	50	C
4	45	100	C
5	60	50	B
6	60	100	B
7	60	50	C

8	60	100	C
---	----	-----	---

El diseño experimental incluyó variaciones en el tiempo de cultivo, la concentración del biofertilizante y el tipo de fertilización. Cada tratamiento fue establecido con tres repeticiones independientes y un tratamiento control sin fertilización.

Se espera que la combinación entre los nutrientes presentes en la vinaza y la actividad biológica de *T. harzianum* favorezca el desarrollo del cultivo, reflejándose en incrementos significativos de las variables biométricas evaluadas, tales como altura de planta, longitud radicular, biomasa fresca y biomasa seca. La evaluación estadística de estas variables permitirá identificar los factores de mayor influencia y determinar las condiciones óptimas para la aplicación del biofertilizante.

Los resultados finales contribuirán a establecer la viabilidad agronómica de esta alternativa tecnológica y su potencial para promover el aprovechamiento sostenible de residuos de la industria ronera mediante estrategias de economía circular.

Conclusión

La caracterización fisicoquímica de la vinaza proveniente de la industria ronera evidenció la presencia de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, particularmente nitrógeno, potasio y calcio, confirmando su potencial como materia prima para la elaboración de biofertilizantes dentro de un enfoque de economía circular.

El ajuste del pH de la vinaza permitió generar condiciones adecuadas para el crecimiento de *Trichoderma harzianum*, logrando el aislamiento y establecimiento exitoso del microorganismo. Este resultado constituye un paso fundamental para la formulación de un biofertilizante con propiedades tanto nutricionales como biológicas, aprovechando la capacidad del hongo para promover el crecimiento vegetal y mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

La integración de vinaza y *Trichoderma harzianum* representa una estrategia prometedora para la valorización de residuos agroindustriales, contribuyendo simultáneamente a la reducción de los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de este efluente y al desarrollo de alternativas sostenibles para la fertilización agrícola.

Los resultados preliminares respaldan la viabilidad técnica de la formulación propuesta y proporcionan las bases para su evaluación agronómica en cultivos de interés comercial. La validación experimental permitirá determinar la eficacia del biofertilizante en términos de crecimiento vegetal y productividad, así como establecer las condiciones óptimas de aplicación.

Las investigaciones futuras deberán centrarse en la evaluación integral del biofertilizante sobre variables biométricas, fisiológicas y productivas de *Coriandrum sativum* bajo condiciones

controladas y de campo. Asimismo, será necesario analizar los cambios inducidos en las propiedades físicoquímicas y microbiológicas del suelo, así como la dinámica de disponibilidad de nutrientes después de la aplicación del producto.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Hacienda Santa Teresa (Aragua, Venezuela) por proporcionar las muestras de vinaza empleadas en esta investigación.

Contribución y autoría

M.A.R.: conceptualización, metodología, investigación, curación de datos, análisis formal, supervisión, administración del proyecto, redacción del borrador original, redacción, revisión y edición. **E.F.S.G.:** metodología, investigación, validación, curación de datos, análisis formal, visualización, redacción del borrador original, redacción, revisión y edición.

Todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito y aceptan la responsabilidad sobre su contenido.

Financiamiento

La presente investigación fue financiada por la Universidad Metropolitana (UNIMET), Caracas, Miranda, Venezuela, a través de su programa institucional de apoyo a la investigación científica.

Declaración ética

Esta investigación no involucró la participación de seres humanos ni animales vertebrados en ninguna de sus etapas experimentales. El estudio se desarrolló utilizando muestras de vinaza provenientes de un proceso industrial y microorganismos empleados con fines de investigación agrícola, cumpliendo con las normativas institucionales y los principios éticos aplicables a la investigación científica. Por lo tanto, no fue requerida la aprobación de un comité de ética para la ejecución de este trabajo.

Uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que no se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa ni tecnologías asistidas por IA en la preparación o redacción de este manuscrito. Todo el contenido, incluida la redacción, el análisis y la presentación de los resultados, fue producido de forma autónoma por los autores.

Disponibilidad de datos

Los datos utilizados en esta investigación están disponibles a través del autor de correspondencia, previa solicitud razonable.

Conflictos de intereses

Los autores manifiestan que no existen conflictos de intereses de índole financiera, personal o profesional que pudieran haber influido en los resultados o interpretaciones presentados en este artículo.

Referencias

- [1] J. C. De Carvalho *et al.*, «Agro-Industrial Wastewaters for Algal Biomass Production, Bio-Based Products, and Biofuels in a Circular Bioeconomy», *Fermentation*, vol. 8, n.º 12, p. 728, dic. 2022, doi: 10.3390/fermentation8120728.
- [2] D. Hernández *et al.*, «Recovering Apple Agro-Industrial Waste for Bioethanol and Vinasse Joint Production: Screening the Potential of Chile», *Fermentation*, vol. 7, n.º 4, p. 203, sep. 2021, doi: 10.3390/fermentation7040203.
- [3] B. G. Oliveira, J. L. N. Carvalho, M. F. Chagas, C. E. P. Cerri, C. C. Cerri, y B. J. Feigl, «Methane emissions from sugarcane vinasse storage and transportation systems: Comparison between open channels and tanks», *Atmos. Environ.*, vol. 159, pp. 135-146, jun. 2017, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.04.005.
- [4] A. Kannan y R. K. Upreti, «Influence of distillery effluent on germination and growth of mung bean (*Vigna radiata*) seeds», *J. Hazard. Mater.*, vol. 153, n.º 1-2, pp. 609-615, may 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.004.
- [5] V. M. Azevedo-Santos *et al.*, «An overview of vinasse pollution in aquatic ecosystems in Brazil», *Environ. Manage.*, vol. 74, n.º 6, pp. 1037-1044, dic. 2024, doi: 10.1007/s00267-024-01999-x.
- [6] M. A. Torres, A. L. Valdez, M. V. Angelicola, E. E. Raimondo, H. F. Pajot, y C. G. Nieto-Peñalver, «Vinasse as a substrate for inoculant culture and soil fertigation: Advancing the circular and green economy», *Sci. Total Environ.*, vol. 887, p. 164014, ago. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164014.

- [7] «Using the Organic and Bio-fertilizers as a Partial Substitute for Mineral-N in Williams Banana Orchards», *Assint J. Agric. Sci.*, vol. 47, n.º 3, pp. 34-46, jun. 2016, doi: 10.21608/ajas.2016.903.
- [8] X. Duan, C. Zou, Y. Jiang, X. Yu, y X. Ye, «Effects of Reduced Phosphate Fertilizer and Increased Trichoderma Application on the Growth, Yield, and Quality of Pepper», *Plants*, vol. 12, n.º 16, p. 2998, ago. 2023, doi: 10.3390/plants12162998.
- [9] X. Hang *et al.*, «Trichoderma-amended biofertilizer stimulates soil resident *Aspergillus* population for joint plant growth promotion», *Npj Biofilms Microbiomes*, vol. 8, n.º 1, p. 57, jul. 2022, doi: 10.1038/s41522-022-00321-z.
- [10] G. Özyazici, «Influence of Organic and Inorganic Fertilizers on Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Agronomic Traits, Essential Oil and Components under Semi-Arid Climate», *Agronomy*, vol. 11, n.º 7, p. 1427, jul. 2021, doi: 10.3390/agronomy11071427.
- [11] A. M. Otoyá Zelada, E. F. Haro Aro, L. I. Gutierrez Escarcena, y H. Solís Muñoz, *Vinaça. Evaluación de su impacto en un campo de cultivo*, 1.^a ed. Religación Press, 2023. doi: 10.46652/ReligacionPress.69.
- [12] Instituto de Cultivos Tropicales *et al.*, «Optimización de sustratos para la producción de conidias de trichoderma harzianum por fermentación sólida en la Region de san Martin Perú», *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 19, n.º 2, jun. 2017, doi: 10.18271/ria.2017.272.

Descargo de responsabilidad

Los artículos publicados en la revista **Saastal** representan únicamente las opiniones de los autores. La Editorial Unión Científica, su equipo editorial y sus revisores no se hacen responsables del contenido, las interpretaciones o las consecuencias derivadas de la aplicación de los métodos o conclusiones incluidas en los trabajos. Todas las publicaciones se rigen por las políticas éticas de la editorial.