

RESIDUO AGROINDUSTRIAL: VINAZA SUPLEMENTADA COMO FUENTE PROMISORIA PARA EL DESARROLLO DE MICROORGANISMOS

AGROINDUSTRIAL WASTE: SUPPLEMENTED VINEYARD AS A PROMISING SOURCE FOR THE DEVELOPMENT OF MICROORGANISMS

RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: VINHAÇA SUPLEMENTADA COMO FONTE PROMISSORA PARA O DESENVOLVIMENTO DE MICRORGANISMOS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n6-226>

Data de submissão: 18/05/2025

Data de publicação: 18/06/2025

Claudia Estela Barreto Gomez

Estudiante de Doctorado en Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN)
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS),
Unidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil
Correo electrónico: claudia.estelabarreto@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-6466-7408>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6905311261291556>

Maria do Socorro Mascarenhas

Doctor en Recursos Naturales por Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN)
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS),
Unidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil
Correo electrónico: maria_mascarenhas@outlook.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5343-4502>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3984651130316253>

Etenaldo Felipe Santiago

Docente en Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN)
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS),
Unidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil
Correo electrónico: felipe@uem.s
Orcid <https://orcid.org/0000-0001-6838-1098>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7554176856296746>

Margareth Batistote

Docente Senior en Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN)
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS),
Unidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil
Correo electrónico: margarethbatistote@gmail.com
Orcid <https://orcid.org/0000-0001-9865-2362>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2473361189009328>

RESUMEN

El uso de biomasa como fuente de energía ha aumentado, especialmente con el incremento en la producción mundial de biocombustibles. Brasil se ha consolidado como uno de los principales

productores, destacándose en la producción de etanol. Sin embargo, este crecimiento también ha resultado en la generación de mayores volúmenes de residuos, como la vinaza, un efluente líquido con alta concentración de materia orgánica, acidez y potencial contaminante, que puede impactar negativamente a los ecosistemas si no se maneja adecuadamente. Entre las alternativas para el tratamiento de este efluente, se destaca la biotransformación mediante el uso de microorganismos capaces de procesar y transformar residuos. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* se destaca por su versatilidad metabólica, siendo ampliamente aplicada en estos procesos. Este estudio evaluó el uso de vinaza suplementada como sustrato de cultivo para levadura, comparando su desempeño en medios sin suplementación y en medios suplementados con fuentes de carbono y nitrógeno, como peptona, granos secos de destilería (DDG) y melaza. La levadura fue inoculada en vinaza suplementada y cultivada a una temperatura de 30 °C, se monitoreó la viabilidad utilizando colorante azul de metileno y recuento en cámara de Neubauer, y se analizó por microscopio. Los resultados muestran que la vinaza suplementada fue capaz de mantener la tasa de viabilidad celular, destacándose los tratamientos con DDG y melaza, que presentaron una viabilidad acentuada y efectiva. La vinaza suplementada con melaza y los granos secos de destilería pueden optimizar y favorecer la producción de biomasa microbiana. Cabe resaltar que la búsqueda de nuevas tecnologías para el reaprovechamiento de la vinaza permite agregar valor al residuo, fortaleciendo la economía circular.

Palabras-chave: Valorización de residuos. Economía circular. Biotecnología industrial.

ABSTRACT

The use of biomass as an energy source has increased, especially with the rise in global biofuel production. Brazil has established itself as one of the main producers, especially in ethanol production. However, this growth has also resulted in the generation of larger volumes of waste, such as vinasse, a liquid effluent with a high concentration of organic matter, acidity, and potential pollution, which can negatively impact ecosystems if not properly managed. Among the alternatives for treating this effluent, biotransformation stands out, using microorganisms capable of processing and transforming waste. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* stands out for its metabolic versatility, being widely applied in these processes. This study evaluated the use of supplemented vinasse as a growth substrate for yeast, comparing its performance in unsupplemented media and in media supplemented with carbon and nitrogen sources, such as peptone, distillers dried grains (DDG), and molasses. The yeast was inoculated into supplemented vinasse and cultured at 30°C. Viability was monitored using methylene blue dye and Neubauer chamber counting, and analyzed by microscope. The results show that the supplemented vinasse was able to maintain the cell viability rate, with the treatments with DDG and molasses showing marked and effective viability. Vinasse supplemented with molasses and distillers' dried grains can optimize and promote microbial biomass production. It is worth noting that the search for new technologies for the reuse of vinasse allows for adding value to the waste, strengthening the circular economy.

Keywords: Waste recovery. Circular economy. Industrial biotechnology.

RESUMO

O uso de biomassa como fonte de energia aumentou, especialmente com o aumento da produção global de biocombustíveis. O Brasil se consolidou como um dos principais produtores, destacando-se na produção de etanol. Entretanto, esse crescimento também resultou na geração de maiores volumes de resíduos, como a vinhaça, um efluente líquido com alta concentração de matéria orgânica, acidez e potencial contaminação, que pode impactar negativamente os ecossistemas se não for gerenciado adequadamente. Dentre as alternativas para tratamento desse efluente, destaca-se a biotransformação, por meio da utilização de microrganismos capazes de processar e transformar os resíduos. A levedura

Saccharomyces cerevisiae destaca-se pela sua versatilidade metabólica, sendo amplamente aplicada nestes processos. Este estudo avaliou o uso de vinhaça suplementada como substrato de crescimento para levedura, comparando seu desempenho em meios não suplementados e em meios suplementados com fontes de carbono e nitrogênio, como peptona, grãos secos de destilaria (DDG) e melaço. A levedura foi inoculada em vinhaça suplementada e cultivada a uma temperatura de 30°C, a viabilidade foi monitorada usando corante azul de metileno e contagem em câmara de Neubauer e analisada por microscópio. Os resultados demonstram que a vinhaça suplementada foi capaz de manter a taxa de viabilidade celular, sendo os tratamentos com DDG e melaço particularmente eficazes, apresentando uma viabilidade acentuada e efetiva. A vinhaça suplementada com melaço e grãos secos de destilaria pode otimizar e promover a produção de biomassa microbiana. Vale destacar que a busca por novas tecnologias para o reaproveitamento da vinhaça permite agregar valor ao resíduo, fortalecendo a economia circular.

Keywords: Valorização de resíduos. Economia circular. Biotecnologia industrial.

1 INTRODUCCIÓN

La creciente demanda global de fuentes de energía renovable, impulsada por los desafíos ambientales y la búsqueda de prácticas sostenibles, ha estimulado el incremento en la producción de biocombustibles en diversos países. Brasil, en particular, ocupa una posición destacada como el segundo mayor productor mundial de etanol, gracias al avance tecnológico aplicado tanto en el cultivo de la caña de azúcar como en los procesos industriales (De Moraes Filho et al., 2023). Este escenario ha permitido al país sustituir de manera significativa los combustibles fósiles, contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, la producción intensiva de etanol también genera impactos ambientales relevantes, especialmente por la generación de grandes volúmenes de vinaza, un subproducto líquido resultante de la fermentación y destilación de la caña de azúcar. Por cada litro de etanol producido, se generan entre 10 y 12 litros de vinaza. Se estima que, en Brasil, este volumen supera los 360 mil millones de litros por año (Klein et al., 2019), lo que representa un desafío considerable en términos de manejo y disposición adecuada.

La vinaza es considerada un residuo con una elevada carga contaminante. Presenta altos niveles de materia orgánica disuelta y particulada, valores elevados de demanda bioquímica de oxígeno (DBO: 7.000 a 20.000 mg.L⁻¹) y demanda química de oxígeno (DQO: 50.000 a 150.000 mg.L⁻¹), además de un pH ácido (entre 3,7 y 5,0), coloración oscura, alta turbidez y una significativa concentración de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (Silva et al., 2020). Estas características convierten a la vinaza en un residuo complejo y potencialmente tóxico para el medio ambiente, especialmente cuando es desecharo de forma inadecuada.

Debido a la creciente demanda de energía y a la expansión de la producción de etanol a gran escala, se vuelve esencial el desarrollo de alternativas tecnológicas para la gestión eficiente de residuos como la vinaza. Una de estas alternativas es la bioconversión, proceso que consiste en transformar residuos en productos de valor agregado mediante el uso de microrganismos. Esta estrategia ha sido estudiada con el objetivo de reducir los impactos ambientales y, simultáneamente, aportar valor económico al residuo.

Diversas estrategias han sido exploradas para la reutilización de la vinaza, incluyendo su aplicación en fertirrigación, la producción de proteínas mediante levaduras unicelulares, la generación de biogás, la fabricación de bioplásticos, su aprovechamiento en procesos fermentativos, la formulación de biofertilizantes y su uso como materia prima para la alimentación animal (Carpanez et al., 2022). Sin embargo, a pesar del potencial de estas aplicaciones, persisten numerosos desafíos en cuanto al uso sostenible de la vinaza, principalmente debido a los altos volúmenes generados y a

la falta de tecnologías suficientemente eficaces para su tratamiento. El desequilibrio entre la producción y el aprovechamiento de este residuo conlleva implicaciones económicas y ecológicas significativas para el sector sucroenergético (Karp et al., 2021).

En este contexto, la utilización de microorganismos, especialmente levaduras, se ha mostrado como una alternativa prometedora para el aprovechamiento biotecnológico de la vinaza. Los microorganismos son capaces de metabolizar compuestos orgánicos complejos en condiciones controladas, convirtiéndolos en productos útiles como enzimas, biomasa, ácidos orgánicos y proteínas (Bajić et al., 2022). Este tipo de fermentación microbiana, además de transformar residuos industriales y agroalimentarios, contribuye a la construcción de una economía circular, en la cual los residuos son reintegrados a los ciclos de la cadena productiva.

Las levaduras, por su parte, se destacan como herramientas que pueden ser eficaces en este proceso. Son organismos de rápido crecimiento, alta densidad celular y baja exigencia nutricional, pudiendo cultivarse con eficiencia en medios alternativos como la vinaza. Levaduras como *Kluyveromyces marxianus*, *Yarrowia lipolytica*, *Pichia pastoris* y *Saccharomyces cerevisiae* han sido ampliamente utilizadas en procesos de valorización de residuos debido a su capacidad para utilizar una gran variedad de sustratos (De Souza Almeida; Do Nascimento, 2021). Estos microorganismos son capaces de producir compuestos de alto valor agregado, como proteínas de célula única (SCP), lípidos microbianos, biodiésel, enzimas y metabolitos con aplicaciones industriales y alimentarias.

Las proteínas de célula única, por ejemplo, son producidas a partir de cultivos puros o mixtos de microrganismos como levaduras, algas, hongos y bacterias, y han sido investigadas como una fuente alternativa de proteínas, especialmente para la alimentación animal. Estos productos presentan un alto contenido proteico, son de fácil producción, económicamente viables y ambientalmente sostenibles (Koukoumaki et al., 2024). Ante este panorama, la vinaza, cuando es correctamente aprovechada, puede dejar de ser un pasivo ambiental y convertirse en una fuente rica en nutrientes, con potencial para la producción de biomasa microbiana y compuestos bioactivos. Su uso estratégico no solo contribuye a mitigar los impactos ambientales asociados a la industria sucroenergética, sino que también puede abrir el camino para el desarrollo de nuevas cadenas productivas basadas en la valorización de residuos, retroalimentando así la cadena productiva y fomentando la economía circular.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo investigar los procesos de obtención de la vinaza, así como los microrganismos implicados en su degradación. Además, se buscó evaluar el desempeño de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en cuanto a la tasa de viabilidad celular en medios que contienen vinaza in natura y vinaza suplementada con fuentes de carbono y nitrógeno, con

vistas a un aprovechamiento sostenible de este subproducto, en consonancia con los principios de la economía circular y la innovación ambiental.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 LOCAL DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología, Bioquímica y Biotransformación del Centro de Estudios de Recursos Naturales (CERNA) de la Universidad del Estado de Mato Grosso do Sul, en Dourados, MS, Brasil.

2.2 PRODUCCIÓN DE VINAZA, MICROORGANISMOS IMPLICADOS PARA SU DEGRADACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Se realizó una revisión bibliográfica mediante búsquedas en bases de datos como Google Scholar, enfocándose en los procesos de producción de vinaza, los microrganismos involucrados en su degradación y su composición fisicoquímica. Se seleccionaron artículos publicados en los últimos diez años, en portugués e inglés. Los criterios de inclusión contemplaron estudios que abordaran directamente la producción de vinaza y/o el uso de microrganismos en su degradación biológica. Como estrategia de búsqueda se utilizaron términos como “vinaza”, “vinasse”, “producción”, “degradación microbiana”, “biodegradación”, “microrganismos” y “tratamiento biológico”, combinados con operadores booleanos. Tras la lectura de los artículos, los estudios considerados relevantes se analizaron íntegramente, permitiendo identificar los principales métodos de generación de vinaza en el contexto industrial y los grupos microbianos más comúnmente asociados a su descomposición, con énfasis en hongos, bacterias y levaduras de interés biotecnológico.

2.3 OBTENCIÓN DE LA VINAZA

La vinaza fue gentilmente proporcionada por una usina de la región de Grande Dourados, Brasil, durante la zafra de 2024. El residuo se recolectó a una temperatura de 95 °C y se transportó en un recipiente estéril de 20 litros al Laboratorio de Biotecnología, Bioquímica y Biotransformación. Posteriormente, el residuo fue filtrado, centrifugado y esterilizado en autoclave a 120 °C durante 20 minutos.

2.4 MICRORGANISMO UTILIZADO

En este estudio se utilizó la cepa de levadura *Saccharomyces cerevisiae* Fleischmann®, adquirida en un establecimiento comercial de la ciudad de Dourados, MS, Brasil.

2.5 CONDICIONES EXPERIMENTALES

2.5.1 Preinóculo

Para la preparación del preinóculo se utilizó medio líquido YPD al 2 %, compuesto por: 1,0 % de extracto de levadura; 1,0 % de peptona; 2,0 % de glucosa, con pH ajustado a 5,0 con NaCl 1N, y esterilizado en autoclave a 120 °C durante 20 minutos. Se inocularon 0,10 g de levaduras liofilizadas, solubilizadas en 1,0 mL de solución salina estéril (0,85 %). Los frascos se incubaron durante 24 horas a 30 °C con agitación de 250 rpm. Tras el crecimiento, las células se recolectaron y centrifugaron (800 x g, 20 minutos), luego se suspendieron y lavaron tres veces consecutivas con solución salina estéril (0,85 %). La biomasa obtenida se inoculó en vinaza suplementada con fuente de carbono (melazo) y fuente de nitrógeno (peptona y granos secos de destilería - DDG), conforme a las siguientes condiciones experimentales:

- 25 mL de vinaza (V)
- 25 mL de vinaza + 25 mL de agua + 1 g de peptona (V + P)
- 25 mL de vinaza + 25 mL de agua + 1 g de DDG (V + DDG)
- 25 mL de vinaza + 25 mL de agua + 1 g de peptona + 2 g de melazo (V + P + M)
- 25 mL de vinaza + 25 mL de agua + 1 g de DDG + 2 g de melazo (V + DDG + M)

2.5.2 Condiciones de cultivo

Las células de levadura se cultivaron bajo las condiciones descritas anteriormente, en matraces Erlenmeyer de 125 mL que contenían 50 mL de vinaza, a una temperatura de 30 °C y con agitación a 200 rpm. Se tomaron muestras para análisis en los tiempos de 8, 16 y 24 horas.

2.5.3 Tasa de viabilidad

El análisis de la tasa de viabilidad se realizó utilizando el colorante azul de metileno y recuento en cámara de Neubauer mediante microscopía óptica, conforme a la metodología descrita por Lee Robinson e Wang (1981).

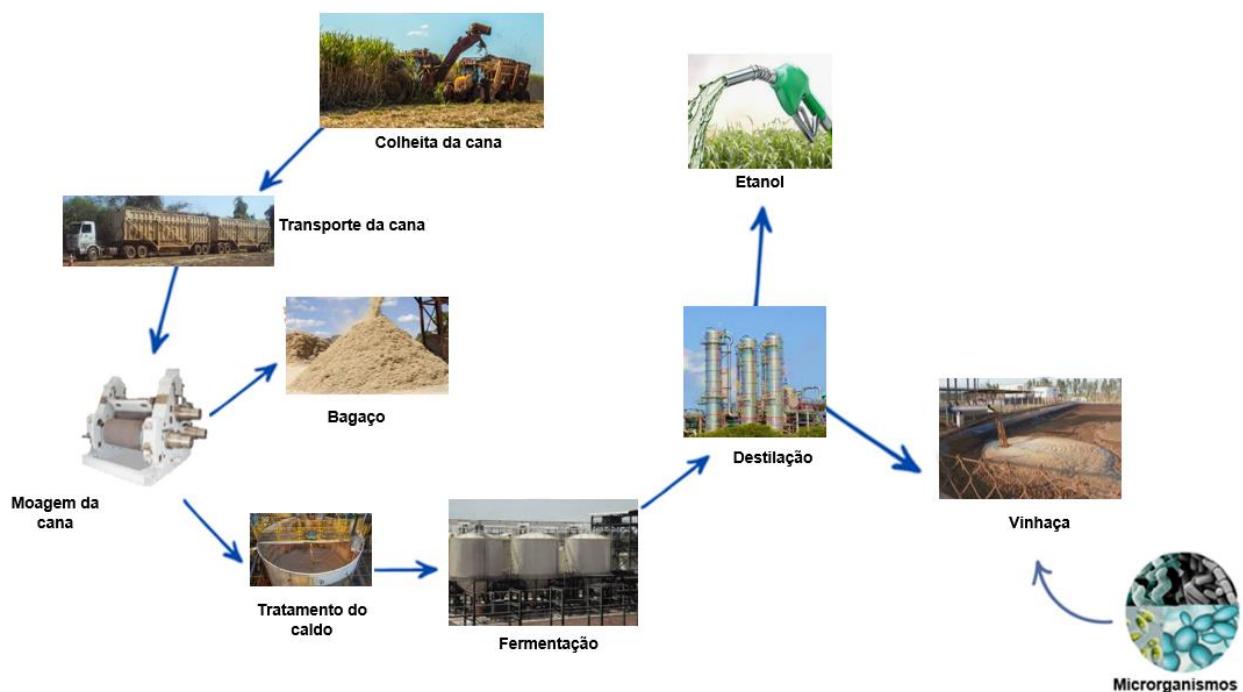
2.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los experimentos se llevaron a cabo de manera independiente con tres ensayos, cada uno realizado por triplicado. Los datos se analizaron con el software Excel 2019 y se presentan como media ± desviación estándar.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La industria sucroenergética genera residuos durante el proceso de producción de etanol, entre los cuales destaca la vinaza. Las etapas del proceso productivo del etanol a partir de la caña de azúcar comienzan con la cosecha y el transporte de la caña, que posteriormente se somete a molienda para la extracción del jugo. Este jugo se utiliza en la fermentación, proceso en el que se emplean levaduras *Saccharomyces cerevisiae*. Tras la fermentación, el caldo fermentado es enviado a la destilación, etapa en la que se separa el etanol del resto de los compuestos líquidos. Es en este momento cuando se genera la vinaza, un efluente de gran volumen que se caracteriza por su pH ácido, alta carga orgánica, significativa concentración de sales y presencia potencial de compuestos tóxicos (Figura 1). Sin embargo, ciertos microrganismos son capaces de degradar este residuo y transformarlo en productos de valor agregado, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y promoviendo la economía circular dentro de este importante sector industrial.

Figura 1. Etapas de obtención de la vinaza y microrganismos implicados en el proceso de degradación.



Aunque la vinaza es considerada un residuo industrial, también puede aprovecharse como fertilizante agrícola debido a su riqueza en potasio, materia orgánica y otros nutrientes. No obstante, su aplicación indiscriminada en el suelo puede generar efectos ambientales negativos, como la contaminación de acuíferos, la acidificación del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero. Para mitigar estos impactos, resulta fundamental la implementación de tecnologías de tratamiento

biológico que involucren la acción de microrganismos capaces de degradar la materia orgánica presente en la vinaza.

El tratamiento de la vinaza puede llevarse a cabo mediante procesos aeróbicos o anaeróbicos, siendo este último frecuentemente utilizado para la producción de biogás, lo que favorece el aprovechamiento energético del residuo (Junior et al., 2022; Dayrell et al., 2024). Alternativamente, la vinaza puede emplearse en procesos biotecnológicos orientados a la producción de biomasa microbiana, enzimas industriales o biosurfactantes (Rivero et al., 2022). La integración entre la producción de etanol, el reaprovechamiento de la vinaza y el uso de microrganismos degradadores representa una estrategia prometedora (Bajić et al., 2022), en consonancia con los conceptos de bioeconomía y economía circular, contribuyendo a la sostenibilidad de la cadena productiva y a la mitigación de los impactos ambientales asociados a la agroindustria de la caña de azúcar.

Se estima que, por cada litro de etanol producido, se generan entre 10 y 15 litros de vinaza, aunque este volumen puede variar dependiendo de la eficiencia del proceso y del uso de sistemas de recirculación (Carrilho; Labuto; Kamogawa, 2016). Debido a la significativa cantidad generada y a su composición rica en materia orgánica, la vinaza ha sido estudiada como un sustrato para la producción de fertilizantes, biogás, medios de cultivo para microrganismos y la obtención de proteínas unicelulares, una fuente prometedora y rica en proteínas, de fácil obtención y aplicable en diversos procesos biotecnológicos (Montiel-Rosales et al., 2022).

Diversos grupos microbianos, incluyendo bacterias, hongos filamentosos e incluso levaduras, han demostrado capacidad para metabolizar compuestos complejos presentes en la vinaza. Estos microrganismos actúan mediante enzimas extracelulares que degradan moléculas orgánicas, promoviendo la reducción de la carga contaminante. El uso de consorcios microbianos ha mostrado ser particularmente eficaz, debido a la complementariedad metabólica entre diferentes especies, lo que potencia la eficiencia del proceso de degradación. Entre los microrganismos con alto potencial para la producción de proteínas, se observan variaciones en el contenido proteico y en sus aplicaciones biotecnológicas: las bacterias presentan los mayores contenidos (hasta un 80 %), seguidas por las microalgas (60–70 %), las levaduras (30–52 %) y los hongos filamentosos (25–33 %) (Tabla 1).

Tabla 1 - Microrganismos capaces de producir proteínas utilizando vinaza.

Microrganismo	Especies microorganismos más utilizadas	Contenido de proteína (%)	Referencia
Microalga	<i>Arthrosphaera platensis</i> , <i>Arthrosphaera maxima (Spirulina)</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Nannochloropsis oculata</i> , <i>Porphyridium cruentum</i>	60 a 70	Ritala et al. (2017) Nyyssölä et al. (2022) Jones et al. (2020)
Bacteria	<i>Methylococcus capsulatus</i> ; <i>Methylophilus methylotrophus</i> <i>Rhodobacter capsulatus</i>	50 a 80	Zha et al. (2021). Khoshnevisan et al. (2019) Zhu et al. (2022)
Levadura	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Candida utilis</i> , <i>Candida krusei</i> <i>Kluyveromyces marxianus</i> <i>Yarrowia lipolytica</i>	30 a 52	Gamboa-Delgado, Márquez-Reyes; Godínez-Siordia (2023); Bertasini et al. (2022); Szabó et al. (2021) Zieniuk & Fabiszewska, (2019)
Hongo	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Trichoderma reesi</i> <i>Fusarium venenatum</i> <i>Paecilomyces variotii</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>Penicillium citrinum</i> ,	25 a 33	Lübeck;Lübeck, (2022) Razzaq et al. (2020) Ibarruri; Cebrián; Hernández (2021) Bajić et al. (2022)

Fuente: Adaptada por los autores.

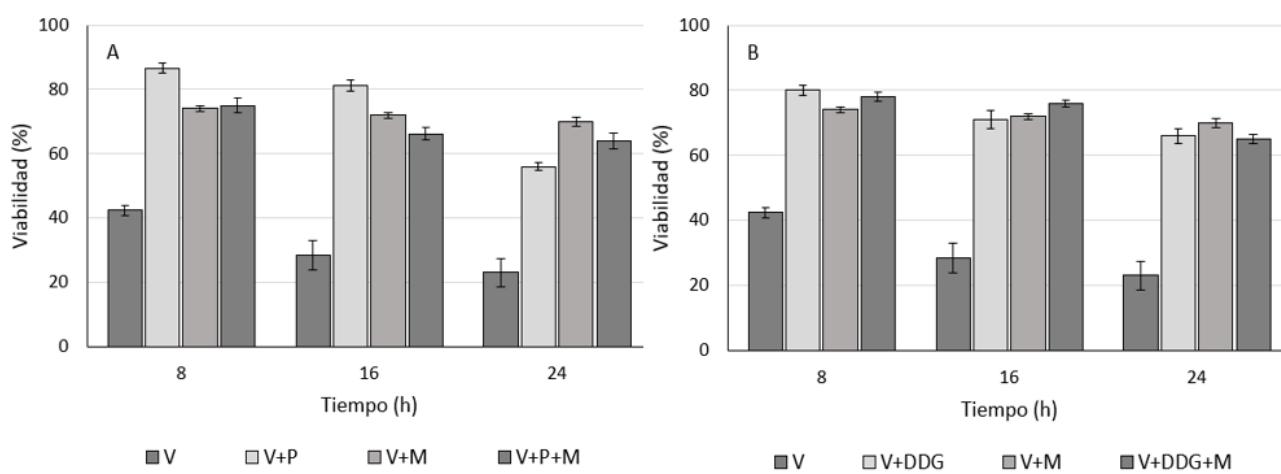
Además del contenido proteico, factores como la viabilidad del cultivo, el tipo de sustrato, el costo y la finalidad del uso influyen en la elección del microrganismo. Estos organismos ofrecen alternativas sostenibles frente a la producción tradicional de proteínas, y el uso de la vinaza como sustrato permite una mayor eficiencia productiva y un menor impacto ambiental. A pesar de los desafíos regulatorios y de aceptación, su utilización se alinea con las estrategias de bioeconomía y seguridad alimentaria.

De acuerdo con Bajić et al. (2022) e Ibarruri; Cebrián; Hernández (2021), microrganismos como microalgas, bacterias, levaduras y hongos filamentosos se han destacado como fuentes alternativas de proteínas, con gran potencial de aplicación en diferentes sectores, incluyendo la alimentación humana, la nutrición animal y la biotecnología. Estos organismos presentan contenidos proteicos variables y pueden cultivarse de manera eficiente en distintos tipos de sustratos, incluidos los residuos agroindustriales, lo que favorece prácticas sostenibles y fortalece la economía circular. De este modo, se resalta que la utilización de estos microrganismos representa una alternativa

prometedora a la producción convencional de proteínas, con ventajas como la reducción del impacto ambiental, el aprovechamiento de subproductos industriales y la posibilidad de producción a gran escala, atendiendo a la creciente demanda global por fuentes de proteínas más sostenibles.

En el análisis de viabilidad utilizando vinaza como sustrato para *Saccharomyces cerevisiae*, se observó que la vinaza in natura (V) resultó en la menor viabilidad celular (alrededor del 42%) con una disminución a lo largo del tiempo, evidenciando sus limitaciones nutricionales. En cambio, los tratamientos con vinaza suplementada con peptona (V+P), melaza (V+M) y ambos (V+P+M) presentaron cerca del 70% de viabilidad tras 8 horas de fermentación, destacándose V+M y V+P+M. Después de 16 horas, estos tratamientos mantuvieron viabilidades entre el 60% y el 80%, siendo V+P+M el más eficientes, lo que indica una sinergia entre carbono y nitrógeno. A las 24 horas, las viabilidades cayeron a un rango del 50% al 70%, pero V+P+M se mantuvo más estable. La suplementación con granos secos de destilería (DDG) también fue eficaz: V+DDG y V+DDG+M alcanzaron casi el 80% de viabilidad en 8 horas de fermentación. A pesar de una leve pérdida de viabilidad, V+DDG+M mantuvo cerca del 70% de viabilidad después de 24 horas (Figura 1A y 1B). Así, la combinación de melaza y peptona o DDG mejora la viabilidad de la levadura a lo largo del tiempo. Entre los tratamientos, V+P+M y V+DDG+M se destacaron; sin embargo, el DDG puede ser una alternativa viable y sostenible, que demostró mantener la viabilidad celular de la levadura, y este residuo puede ser un fuerte aliado de la economía circular.

Figura 2. Evaluación de la viabilidad celular de la levadura Fleischmann cultivada en vinaza bajo diferentes tratamientos: vinaza pura (V), vinaza + peptona (V+P), vinaza + melazo (V+M), vinaza + peptona + melazo (V+P+M) y vinaza + granos secos de destilería (DDG) + melazo (V+DDG+M), a lo largo de diferentes tiempos de cultivo.



Una de las alternativas prometedoras consiste en la suplementación de la vinaza con otros subproductos residuales de alto valor nutricional, como el melazo y los granos secos de destilería (DDG), con el objetivo de su aprovechamiento en la producción de biomasa microbiana o productos

de valor agregado. El melazo, subproducto de la industria sucroenergética, está compuesto predominantemente por azúcares simples como sacarosa, fructosa y glucosa (Khairul et al., 2022), siendo ampliamente utilizado como fuente de carbono en procesos fermentativos. Por su parte, los granos secos de destilería, derivados de la producción de etanol a partir del maíz, presentan una composición rica en proteínas (15 a 30 %), lípidos (alrededor del 25 %), fibras, péptidos bioactivos, compuestos fenólicos y otros nutrientes esenciales (Dong et al., 2025). Debido a esta composición, el DDG se ha destacado como una materia prima con aplicaciones potenciales en los sectores alimentario, biomédico y ambiental, con una demanda creciente en el mercado global (Athanasios et al., 2024).

En este estudio, la suplementación de la vinaza con granos secos de destilería (DDG) mostró resultados significativos, promoviendo una elevada viabilidad celular de la levadura Fleischmann, especialmente cuando se combinó con melazo. La combinación de estos dos suplementos resultó eficaz en el suministro de nutrientes esenciales, destacándose por su capacidad de sostener el crecimiento microbiano a lo largo del tiempo. Estos resultados evidencian la importancia de seleccionar adecuadamente los sustratos que satisfagan las necesidades nutricionales del metabolismo microbiano, con énfasis en el equilibrio entre las fuentes de carbono y nitrógeno. La proporción adecuada entre estos elementos es crucial para optimizar la multiplicación celular y la producción de biomasa (Rajput; Pandey; Sahu, 2014).

En este contexto, la suplementación de la vinaza con fuentes complementarias como la melaza, rica en azúcares simples, y el DDG, con alto contenido proteico, se configura como una estrategia eficiente para el reaprovechamiento de residuos agroindustriales. El uso del DDG se destaca no solo por su composición nutricional rica en proteínas y compuestos bioactivos, sino también por su bajo costo en comparación con la peptona, que, a pesar de ser un suplemento ampliamente utilizado en medios de cultivo microbiológicos, posee un alto valor comercial. La sustitución de la peptona por el DDG en procesos fermentativos con reutilización de vinaza contribuye a la reducción de costos operativos, al tiempo que promueve la valorización de residuos agroindustriales de diferentes cadenas productivas, como la del maíz y la de la caña de azúcar.

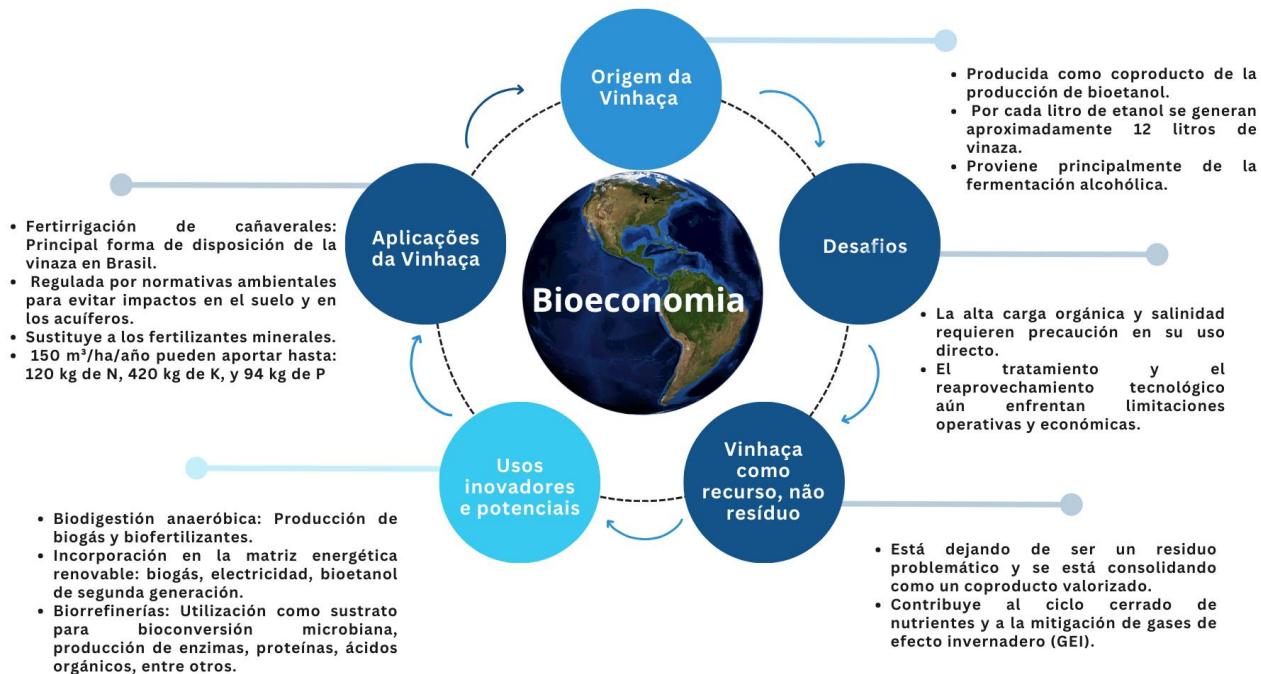
Específicamente, la reutilización de vinaza suplementada con DDG puede impulsar el avance de políticas públicas y prácticas agrícolas alineadas con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 (ODS 2), que busca acabar con el hambre y promover la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible, al fomentar sistemas productivos más resilientes, eficientes y menos dependientes de insumos externos (Mollier et al., 2017).

La vinaza es un residuo de composición compleja, generado en grandes volúmenes durante el proceso de producción de etanol, y presenta una elevada carga orgánica y potencial tóxico (Carpanez et al., 2022). Estos autores destacan que, desde el punto de vista ambiental, este residuo es considerado un efluente altamente contaminante, capaz de causar impactos significativos en distintos ecosistemas cuando es desechado de forma inadecuada. En este contexto, la búsqueda de estrategias que favorezcan su reutilización de manera segura y eficiente se vuelve esencial, especialmente dentro de enfoques alineados con la bioeconomía y la sostenibilidad.

Durante el proceso de producción de etanol a partir de la caña de azúcar y del maíz, se generan grandes cantidades de subproductos que pueden ser convertidos en productos de valor agregado. Con destaque para la vinaza, es fundamental implementar soluciones innovadoras que reintegren residuos y subproductos al ciclo de producción del sector sucroenergético, generando nuevos productos de calidad (Figura 3). La vinaza, como residuo de la producción de etanol, puede reutilizarse de diversas maneras: en la fertirrigación del suelo debido a su alta concentración de nutrientes; en la biodigestión, con la producción de biogás y biofertilizantes; en la producción de proteínas de célula única mediante la acción de microorganismos; y en la obtención de compuestos farmacéuticos. Sin embargo, este residuo ha dejado de ser considerado un compuesto tóxico, y cuando es empleado de forma adecuada, puede considerarse una alternativa con potencial alineada a la economía circular. Este enfoque está fuertemente alineado con los principios de la bioeconomía, al integrar residuos en procesos biotecnológicos.

Se trata de una estrategia que amplía la circularidad de los sistemas agroindustriales, estimula la innovación sostenible y fomenta el uso eficiente de los recursos naturales (Shah; Wever; Espig, 2025). Además, esta práctica contribuye al cumplimiento de las metas globales de desarrollo sostenible establecidas en la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015). Simultáneamente, esta estrategia está vinculada al ODS 12, que aborda el consumo y la producción responsables, al transformar residuos en recursos valiosos, reducir desperdicios y estimular cadenas productivas de bajo impacto ambiental. De esta manera, la integración entre innovación tecnológica, sostenibilidad económica y gestión de residuos agroindustriales se convierte en un pilar fundamental para promover transformaciones sistémicas hacia una bioeconomía de base circular y regenerativa.

Figura 3. Numerosas aplicaciones de la vinaza: un residuo con potencial orientado a la economía circular.



4 CONSIDERACIONES GENERALES

La vinaza, residuo generado en gran volumen durante la producción de etanol, posee características que permiten su reprovechamiento agrícola y biotecnológico. Sin embargo, su uso indiscriminado puede causar impactos ambientales, por lo que es necesario un tratamiento adecuado. Además, el empleo de la vinaza como sustrato en procesos biotecnológicos, como la producción de biomasa microbiana y bioproductos, representa una alternativa prometedora dentro de la bioeconomía.

Microorganismos degradadores, aislados o en consorcios, han demostrado ser eficaces en la reducción de la carga orgánica de residuos agroindustriales, transformándolos en productos de valor agregado. La suplementación de la vinaza con melaza y peptona, así como con melaza y granos secos de destilería, mostró ser eficiente para el mantenimiento de la viabilidad celular de la levadura Fleischmann. La búsqueda de soluciones tecnológicas aplicadas a la vinaza es necesaria con el objetivo de optimizar el uso de este residuo, especialmente en el contexto de la economía circular y la sostenibilidad ambiental.

La suplementación de la vinaza con fuentes de carbono y nitrógeno, como melaza y DDG, demostró mejoras efectivas en la viabilidad celular de la levadura, destacándose la combinación DDG + melaza por su eficiencia y viabilidad económica. La incorporación de estos residuos a la cadena productiva de la caña de azúcar y del maíz favorece la adopción de prácticas alineadas con la economía

circular, ampliando el potencial de uso de insumos de bajo costo y promoviendo una transición hacia modelos productivos más limpios e integrados.

Esta estrategia promueve la valorización de residuos agroindustriales, favorece la economía circular y contribuye al cumplimiento de metas de sostenibilidad como los ODS 2 y 12, al transformar subproductos en recursos valiosos y apoyar sistemas productivos más sostenibles. Este enfoque contribuye no solo a mitigar los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de la vinaza, sino también a fomentar el desarrollo de tecnologías sostenibles orientadas a la valorización de subproductos.

AGRADECIMIENTOS

El Programa de Becas Brasil PAEC OEA-GCUB es resultado de la cooperación entre el Grupo de Cooperación Internacional de Universidades Brasileñas (GCUB) y la Organización de los Estados Americanos (OEA), con el apoyo de la División de Temas Educativos y de la Lengua Portuguesa del Ministerio de Relaciones Exteriores de Brasil (DELP/MRE) y de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS); de la Dirección de Relaciones Internacionales (DRI) de la Universidad Estatal de Mato Grosso do Sul (UEMS); del Programa de Posgrado en Recursos Naturales (PGRN); de la Fundación de Apoyo al Desarrollo de la Enseñanza, Ciencia y Tecnología del Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT); de la Financiadora de Innovación y Investigación (FINEP); del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq); y de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES).

REFERENCIAS

- ATHANASIOU, Panagiotis et al. Global Coastal Characteristics (GCC): a global dataset of geophysical, hydrodynamic, and socioeconomic coastal indicators. *Earth System Science Data*, v. 16, n. 7, p. 3433-3452, 2024.
- BAJIĆ, Bojana et al. Biotechnological production of sustainable microbial proteins from agro-industrial residues and by-products. *Foods*, v. 12, n. 1, p. 107, 2022.
- BERTASINI, Davide et al. Single cell proteins production from food processing effluents and digestate. *Chemosphere*, v. 296, p. 134076, 2022.
- CARPANEZ, T. G. et al. Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks. *Science of The Total Environment*, v. 832, p. 154998, 2022.
- CARRILHO, E. N. V. M.; LABUTO, G.; KAMOGAWA, Marcos Yassuo. Destination of vinasse, a residue from alcohol industry: Resource recovery and prevention of pollution. In: Environmental materials and waste. Academic Press, 2016. p. 21-43.
- COLGLAZIER, William. Sustainable development agenda: 2030. *Science*, v. 349, n. 6252, p. 1048-1050, 2015.
- DAYRELL, L. R. et al. Reuse of by-products from the sugar and alcohol sector for biogas production. *Journal of Green Energy Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jger>, 2024.
- DE MORAES FILHO, Rodolfo Araújo et al. Projeto de desenvolvimento territorial: caso do APL-Biodiesel de Pesqueira/PE. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, v. 9, n. 2, p. 804-828, 2023.
- DE SOUZA ALMEIDA, Cássio; DO NASCIMENTO, Daniela Defávari. Revisão: leveduras utilizadas na produção de etanol de segunda geração. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, v. 11, n. 1, p. 99-119, 2021.
- DONG, Bin et al. Active ingredients in waste of distillers' grains and their resource utilization. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, p. 1-25, 2025.
- GAMBOA-DELGADO, Julián; MÁRQUEZ-REYES, Julia Mariana; GODÍNEZ-SIORDIA, Daniel Enrique. Upscaling the production of microorganisms as a source of sustainable, high biological value proteins. *Ciencia ergo sum*, v. 30, n. 3, 2023.
- IBARRURI, Jone; CEBRIÁN, Marta; HERNÁNDEZ, Igor. Valorisation of fruit and vegetable discards by fungal submerged and solid-state fermentation for alternative feed ingredients production. *Journal of Environmental Management*, v. 281, p. 111901, 2021.
- JONES, Shawn W. et al. Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current opinion in biotechnology*, v. 61, p. 189-197, 2020.

JUNIOR, Antônio Djalma Nunes Ferraz et al. Advancing anaerobic digestion of sugarcane vinasse: Current development, struggles and future trends on production and end-uses of biogas in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 157, p. 112045, 2022.

KARP, Susan G., et al. Bioeconomy and biofuels: the case of sugarcane ethanol in Brazil. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2021, vol. 15, no 3, p. 899-912.

KHAIRUL, Shafiqah-Atiqah Mohd et al. The proximate composition and metabolite profiling of sugarcane (*Saccharum officinarum*) molasses. *Malaysian Applied Biology*, v. 51, n. 2, p. 63-68, 2022.

KHOSHNEVAN, Benyamin et al. Urban biowaste valorization by coupling anaerobic digestion and single cell protein production. *Bioresource technology*, v. 290, p. 121743, 2019.

KLEIN, Bruno Colling et al. Beyond ethanol, sugar, and electricity: a critical review of product diversification in Brazilian sugarcane mills. *Biofuels. Bioproducts and Biorefining*, v. 13, n. 3, p. 809-821, 2019.

KOUKOUMAKI, Danai Ioanna et al. Recent advances in the production of single cell protein from renewable resources and applications. *Carbon Resources Conversion*, v. 7, n. 2, p. 100195, 2024.

LEE, S. S.; ROBINSON, F. M.; WANG, Henry Y. Rapid determination of yeast viability. In: *Biotechnol. Bioeng. Symp.*;(United States). Univ. of Michigan, Ann Arbor, 1981.

LEITE, Rhaony Gonçalves. Uso de DDGS na suplementação protéico energética em bovinos em pastejo na estação chuvosa. 2018. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.

LOPES, Mario Lucio, et al. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2016, vol. 47, p. 64-76.

LÜBECK, Mette; LÜBECK, Peter Stephensen. Fungal cell factories for efficient and sustainable production of proteins and peptides. *Microorganisms*, v. 10, n. 4, p. 753, 2022.

MIKUCKA, Wioleta; ZIELIŃSKA, Magdalena. Distillery stillage: characteristics, treatment, and valorization. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 192, p. 770-793, 2020.

MOLLIER, Ludovic et al. End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture: SDG 2. A guide to SDG interactions: From science to implementation, 2017.

MONTIEL-ROSALES, Aaron et al. Post-industrial use of sugarcane ethanol vinasse: A systematic review. *Sustainability*, v. 14, n. 18, p. 11635, 2022.

NYYSSÖLÄ, Antti et al. The role of single cell protein in cellular agriculture. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 75, p. 102686, 2022.

RAJPUT, Sharda Devi; PANDEY, Neha; SAHU, Keshavkant. A comprehensive report on valorization of waste to single cell protein: strategies, challenges, and future prospects. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, n. 18, p. 26378-26414, 2024.

RAZZAQ, Zafar Ullah et al. Characterization of single cell protein from *Saccharomyces cerevisiae* for nutritional, functional and antioxidant properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v. 14, p. 2520-2528, 2020.

RITALA, Anneli et al. Single cell protein—state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in microbiology*, v. 8, p. 2009, 2017.

RIVERO, Mariano et al. High throughput screening of the potential biosurfactants production by extremophiles isolated from vinasse and black liquor. *Results in Engineering*, v. 15, p. 100587, 2022.

SHAH, Munir; WEVER, Mark; ESPIG, Martin. A Framework for Assessing the Potential of Artificial Intelligence in the Circular Bioeconomy. *Sustainability*, v. 17, n. 8, p. 3535, 2025.

SILVA, Ana Flávia Rezende et al. Influence of COD/SO₄2- ratio on vinasse treatment performance by two-stage anaerobic membrane bioreactor. *Journal of Environmental Management*, v. 259, p. 110034, 2020.

SZABÓ, Krisztina et al. The phosphatome of opportunistic pathogen *Candida* species. *Fungal Biology Reviews*, v. 35, p. 40-51, 2021.

ZHA, Xiao et al. Bioconversion of wastewater to single cell protein by methanotrophic bacteria. *Bioresource Technology*, v. 320, p. 124351, 2021.

ZHU, Zizeng et al. Valorization of food waste fermentation liquid into single cell protein by photosynthetic bacteria via stimulating carbon metabolic pathway and environmental behaviour. *Bioresource Technology*, v. 361, p. 127704, 2022.

ZIENIUK, Bartłomiej; FABISZEWSKA, Agata. *Yarrowia lipolytica*: a beneficial yeast in biotechnology as a rare opportunistic fungal pathogen: a minireview. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 35, n. 1, p. 10, 2019.