ASCE MAGAZINE ISSN: 3073-1178

Revista ASCE Magazine, Periodicidad: Trimestral, Volumen: 5, Número: 4, Año: 2026 páginas 631-650

Doi: tps://doi.org/10.70577/asce.v5i4.1147

Recibido: 2026-10-19

Aceptado: 2026-11-02

Publicado: 2026-11-16

Aplicaciones biotecnológicas de microorganismos benéficos en sistemas integrados agropecuarios: efectos sobre la salud animal, la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. Una revisión sistemática bajo la metodología PRISMA (2021-2026)

Biotechnological applications of beneficial microorganisms in integrated agricultural-livestock systems: effects on animal health, agricultural productivity, and environmental sustainability. A systematic review following the PRISMA methodology (2021–2026)

Autor(s)

Jesús Javier Ñaccha Urbano[1]
jesus.naccha@unsch.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-5035-4849
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Ayacucho - Perú

Viviana Antonia Chávez Cedeño[2]
vach_cedeno@live.com
https://orcid.org/0000-0002-8033-8081
Investigador Independiente
Esmeraldas - Ecuador

William Andrés Iglesias Obando[3]
william.iglesias@utelvt.edy.ec
https://orcid.org/0000-0002-3648-513X
Universidad Técnica Luis Vargas Torres
Esmeraldas - Ecuador

Omar Sebastián Toledo Meneses[4]
omarsebastiantoledomeneses@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-6889-2604
Investigador Independiente
Riobamba - Ecuador

Andrea Estefanía Zurita Miranda[5]
azurita@ist17dejulio.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-4355-6775
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio
Urcuquí - Ecuador

Cómo citar

Ñaccha Urbano, J. J., Chávez Cedeño, V. A., Iglesias Obando, W. A., Toledo Meneses, O. S., & Zurita Miranda, A. E. (2026). Aplicaciones biotecnológicas de microorganismos benéficos en sistemas integrados agropecuarios: efectos sobre la salud animal, la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. Una revisión sistemática bajo la metodología PRISMA (2021-2026). *ASCE MAGAZINE*, *5*(4), 631–650. https://doi.org/10.70577/asce.v5i4.1147

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Resumen

La producción agropecuaria, enfrenta el desafío de satisfacer la creciente demanda de alimentos, sin aumentar los impactos ambientales, asociados al uso intensivo de fertilizantes sintéticos, y otros insumos químicos, esta situación ha generado, problemas relacionados con la degradación de los recursos naturales; frente a esta problemática, los microorganismos benéficos han surgido, como una alternativa biotecnológica, capaz proteger la salud animal, y favorecer la sostenibilidad ambiental. El objetivo fue; analizar la evidencia científica publicada entre 2021 y 2026, sobre las aplicaciones biotecnológicas de microorganismos benéficos, en sistemas agropecuarios integrados y evaluar sus efectos sobre la salud animal, la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. Se realizó una revisión sistemática de literatura, bajo las directrices PRISMA 2020; los estudios fueron seleccionados, mediante criterios de inclusión y exclusión, orientados a garantizar pertinencia temática, y calidad metodológica. La evidencia mostró que, microorganismos como *Bacillus, Pseudomonas, Rhizobium* y *Azospirillum,* contribuyeron al mejoramiento de la salud intestinal animal, fortalecieron la respuesta inmunológica, y favorecieron, el rendimiento productivo; en agricultura, promovieron el crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes, y la reducción del uso de fertilizantes sintéticos; además, demostraron un papel relevante, en procesos de economía circular, reciclaje de nutrientes, y restauración de funciones ecológicas. Los microorganismos benéficos, constituyen herramientas estratégicas, para impulsar sistemas agropecuarios más sostenibles, productivos y resilientes; sus beneficios, abarcan la producción animal, la productividad agrícola, y la conservación ambiental; no obstante, persisten vacíos relacionados con estudios de largo plazo, y enfoques interdisciplinarios, que permitan comprender mejor su desempeño en condiciones productivas reales.

Palabras clave: Biotecnología, Desarrollo sostenible, Microorganismo, Productividad, Salud animal

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Abstract

Agricultural production faces the challenge of meeting the growing demand for food without increasing the environmental impacts associated with the intensive use of synthetic fertilizers and other chemical inputs—a situation that has led to problems related to the degradation of natural resources. In response to this issue, beneficial microorganisms have emerged as a biotechnological alternative capable of protecting animal health and promoting environmental sustainability. The objective was to analyze scientific evidence published between 2021 and 2026 regarding the biotechnological applications of beneficial microorganisms in integrated agricultural systems, and to evaluate their effects on animal health, agricultural productivity, and environmental sustainability. A systematic literature review was conducted following the PRISMA 2020 guidelines; studies were selected based on inclusion and exclusion criteria designed to ensure thematic relevance and methodological quality. Evidence has shown that microorganisms such as *Bacillus, Pseudomonas, Rhizobium*, and *Azospirillum* contribute to improved animal gut health, strengthen immune responses, and enhance productive performance. In agriculture, they promote plant growth and nutrient uptake, while facilitating a reduction in the use of synthetic fertilizers. Furthermore, they play a significant role in circular economy processes, nutrient recycling, and the restoration of ecological functions. These beneficial microorganisms serve as strategic tools for fostering more sustainable, productive, and resilient agricultural and livestock systems. Their benefits extend across animal production, agricultural productivity, and environmental conservation. Nevertheless, gaps remain particularly regarding long-term studies and interdisciplinary approaches that are necessary for a better understanding of their performance under real-world production conditions.

Keywords: Biotechnology, Sustainable development, Microorganism, Productivity, Animal health

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

La producción agropecuaria contemporánea, enfrenta una tensión creciente entre el incremento de la demanda mundial de alimentos, y la necesidad de reducir los impactos ambientales, asociados a los modelos convencionales de producción (Galanakis, 2024). Durante décadas, la intensificación agrícola, y pecuaria, se sostuvo sobre el uso masivo de fertilizantes sintéticos, antibióticos, promotores de crecimiento, y otros insumos químicos, que permitieron aumentar los rendimientos productivos, aunque también, generaron consecuencias relacionadas con la degradación de los recursos naturales, el deterioro de la biodiversidad microbiana, el surgimiento de microorganismos resistentes a los antimicrobianos, y una mayor presión sobre los ecosistemas agrícolas (Nwankwo et al., 2025). En este escenario, la búsqueda de alternativas sostenibles, ha impulsado el desarrollo de estrategias biotecnológicas, capaces de mantener la productividad, sin comprometer la salud animal, la calidad ambiental, ni la estabilidad de los sistemas agroalimentarios (Woźniak et al., 2025).

Dentro de estas alternativas, los microorganismos benéficos, han adquirido un protagonismo notable; bacterias, hongos, y levaduras, con propiedades funcionales específicas, han demostrado una capacidad significativa para mejorar procesos biológicos esenciales, tanto en animales, como en cultivos. Su aplicación ya no se limita a contextos experimentales; por el contrario, forma parte de programas de innovación tecnológica, orientados a fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos, frente a desafíos cada vez más complejos, como el cambio climático, la disminución de la fertilidad de los suelos, y la creciente preocupación por la inocuidad alimentaria (Pouris et al., 2024).

Desde la perspectiva veterinaria, la utilización de microorganismos beneficiosos, representa una de las líneas de investigación, más prometedoras para disminuir la dependencia de los antimicrobianos convencionales (Mârza et al., 2025). Diversos estudios recientes, han documentado que determinadas cepas probióticas, favorecen el equilibrio de la microbiota intestinal, fortalecen la respuesta inmunológica, y contribuyen a mejorar parámetros productivos, en especies pecuarias de interés económico, incluidos bovinos, porcinos, aves y pequeños rumiantes. Además, varios autores coinciden en que, estas tecnologías pueden convertirse en herramientas estratégicas, para enfrentar la crisis global de resistencia antimicrobiana, considerada

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

actualmente una de las principales amenazas, para la salud pública y animal (Winiarska et al., 2021).

En paralelo, la agronomía ha experimentado una transformación conceptual importante, gracias al reconocimiento del papel que desempeñan las comunidades microbianas, en la dinámica de los agroecosistemas (Miljaković et al., 2026). Los microorganismos, promotores del crecimiento vegetal, las bacterias fijadoras de nitrógeno, los solubilizadores de fósforo, y los hongos micorrícicos arbusculares, han demostrado efectos favorables, sobre la disponibilidad de nutrientes, el desarrollo radicular, la tolerancia al estrés hídrico, y la productividad de diversos cultivos agrícolas (Silva et al., 2023). Más allá de los incrementos en rendimiento, la literatura reciente destaca su potencial, para reducir la dependencia de fertilizantes químicos, y mejorar la salud del suelo, un aspecto crucial para la sostenibilidad de largo plazo, de la producción agrícola (Basu et al., 2021).

La convergencia entre la veterinaria, la agronomía, y la biotecnología, ha dado origen a enfoques integrados que entienden los sistemas agropecuarios como, redes interconectadas en las que los microorganismos actúan como elementos reguladores de procesos ecológicos, y productivos (García et al., 2025). Esta visión, supera la fragmentación tradicional, entre disciplinas, y propone una gestión más eficiente de los recursos, mediante la utilización de bioinsumos capaces de generar beneficios simultáneos, para animales, cultivos, y ecosistemas (Folina et al., 2025). En consecuencia, conceptos como agricultura regenerativa, producción circular, bioeconomía, y enfoque One Health, han incorporado progresivamente herramientas microbiológicas dentro de sus estrategias de intervención (Caballero-Flores et al., 2023; Graham & Ledesma-Amaro, 2023).

A pesar del crecimiento acelerado, de las investigaciones en este campo, la evidencia científica, permanece dispersa entre diferentes áreas del conocimiento; pues, muchos estudios, analizan de forma independiente los efectos de los microorganismos benéficos, sobre la salud animal, o sobre la productividad vegetal, mientras que, son menos frecuentes los trabajos que examinan sus contribuciones desde una perspectiva integrada (Adedayo & Olorunkosebi, 2025). Esta fragmentación, dificulta la identificación de tendencias globales, limita la comparación entre resultados, y restringe la formulación de estrategias, basadas en evidencia, para el diseño de sistemas agropecuarios más sostenibles.

Durante los últimos cinco años, se ha observado un aumento considerable en el número de publicaciones indexadas en Scopus, relacionadas con probióticos, microbiomas agrícolas,

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

biofertilizantes, consorcios microbianos, y biotecnologías, aplicadas a la producción animal y vegetal (Kiruba N & Saeid, 2022). Sin embargo, persisten interrogantes relevantes acerca de, cuáles microorganismos presentan los mayores beneficios, qué aplicaciones biotecnológicas, alcanzan mejores resultados en contextos productivos reales, y cuáles son las contribuciones efectivas, de estas tecnologías a los objetivos de sostenibilidad ambiental; asimismo, resulta necesario, identificar vacíos de conocimiento que orienten futuras investigaciones, y permitan fortalecer la transferencia tecnológica hacia los sectores productivos.

Bajo estas consideraciones, la presente revisión sistemática, tiene como propósito analizar la evidencia científica publicada entre 2021 y 2026, sobre las aplicaciones biotecnológicas de microorganismos benéficos, en sistemas integrados agropecuarios, y evaluar sus efectos, sobre la salud animal, la productividad agrícola, y la sostenibilidad ambiental. Lo que permitirá construir una visión integral, del estado actual del conocimiento, identificar tendencias emergentes, y establecer oportunidades de investigación, que contribuyan al desarrollo de sistemas agropecuarios más resilientes, productivos, y ambientalmente responsables.

Material y Métodos

La investigación, se desarrolló mediante una revisión sistemática de literatura, estructurada conforme a las directrices de la metodología PRISMA 2020 (Figura 1), con el propósito de identificar, evaluar, y sintetizar, la evidencia científica disponible sobre las aplicaciones biotecnológicas de microorganismos benéficos, en sistemas agropecuarios integrados. La metodología se fundamentó, en las recomendaciones establecidas por Page et al. (2021), consideradas actualmente un referente internacional, en revisiones sistemáticas.

La búsqueda bibliográfica, se realizó en bases de datos científicas de alta calidad, entre ellas Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, SpringerLink, Wiley Online Library, y MDPI. Se utilizaron combinaciones de palabras clave, relacionadas con microorganismos benéficos, probióticos, biofertilizantes, microbiomas, producción animal, agronomía, biotecnología, y sostenibilidad; con el fin de asegurar, la actualidad de la evidencia analizada, solo se consideraron investigaciones publicadas entre 2021 y 2026.

Posteriormente, los registros recuperados, fueron organizados en una base bibliográfica, y sometidos a un proceso de depuración; en una primera etapa, se eliminaron documentos duplicados;

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

después se revisaron títulos y resúmenes, para descartar trabajos sin relación directa con los objetivos de la investigación; luego los artículos potencialmente elegibles, fueron evaluados mediante lectura completa, lo que permitió verificar la pertinencia temática, la calidad metodológica, y la disponibilidad de DOI verificable.

La revisión incorporó, únicamente artículos científicos publicados en revistas indexadas, y sometidos a procesos de arbitraje académico. Se excluyeron editoriales, literatura gris, resúmenes de congresos, tesis, duplicados, y documentos, que no establecían una relación clara entre microorganismos benéficos, producción agropecuaria, y sostenibilidad ambiental. Asimismo, se consideraron exclusivamente, estudios con calidad metodológica alta, evaluados mediante instrumentos reconocidos internacionalmente.

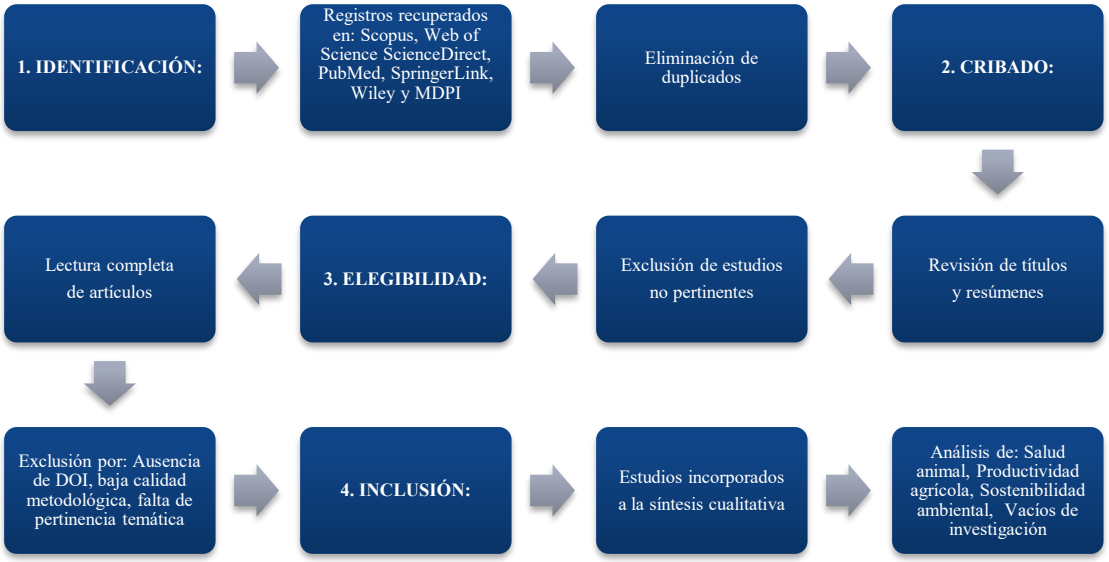
La extracción de información, se realizó mediante una matriz estructurada que recopiló variables bibliográficas, metodológicas, y temáticas; entre los datos registrados, destacaron las especies microbianas empleadas, las tecnologías biotecnológicas aplicadas, los sistemas productivos evaluados, los indicadores sanitarios, y productivos.

Finalmente, la síntesis de la evidencia, se organizó en función de los objetivos planteados, el análisis permitió identificar, los microorganismos benéficos predominantes en la literatura reciente, evaluar sus contribuciones a la salud, y productividad animal, examinar sus efectos, sobre el crecimiento y rendimiento de cultivos, y determinar sus aportes a la sostenibilidad ambiental. Además, se reconocieron vacíos de conocimiento, relacionados con estudios de largo plazo, enfoques interdisciplinarios, y aplicaciones integrales, bajo la perspectiva One Health.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Figura 1.

Proceso de selección de estudios según PRISMA 2020



Resultados

Caracterización general

La literatura analizada, reflejó una transición conceptual importante, dentro de las ciencias agropecuarias, los trabajos publicados entre 2021 y 2026, ya no abordaron a los microorganismos benéficos únicamente como; biofertilizantes o probióticos aislados; por el contrario, la mayoría de las investigaciones, los describió como componentes funcionales de sistemas biológicos complejos, capaces de conectar la salud animal, la productividad vegetal, y la sostenibilidad ambiental. Esta perspectiva permitió, comprender los agroecosistemas como; redes ecológicas interdependientes, en las que los microbiomas regulan procesos asociados con la disponibilidad de nutrientes, la respuesta inmunitaria, la eficiencia productiva, y la resiliencia ambiental.

Un aspecto llamativo fue, la creciente incorporación de herramientas ómicas, secuenciación masiva, y análisis de microbiomas; gracias a estas tecnologías, numerosos estudios lograron identificar, mecanismos biológicos que anteriormente permanecían poco comprendidos, especialmente aquellos relacionados, con la interacción suelo-planta-animal.

Microorganismos benéficos predominantes, en los sistemas agropecuarios

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

La evidencia mostró (Tabla 1); una concentración notable en determinados grupos microbianos, debido a su versatilidad funcional, y facilidad de aplicación, en diferentes contextos productivos. Los estudios coincidieron, en señalar que las especies pertenecientes a *Bacillus*, *Pseudomonas, Rhizobium* y *Azospirillum,* constituyeron algunos de los microorganismos, más versátiles debido a su capacidad, para intervenir simultáneamente, en varios procesos fisiológicos relacionados con la nutrición vegetal, y la protección frente a estrés ambiental.

Tabla 1.

Microorganismos benéficos, reportados con mayor frecuencia

Grupo microbiano	Función principal	Aplicación
Lactobacillus spp.	Modulación intestinal, e inmunológica	Salud animal
Bifidobacterium spp.	Equilibrio microbiológico digestivo	Producción animal
Bacillus spp.	Probiótico, y biofertilizante	Sistemas mixtos
Azospirillum spp.	Fijación biológica de nitrógeno	Agricultura
Rhizobium spp.	Simbiosis radicular	Cultivos leguminosos
Pseudomonas spp.	Biocontrol de fitopatógenos	Producción vegetal
Glomus spp.	Micorrización, y absorción de nutrientes	Agricultura sostenible
Consorcios microbianos	Multifuncionalidad ecosistémica	Sistemas integrados

Efectos sobre la salud, y productividad animal

La producción animal, representó uno de los campos con mayor crecimiento investigativo, el análisis de la evidencia, mostró que la utilización de probióticos, y microbiomas funcionales, produjo respuestas favorables en diferentes especies pecuarias.

Los autores, observaron una mejora consistente en la estabilidad de la microbiota intestinal, una reducción en la incidencia de trastornos digestivos, y un fortalecimiento de los mecanismos inmunológicos (Tabla 2). En diversos sistemas de producción, estas respuestas, se asociaron con mejores indicadores de desempeño productivo, y una disminución progresiva, de la dependencia de antimicrobianos convencionales (Figura 2).

Los resultados sugirieron que, los microorganismos benéficos, podrían convertirse en una alternativa estratégica, frente a las restricciones actuales sobre el uso de antibióticos promotores del crecimiento. Desde una perspectiva veterinaria, este avance posee especial relevancia debido al contexto global de resistencia antimicrobiana.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

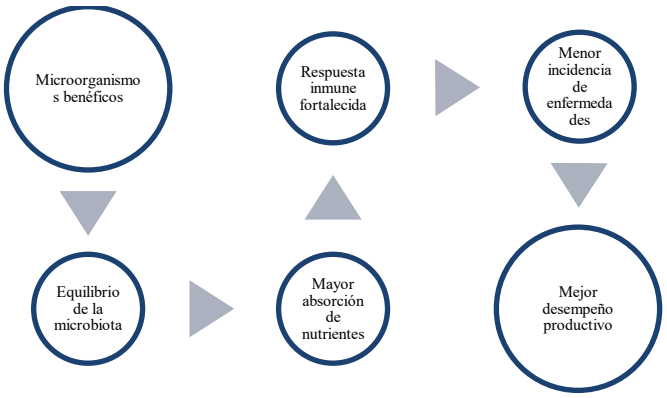
Tabla 2.

Principales efectos observados, en animales de producción

Categoría	Resultado identificado
Salud intestinal	Incremento de diversidad microbiana
Inmunidad	Mayor activación de mecanismos defensivos
Conversión alimenticia	Mejor aprovechamiento de nutrientes
Ganancia de peso	Incremento moderado a alto
Mortalidad	Tendencia decreciente
Uso de antibióticos	Reducción significativa
Bienestar animal	Mejora general

Figura 2.

Relación conceptual entre microbiota, y productividad animal



Impactos sobre el crecimiento, y rendimiento de cultivos

Los artículos examinados, mostraron un consenso amplio, respecto a la influencia positiva de los microorganismos benéficos, sobre la productividad agrícola, pues, la mayoría de las investigaciones, documentó mejoras en el crecimiento vegetal, el desarrollo radicular, y la eficiencia en el uso de nutrientes (Tabla 3).

Las formulaciones microbianas, favorecieron procesos de fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo, y movilización de micronutrientes; estos mecanismos, generaron incrementos en la biomasa vegetal, y contribuyeron a reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos.

Los resultados indicaron que la manipulación del microbioma agrícola dejó de concebirse únicamente como una herramienta complementaria. En numerosos estudios, los microorganismos aparecieron como componentes centrales de las estrategias productivas sostenibles (Figura 3).

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

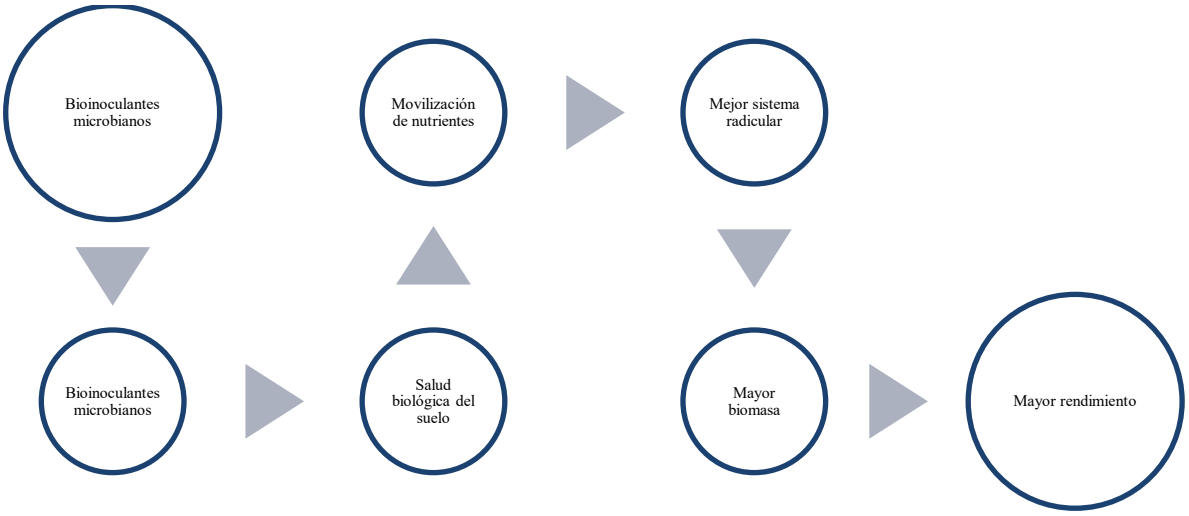
Tabla 3.

Principales beneficios agronómicos identificados

Variable agronómica	Tendencia observada
Desarrollo radicular	Incremento
Biomasa vegetal	Incremento
Rendimiento agrícola	Incremento
Absorción de nutrientes	Incremento
Fertilidad biológica del suelo	Incremento
Resistencia al estrés	Incremento
Uso de fertilizantes químicos	Disminución

Figura 3.

Impacto de los microorganismos, sobre la productividad agrícola



Contribuciones a la sostenibilidad ambiental

Uno de los hallazgos más robustos de la revisión, correspondió al papel de los microorganismos, en la construcción de sistemas agropecuarios sostenibles, la literatura reciente, describió repetidamente a estos organismos, como elementos fundamentales para la transición hacia modelos de economía circular, y agricultura regenerativa.

La capacidad de transformar residuos orgánicos, reciclar nutrientes, participar en procesos de compostaje, intervenir en sistemas de biogás, y disminuir, el empleo de insumos químicos, posicionó a los microorganismos como herramientas relevantes, para disminuir la huella ambiental de la producción agropecuaria (Tabla 4).

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Desde una perspectiva crítica, la contribución más importante, no radicó únicamente en el incremento de la productividad; a juicio de numerosos autores, el verdadero valor de estas tecnologías, reside en su capacidad, para restaurar funciones ecológicas que los modelos convencionales habían debilitado durante décadas (Figura 4).

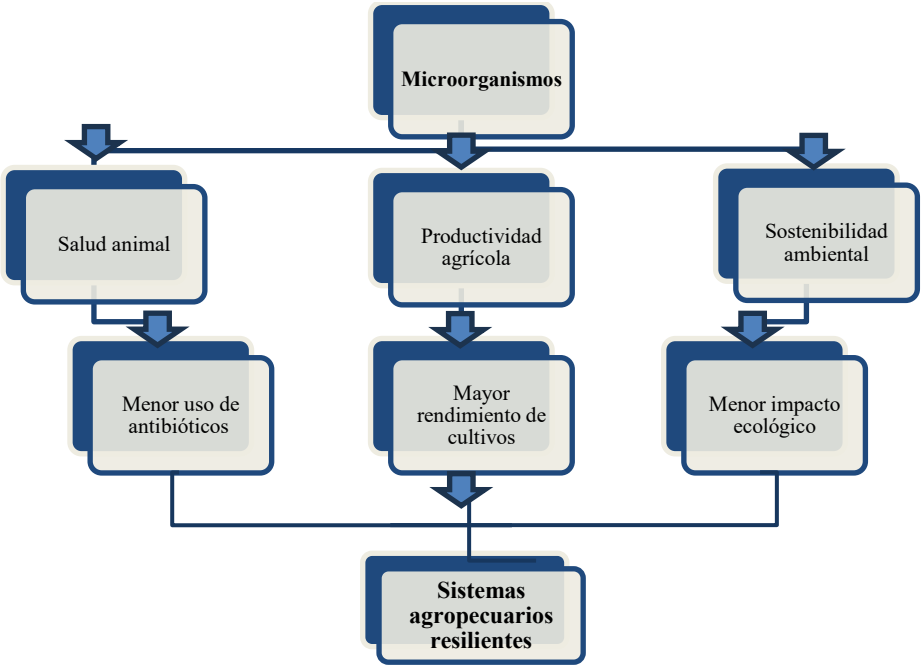
Tabla 4.

Contribuciones ambientales identificadas

Dimensión ambiental	Evidencia encontrada
Recuperación de nutrientes	Alta
Economía circular	Alta
Aprovechamiento de residuos	Alta
Reducción de fertilizantes químicos	Moderada-alta
Conservación de la fertilidad del suelo	Alta
Calidad del agua	Moderada
Resiliencia ecosistémica	Alta

Figura 4.

Integración de beneficios, en sistemas agropecuarios sostenibles



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Vacíos de conocimiento, y líneas futuras de investigación

Aunque el volumen de publicaciones aumentó considerablemente, el análisis permitió, identificar brechas importantes (Tabla 5). La mayor parte de los estudios, evaluó periodos relativamente cortos, y condiciones controladas; como consecuencia, aún existe incertidumbre sobre la estabilidad de los microorganismos introducidos, una vez que enfrentan condiciones ambientales reales, y ciclos productivos prolongados.

También resultó evidente, la escasez de investigaciones que integren simultáneamente, variables veterinarias, agronómicas y ambientales, dentro de un mismo diseño experimental, la literatura permaneció fragmentada, con predominio de estudios especializados en una sola disciplina.

Los resultados sugirieron que, las futuras investigaciones deberían avanzar hacia enfoques interdisciplinarios, capaces de integrar microbiología, veterinaria, agronomía, biotecnología, y sostenibilidad ambiental, en un único marco conceptual. La evidencia disponible indicó que, los mayores avances probablemente, surgirán del estudio de consorcios microbianos, microbiomas diseñados y plataformas biotecnológicas, soportadas por herramientas de secuenciación avanzada e inteligencia artificial.

Tabla 5.

Principales vacíos identificados

Vacío científico	Relevancia
Estudios de largo plazo	Muy alta
Evaluaciones económicas	Alta
Integración veterinaria-agronómica	Muy alta
Cuantificación de emisiones	Alta
Aplicaciones comerciales a gran escala	Alta
Estudios bajo enfoque One Health	Muy alta
Ingeniería de microbiomas complejos	Muy alta

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Discusión

Los resultados de la presente revisión, permitieron identificar un consenso creciente, en torno al papel de los microorganismos benéficos, como herramientas biotecnológicas capaces de mejorar simultáneamente, la productividad agropecuaria, y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, más allá de este acuerdo general, la comparación entre los estudios, evidenció diferencias importantes, respecto a los mecanismos responsables de dichos beneficios, y a la magnitud, de sus efectos en condiciones reales de producción.

En el ámbito agrícola, los resultados mostraron que, microorganismos como *Rhizobium spp*., *Azospirillum spp.*, *Pseudomonas spp*., y los hongos micorrícicos arbusculares, ocuparon una posición predominante, dentro de la literatura reciente. Estos hallazgos coincidieron con lo señalado por, Khan et al. (2023), quienes concluyeron que las bioformulaciones microbianas, incrementan la disponibilidad de nutrientes, mediante procesos de fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo, y producción de metabolitos, promotores del crecimiento vegetal. De forma similar, Nadarajah y Abdul Rahman (2023), sostuvieron que la funcionalidad del microbioma, constituye uno de los factores más relevantes, para mantener la productividad agrícola, y la estabilidad ecológica de los suelos.

No obstante, la comparación entre autores, reveló una diferencia conceptual importante, mientras Khan et al. (2023), enfatizaron el efecto directo de microorganismos específicos, sobre la disponibilidad de nutrientes, Nadarajah y Abdul Rahman (2023), argumentaron que, el impacto real depende de la estructura completa del microbioma, y de las interacciones ecológicas, presentes en cada agroecosistema. Esta divergencia, sugiere que parte de la variabilidad observada, entre investigaciones podría explicarse, por diferencias en las comunidades microbianas nativas, la calidad del suelo, las condiciones climáticas, y las prácticas de manejo agrícola.

Desde la perspectiva veterinaria, los resultados mostraron una tendencia consistente, hacia el uso de probióticos, como alternativa a los antibióticos convencionales. La presente revisión, identificó mejoras frecuentes en parámetros relacionados con la salud intestinal, la respuesta inmunológica, y la eficiencia alimenticia; estas observaciones, fueron coherentes con los hallazgos de Ranjha et al. (2021), quienes documentaron que los probióticos, favorecen el equilibrio de la microbiota digestiva, y contribuyen al aprovechamiento eficiente de nutrientes. Asimismo, Kumar et al. (2025)

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

concluyeron que, los microorganismos funcionales representan una estrategia viable, para reducir la dependencia de antibióticos, en sistemas de producción pecuaria.

La comparación entre estas investigaciones, reveló una coincidencia notable respecto a los beneficios sanitarios, observados en animales de producción; sin embargo, algunos autores, centraron su atención en variables zootécnicas, como ganancia de peso, y conversión alimenticia, mientras que, otros priorizaron indicadores microbiológicos, e inmunológicos; esta diferencia metodológica, dificultó la comparación directa, entre estudios y evidenció, la necesidad de protocolos experimentales más estandarizados.

Uno de los hallazgos más relevantes de esta revisión, surgió al analizar conjuntamente la producción animal, y vegetal. Tradicionalmente, ambas áreas han sido estudiadas, de forma independiente. Sin embargo, los trabajos recientes, mostraron una tendencia hacia enfoques integrados que consideran al microbioma, como un elemento de conexión entre animales, plantas, suelos, y ambiente. Esta interpretación, coincide con la propuesta de Liu et al. (2023), quienes describieron los agroecosistemas, como redes de microbiomas interrelacionados, donde los procesos de reciclaje de nutrientes, inmunidad, y productividad, forman parte de un mismo sistema ecológico.

La contribución ambiental de los microorganismos benéficos, también presentó un amplio respaldo en la literatura científica. Los estudios incluidos, indicaron que estas herramientas, favorecen la reducción de fertilizantes sintéticos, el aprovechamiento de residuos agropecuarios, y la recuperación de nutrientes. En este contexto, Glockow et al. (2024), destacaron que los microorganismos, desempeñan un papel central en los modelos de economía circular, debido a su capacidad, para transformar residuos orgánicos, participar en procesos de compostaje, y contribuir, a sistemas agrícolas resilientes. El grado de coincidencia, entre estos autores y los resultados obtenidos (Tabla 6), fue particularmente elevado, lo que sugiere, una consolidación progresiva de esta línea de investigación dentro de la biotecnología agropecuaria.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Tabla 6.

Comparación crítica entre autores, y resultados de la revisión

Autor	Principales aportes	Coincidencia con los resultados	Aspectos diferenciales
(Khan et al., 2023)	Bioformulaciones microbianas para incrementar productividad, y fertilidad del suelo	Alta	Priorizan mecanismos bioquímicos específicos
(Nadarajah & Abdul Rahman, 2023)	Importancia del microbioma en la sostenibilidad agrícola	Alta	Destacan la influencia de las interacciones ecológicas y factores ambientales
(Winiarska et al., 2021)	Efectos de probióticos sobre salud intestinal, y nutrición animal	Alta	Enfoque centrado en fisiología digestiva
(Elolimy et al., 2020)	Probióticos como alternativa a antibióticos, en producción animal	Alta	Énfasis en reducción de resistencia antimicrobiana
(Liu et al., 2023)	Integración de microbiomas de suelo, plantas, animales e insectos	Muy alta	Visión ecosistémica e interdisciplinaria
(Glockow et al., 2024)	Microorganismos aplicados a economía circular, y resiliencia agrícola	Muy alta	Vinculan microbiología, y sostenibilidad ambiental

A pesar del avance observado, la comparación de los estudios, permitió identificar limitaciones persistentes, la mayoría de las investigaciones evaluó periodos cortos, y condiciones experimentales controladas, como consecuencia, aún existe incertidumbre, sobre la permanencia de los microorganismos inoculados, y sobre la estabilidad de sus efectos, en sistemas productivos comerciales. Este problema fue señalado especialmente por, Nadarajah y Abdul Rahman (2023), quienes destacaron, la necesidad de comprender con mayor profundidad, los procesos de colonización, y persistencia microbiana, en ambientes agrícolas complejos.

De igual manera, se observó una limitada incorporación del enfoque One Health, en las investigaciones recientes. Si bien, numerosos estudios analizaron beneficios agrícolas, o veterinarios por separado, pocos evaluaron simultáneamente, los impactos sobre salud animal, productividad vegetal, y sostenibilidad ambiental, esta fragmentación, redujo la capacidad para comprender el funcionamiento integral de los sistemas agropecuarios.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

En conjunto, la evidencia permitió concluir que, los microorganismos benéficos, poseen un respaldo científico sólido, como herramientas para la transición, hacia sistemas agropecuarios sostenibles, sin embargo, la literatura actual sugiere que, el principal desafío ya no consiste en demostrar sus beneficios, sino en comprender, cómo optimizar sus interacciones dentro de agroecosistemas complejos.

Conclusiones

Los resultados de la revisión, permitieron establecer que los microorganismos benéficos, constituyen una de las herramientas biotecnológicas, con mayor potencial para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios contemporáneos. La evidencia científica mostró que, su aplicación favoreció simultáneamente la productividad agrícola, la salud animal, y la estabilidad ambiental, lo que confirmó, su relevancia dentro de los modelos de producción, orientados a la eficiencia y la resiliencia.

Entre los microorganismos más estudiados destacaron; *Bacillus spp*., *Lactobacillus spp*., *Bifidobacterium spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Rhizobium spp.*, *Azospirillum spp.,* y los hongos micorrícicos arbusculares. Estos grupos microbianos, demostraron una capacidad consistente, para mejorar la disponibilidad de nutrientes, optimizar procesos fisiológicos, y promover, respuestas favorables tanto en cultivos como en animales de producción.

En el ámbito pecuario, la literatura analizada evidenció que, los probióticos contribuyeron al equilibrio de la microbiota intestinal, fortalecieron la respuesta inmunológica, y mejoraron indicadores productivos, además, surgió una tendencia clara, hacia la reducción del uso de antibióticos convencionales, aspecto que refuerza el interés científico y productivo, por estas tecnologías frente al problema global de la resistencia antimicrobiana.

Desde la perspectiva agronómica, los microorganismos benéficos, favorecieron el crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes, y el rendimiento de los cultivos, los estudios coincidieron en señalar que, estos efectos se asociaron con procesos de fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo, y fortalecimiento de la actividad biológica del suelo, factores que reducen la dependencia de fertilizantes sintéticos, y contribuyen a una producción más sostenible.

La comparación crítica, entre autores permitió identificar un consenso amplio, respecto a los beneficios generales de los microorganismos benéficos. Sin embargo, persistieron diferencias

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

relacionadas con la magnitud de los efectos observados, y con los mecanismos ecológicos que explican su funcionamiento. Estas discrepancias, sugieren que el desempeño de los microorganismos, depende en gran medida de las características del agroecosistema, del microbioma nativo y de las condiciones de manejo productivo.

La evidencia disponible, indicó que los mayores avances futuros, surgirán de enfoques interdisciplinarios, capaces de comprender las interacciones entre microbiomas, animales, plantas y ambiente, dentro de una misma visión ecosistémica.

Finalmente, las futuras investigaciones, deberían priorizar estudios de largo plazo en condiciones productivas reales, ya que gran parte de la evidencia actual, procede de ensayos controlados cuya extrapolación a escala comercial, aún presenta incertidumbres. Esta necesidad resulta especialmente relevante, para comprender la persistencia y estabilidad, de los microorganismos inoculados bajo diferentes contextos ambientales.

Referencias Bibliográficas

Adedayo, A. A., & Olorunkosebi, M. T. (2025). Coevolution Dynamics of Beneficial and Pathogenic Microbes in Plant–Microbe Interactions. *Biology*, *14*(11), 1505. https://doi.org/10.3390/biology14111505

Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects. *Sustainability*, *13*(3), 1140. https://doi.org/10.3390/su13031140

Caballero-Flores, G., Pickard, J. M., & Núñez, G. (2023). Microbiota-mediated colonization resistance: Mechanisms and regulation. *Nature Reviews Microbiology*, *21*(6), 347-360. https://doi.org/10.1038/s41579-022-00833-7

Elolimy, A., Alharthi, A., Zeineldin, M., Parys, C., & Loor, J. J. (2020). Residual feed intake divergence during the preweaning period is associated with unique hindgut microbiome and metabolome profiles in neonatal Holstein heifer calves. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *11*(1), 13. https://doi.org/10.1186/s40104-019-0406-x

Folina, A., Kakabouki, I., Baginetas, K., & Bilalis, D. (2025). Integration of Bioresources for Sustainable Development in Organic Farming: A Comprehensive Review. *Resources*, *14*(7), 102. https://doi.org/10.3390/resources14070102

Galanakis, C. M. (2024). The Future of Food. *Foods*, *13*(4), 506. https://doi.org/10.3390/foods13040506

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

García, G., Carlin, M., & Cano, R. D. J. (2025). Holobiome Harmony: Linking Environmental Sustainability, Agriculture, and Human Health for a Thriving Planet and One Health. *Microorganisms*, *13*(3), 514. https://doi.org/10.3390/microorganisms13030514

Glockow, T., Kaster, A.-K., Rabe, K. S., & Niemeyer, C. M. (2024). Sustainable agriculture: Leveraging microorganisms for a circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *108*(1), 452. https://doi.org/10.1007/s00253-024-13294-0

Graham, A. E., & Ledesma-Amaro, R. (2023). The microbial food revolution. *Nature Communications*, *14*(1), 2231. https://doi.org/10.1038/s41467-023-37891-1

Khan, A., Singh, A. V., Gautam, S. S., Agarwal, A., Punetha, A., Upadhayay, V. K., Kukreti, B., Bundela, V., Jugran, A. K., & Goel, R. (2023). Microbial bioformulation: A microbial assisted biostimulating fertilization technique for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1270039. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1270039

Kiruba N, J. M., & Saeid, A. (2022). An Insight into Microbial Inoculants for Bioconversion of Waste Biomass into Sustainable "Bio-Organic" Fertilizers: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(21), 13049. https://doi.org/10.3390/ijms232113049

Kumar, S., Singh, O., Kundgir, S., Mahna, N., Gupta, M., Yadav, P., Tyagi, N., Samanta, A. K., & Tyagi, A. K. (2025). Prospects of probiotics in improvement of health and productivity of dairy animals and reducing antibiotic load on the environment. *Biotechnology for the Environment*, *2*(1), 13. https://doi.org/10.1186/s44314-025-00025-6

Liu, X. (Christine), Floate, K. D., Gorzelak, M. A., Holman, D. B., Hrycauk, S., Kubota, H., Lupwayi, N., Neilson, J. A. D., Ortega Polo, R., Petri, R. M., Tran, L., Wang, H., Wilches, D., Yang, X., Zorz, J., & Guarna, M. M. (2023). Prairie Agroecosystems: Interconnected Microbiomes of Livestock, Soil and Insects. *Agriculture*, *13*(2), 326. https://doi.org/10.3390/agriculture13020326

Mârza, S. M., Munteanu, C., Papuc, I., Radu, L., & Purdoiu, R. C. (2025). The Role of Probiotics in Enhancing Animal Health: Mechanisms, Benefits, and Applications in Livestock and Companion Animals. *Animals*, *15*(20), 2986. https://doi.org/10.3390/ani15202986

Miljaković, D., Marinković, J., Vasiljević, M., Đorđević, V., Bakogianni, M. A., Nikoloudakis, N., & Manikas, I. (2026). Soil Microbiome Responses to Sustainable Agricultural Practices. *Agriculture*, *16*(18), 1957. https://doi.org/10.3390/agriculture16181957

Nadarajah, K., & Abdul Rahman, N. S. N. (2023). The Microbial Connection to Sustainable Agriculture. *Plants*, *12*(12), 2307. https://doi.org/10.3390/plants12122307

Nwankwo, C. E. I., Okeke, E. S., Umeoguaju, F. U., Ejeromedoghene, O., Adedipe, D. T., & Ezeorba, T. P. C. (2025). Addressing emerging contaminants in agriculture affecting plant–soil interaction: A

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

review on bio-based and nano-enhanced strategies for soil health and global food security (GFS). *Discover Toxicology*, *2*(1), 4. https://doi.org/10.1007/s44339-025-00018-w

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pouris, J., Kolyva, F., Bratakou, S., Vogiatzi, C. A., Chaniotis, D., & Beloukas, A. (2024). The Role of Fungi in Food Production and Processing. *Applied Sciences*, *14*(12), 5046. https://doi.org/10.3390/app14125046

Ranjha, M. M. A. N., Shafique, B., Batool, M., Kowalczewski, P. Ł., Shehzad, Q., Usman, M., Manzoor, M. F., Zahra, S. M., Yaqub, S., & Aadil, R. M. (2021). Nutritional and Health Potential of Probiotics: A Review. *Applied Sciences*, *11*(23), 11204. https://doi.org/10.3390/app112311204

Silva, L. I. D., Pereira, M. C., Carvalho, A. M. X. D., Buttrós, V. H., Pasqual, M., & Dória, J. (2023). Phosphorus-Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. *Agriculture*, *13*(2), 462. https://doi.org/10.3390/agriculture13020462

Winiarska, A., Filipska, I., Knysak, M., & Stompór, T. (2021). Dietary Phosphorus as a Marker of Mineral Metabolism and Progression of Diabetic Kidney Disease. *Nutrients*, *13*(3), 789. https://doi.org/10.3390/nu13030789

Woźniak, A., Kuligowski, K., Świerczek, L., & Cenian, A. (2025). Review of Lignocellulosic Biomass Pretreatment Using Physical, Thermal and Chemical Methods for Higher Yields in Bioethanol Production. *Sustainability*, *17*(1), 287. https://doi.org/10.3390/su17010287

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional