



TACLLA

revistas.unf.edu.pe/taclla
doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.204



FONDO EDITORIAL UNF

ARTÍCULO ORIGINAL



Aplicaciones de la Biotecnología Verde más frecuentes en la Agroindustria

Most frequent Applications of Green Biotechnology in the Agroindustry

María A. Vasquez-Cholán¹ ; Paul A. Sisniegas-Galvez¹ ; Julio C., Rojas-Naccha^{1*} y Elmer Y. Zamora Sanchez^{1*}

¹Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Facultad Ciencias agropecuarias, Universidad Nacional De Trujillo, Avenida Juan Pablo II S/N, San Andrés, Trujillo13001, Perú.

*Autor de correspondencia: Elmer Y. Zamora Sanchez - ezamora@unitru.edu.pe

Received: 26 August 2025. Accepted: 15 December 2025. Published: 17 December 2025.

Abstract

This study optimized the rice malt brewing process using a design of experiments (DCCR) and response surface analysis, evaluating steeping time, NaOH concentration, and germination time. A predictive model for Brix degrees was generated with an R^2 of 0.8098, using a temperature-cycled mashing program. The optimal conditions for obtaining Brix degrees were: 60 hours of steeping, 0.08867% w/v NaOH, and 62 hours of germination, resulting in an experimental value of 14.5 degrees Brix and a mean relative error (MRE) of 2.5%. The results indicate that maximum soluble solids extraction is achieved with steeping times between 55 and 60 hours, germination times between 60 and 65 hours, and NaOH concentrations between 0.08 and 0.09% w/v.

Keywords: Green biotechnology, Crop improvement, Biopesticides, Bioremediation.

Resumen

La biotecnología verde ha revolucionado la agricultura al desarrollar cultivos más resistentes y sostenibles, mejorando tanto la calidad como el valor nutricional de los alimentos. Su impacto incluye la reducción del uso de pesticidas químicos a través de biopesticidas y biofertilizantes, y el fomento de prácticas agrícolas ecológicas. La biorremediación, que utiliza organismos vivos para limpiar suelos y aguas contaminadas, también es un componente destacado. A pesar de enfrentar desafíos como la falta de información, su adopción es crucial para un futuro sostenible en la industria alimentaria. La investigación, basada en una revisión bibliográfica de 40 artículos, revela que el 32% se centra en la mejora de cultivos, el 28% en biofertilizantes y biopesticidas, el 25% en biorremediación, y el 6% en aplicaciones combinadas. Estas aplicaciones son clave para una agricultura más sostenible: la mejora de cultivos reduce la dependencia de insumos químicos; los biofertilizantes y biopesticidas ofrecen alternativas ecológicas a los productos tradicionales; y la biorremediación restaura la calidad ambiental. En conjunto, estas innovaciones promueven prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente.

Keywords: Biotecnología verde, Mejora de cultivos, Biopesticidas, Biorremediación.

Cite this article:

Vasquez C.; María A. et al (2025). Aplicaciones de la Biotecnología Verde más frecuentes en la Agroindustria. *Revista Científica de Ingeniería de la Universidad Nacional de Frontera: Taclla*, 1(1), 44-54. doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.204

1. INTRODUCCIÓN

La biotecnología implica la manipulación de organismos vivos o sus componentes para crear productos beneficiosos para la humanidad (Dementyeva et al., 2021). En este contexto, nos enfocaremos en la biotecnología verde, que se encuentra en el ámbito de la industria de los alimentos (Barcelos et al., 2018). En la última década, la biotecnología verde ha tenido un impacto significativo en el desarrollo de la agricultura moderna (Escobarl & Alfaro, s. f.)

Entre sus principales aplicaciones, destaca la mejora de cultivos mediante técnicas que desarrollan plantas más resistentes a enfermedades, plagas y condiciones climáticas adversas (Melnik et al., 2024). Estos avances han dado lugar a productos agrícolas biotecnológicos, como las plantas transgénicas (Ciani et al., 2024), que no solo mejoran la calidad de los productos, sino que también aumentan su valor nutricional (Hayashida et al., 2018).

La expansión de la biotecnología verde ha permitido un aumento significativo en la producción de alimentos sostenibles (Sutaoney et al., 2024). Gracias a esta tecnología, se han desarrollado cultivos más resistentes a plagas y enfermedades, reduciendo así la necesidad de pesticidas químicos y mejorando la eficiencia en el uso de recursos naturales como las biopesticidas y biofertilizantes (Zeb et al., 2024). Esto ha facilitado la adopción de prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente, promoviendo un futuro más sostenible (Chowdhary et al., 2022)

Por otro lado, el uso intensivo de pesticidas en la agricultura convencional ha generado un creciente interés en las tecnologías verdes para la limpieza de suelos contaminados por estos productos y sus residuos (Thieffry et al., 2024). Una

aplicación clave de la biotecnología verde en este contexto es la biorremediación, que utiliza organismos vivos, como bacterias, hongos o plantas, para eliminar o neutralizar contaminantes en el medio ambiente (Sarangi et al., 2024). En la industria alimentaria, la biorremediación se aplica en la eliminación de residuos tóxicos, la descontaminación de suelos y la depuración de aguas residuales (Chowdhary et al., 2022).

La aplicación de la biotecnología verde tiene un impacto considerable en la colaboración y la innovación sostenible en las industrias biotecnológicas (Oliveira et al., 2023). Sin embargo, la falta de iniciativa y la limitada información en el mercado pueden dificultar la adopción efectiva de prácticas de este sector (Ly & Ngo, 2024). Por lo tanto, esta investigación busca responder a la pregunta: ¿Cuáles son las aplicaciones de la biotecnología verde más frecuentes en la industria alimentaria?

El objetivo general de la investigación es identificar y describir los usos de las principales aplicaciones de la biotecnología verde en la industria alimentaria, centrándose en las áreas de investigación agrícola, producción de alimentos y sostenibilidad ambiental. Este estudio es crucial debido a la creciente importancia de la sostenibilidad en la industria alimentaria y la necesidad de identificar prácticas ecológicas y sostenibles. Conocer las aplicaciones más relevantes de la biotecnología verde en la industria alimentaria puede fomentar la colaboración y la innovación sostenible en este sector, al tiempo que ayuda a mitigar los impactos negativos del uso intensivo de pesticidas en la agricultura convencional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó mediante una metodología de revisión bibliográfica. Para el desarrollo de la investigación, se seleccionaron trabajos en función de su idioma, antigüedad, y se utilizó como estrategia principal las siguientes palabras clave en inglés: "Biotechnology", "Green Biotechnology", "crop improvement", "Biofertilizers and Biopesticides" y "Bioremediation"

El estudio contempló los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

C1: Las bases de datos utilizadas fueron "Web of Science" y "Scopus" para asegurar la calidad de la información.

C2: Se incluyeron artículos recientes con una antigüedad no mayor a 5 años para asegurar que se consideraran las tendencias y desarrollos más actuales en biotecnología verde. Por lo tanto, se incluyeron artículos científicos publicados desde 2020.

C3: Se seleccionaron artículos relacionados con la industria de alimentos para orientar y clasificar la información en el campo de nuestro interés.

C4: No se consideraron tesis en repositorios; solo se incluyeron artículos científicos publicados en revistas indizadas en las bases de datos.

C5: Se incluyeron publicaciones en inglés debido a la abundancia de investigaciones disponibles en este idioma en las principales bases de datos.

C6: Se seleccionaron artículos a nivel mundial, ya que la aplicación de la Biotecnología verde se realiza a nivel global.

La selección de los artículos pertinentes para la investigación se realizó siguiendo los criterios de inclusión y exclusión establecidos, así como considerando el periodo de publicación. Además, se eliminaron los artículos duplicados al no ofrecer información adicional.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para identificar las aplicaciones de la Biotecnología más frecuentes en la industria de alimentos, se realizó una búsqueda sistemática en la literatura. Se identificaron los artículos pertinentes, los cuales se presentan en la Tabla 1. En total, se recopilaron 40 artículos de diversas bases de datos.

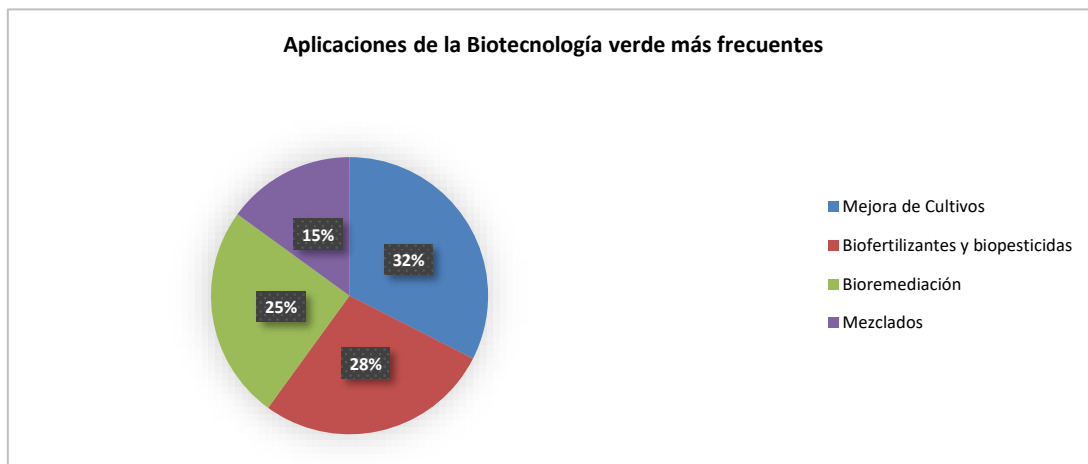
Tabla 1.

Aplicaciones de la Biotecnología más frecuentes

Aplicaciones de la Biotecnología verde más frecuentes	N° de artículos
Mejora de cultivos	13
Biofertilizantes y Biopesticidas	11
Biorremediación	10
Mezclados	6
Total	40

La Figura 1 muestra que el 32% de los artículos se enfoca en la mejora de cultivos, el 28% en biofertilizantes y biopesticidas, el 25% en biorremediación, y el 6% abarca dos o más aplicaciones de la biotecnología verde en la industria alimentaria.

Figura 1
Análisis de las aplicaciones de la Biotecnología más frecuentes.



La Tabla 02 presenta una serie de investigaciones recientes sobre la mejora de cultivos a través de diversas aplicaciones biotecnológicas. Estas investigaciones abordan desde la creación de genomas y el uso de tecnologías ómicas, hasta la aplicación de herramientas como CRISPR/Cas9. (Li et al., 2024) y (Healey et al., 2024) discuten mejoras en la caña de azúcar a través de análisis de proteínas y creación de genomas, respectivamente. (Chaudhary et al., 2024). Siddique et al. (2024), se centran en el desarrollo de genotipos resistentes al estrés y la ingeniería genética para optimizar cultivos como el algodón y maíz. (Haq et al., 2024) y (Rathod et al., 2024) exploran tecnologías ómicas y marcadores moleculares para mejorar la productividad y adaptabilidad de los cultivos. Además, (Ben-Amar, 2024), (Kumar et al., 2024) y (Sagarbarria et al., 2024) destacan el uso de CRISPR/Cas9 y otras herramientas genéticas para crear cultivos más resistentes y seleccionar plantas mejoradas genéticamente. Estos estudios reflejan un esfuerzo integral por aumentar la productividad y sostenibilidad agrícola frente a desafíos climáticos y ambientales.

Tabla 2
Descripción de la aplicación de Mejora de cultivos

N°	Uso de la aplicación	Autores
1	Se centra en el análisis de proteínas cinasas dependientes de calcio (CDPKs) en la caña de azúcar y su impacto en la defensa contra patógenos, para mejorar el rendimiento y el contenido de azúcar.	(Li et al., 2024)
2	Desarrolla genotipos de algodón más resistentes al estrés salino, mejorando así el rendimiento y la estabilidad de los cultivos en condiciones salinas.	(Chaudhary et al., 2024)
3	Las tecnologías omics (genómica, transcriptómica, proteómica y fenómica) desarrollan cultivos más productivos y adaptables a condiciones climáticas cambiantes.	(Haq et al., 2024)
4	Uso de interruptores moleculares en las plantas para desarrollar cultivos más resistentes al estrés.	(Debnath et al., 2024)
5	La tecnología CRISPR/Cas y la edición genética se utilizan para mejorar los cultivos, acelerar la investigación y enfrentar los desafíos del cambio climático en la agricultura.	(Ben-Amar, 2024)
6	El sistema RUBY reporter se utiliza para confirmar visualmente la transformación genética en soja, lo que facilita la selección de plantas genéticamente editadas y mejoradas.	(Chen et al., 2024)
7	Fortalecimiento del sistema de semillas, mediante la mejora genética para desarrollar variedades resistentes y nutritivas y la capacitación de agricultores.	(Garg et al., 2024)
8	Se centra en el uso de nanotubos de carbono (CNTs) para mejorar la eficiencia de la modificación genética en plantas.	(Yao et al., 2024)
9	Creación de un genoma para la caña de azúcar, lo cual puede acelerar la cría molecular y transgénica, mejorando así el rendimiento y la resistencia de los cultivos.	(Healey et al., 2024)
10	Ingeniería genética y el mapeo de QTL, se utiliza para mejorar el rendimiento y la resistencia de los cultivos, y cómo estas tecnologías pueden incrementar la producción de maíz, caña de azúcar y legumbres.	(Siddique et al., 2024)
11	Los marcadores moleculares y la secuenciación genómica, ha revolucionado la mejora de cultivos al permitir el mapeo, la selección asistida y la caracterización de recursos genéticos.	(Rathod et al., 2024)

12	Desarrollo de Cultivos resistentes, a través de la ingeniería genética, introduciendo genes específicos en los cultivos para hacerlos más resistentes a factores de estrés como sequías, salinidad o plagas.	(Kumar et al., 2024)
13	Trasformación genética de berenjenas para mejorar el cultivo, usando herramientas biotecnológicas como CRISPR/Cas9 para modificar genes y seleccionar plantas resistentes a antibióticos.	(Sagarbarria et al., 2024)

Los artículos revisados (Tabla 3), destacan diversas aplicaciones biotecnológicas de biofertilizantes y biopesticidas que promueven una agricultura más sostenible y eficiente. Estos estudios abarcan desde el uso de microorganismos, plantas y minerales para el control ecológico de plagas (Ly & Ngo, 2024) y la mejora de la salud y resistencia de los cultivos mediante nanopartículas combinadas con compuestos naturales (Zheng et al., 2024) hasta la implementación de hongos micorrízicos y bacterias como alternativas a los insumos químicos tradicionales (Martínez et al., 2024); (De Nardi et al., 2024); (Patani et al., 2024) y (Jayathunga et al., 2024). También se subraya la innovación en nano-sistemas para mejorar la eficacia de estos insumos (Rai et al., 2023) y la importancia de reutilizar residuos agroindustriales (Vassileva et al., 2022). Además, se enfatiza el papel de *Trichoderma spp.* como un componente esencial en la agricultura sostenible, tanto como biofertilizante como biopesticida (Olowe et al., 2022) y (Villao-Uzho et al., 2024).

Tabla 3

Descripción de la aplicación de Biofertilizantes y Biopesticidas

N°	Uso de la aplicación	Autores
1	Producidos de microorganismos, plantas y ciertos minerales, que se utilizan para controlar plaga.	(Ly & Ngo, 2024)
2	Uso de nanopartículas de óxido de magnesio combinadas con melatonina para controlar el nematodo <i>Meloidogyne incognita</i> en cultivos de tomate.	(Zheng et al., 2024)
3	Los elicitores de defensa de plantas, como la proteína del hongo <i>Sar—ocladium oryzae</i> , mejoran la resistencia a enfermedades y promueven el crecimiento saludable.	(Martínez et al., 2024)
4	Uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como biofertilizantes para mejorar la sostenibilidad en el sistema de producción de fresas.	(De Nardi et al., 2024)
5	Biofertilizantes y Biopesticidas basados en <i>Bacillus</i> como una alternativa sostenible a los insumos químicos.	(Patani et al., 2024)
6	Microbiomas fúngicos para desarrollar bioinoculantes más eficientes en la cultura de champiñones y biofertilizantes.	(Jayathunga et al., 2024)
7	Nano-sistemas combinados con moléculas activadoras del microbioma de los cultivos para diseñar nano-biofertilizantes y nano-biopesticidas .	(Rai et al., 2023)
8	Reutilización de residuos agroindustriales mediante métodos.	(Vassileva et al., 2022)
9	Microorganismos para mejorar la fertilidad del suelo, promover el crecimiento de las plantas y protegerlas de plagas y enfermedades .	(Azam et al., 2022)
10	<i>Trichoderma spp.</i> se utilizan como biofertilizantes para mejorar la salud del suelo y como biopesticidas para controlar enfermedades de las plantas.	(Olowe et al., 2022)
11	<i>Trichoderma</i> usado como biofertilizante y biopesticida debido a sus propiedades beneficiosas para las plantas, como la promoción del crecimiento y la protección contra patógenos .	(Villao-Uzho et al., 2024)

La Tabla 04 presenta una lista de diez usos de la biorremediación, destacando diversos estudios y sus autores. Entre las aplicaciones mencionadas se encuentran la eliminación de metales pesados de soluciones utilizando cianobacterias marinas (Ciani et al., 2024), la utilización de microorganismos para limpiar suelos contaminados por pesticidas (Thieffry et al., 2024), y el uso de organismos genéticamente modificados para transformar contaminantes (Jha et al., 2024). Cada entrada del cuadro incluye el uso específico de la aplicación y los autores que han investigado y publicado sobre el tema, proporcionando una visión general de cómo la biotecnología se aplica en la biorremediación para abordar problemas ambientales.

Tabla 4

Descripción de la aplicación de biorremediación

N°	Uso de la aplicación	Autores
1	Eliminación de metales pesados (Cu, Ni, Zn) de soluciones mono y multimetálicas utilizando cianobacterias marinas.	(Ciani et al., 2024)
2	Microorganismos degradantes para limpiar el suelo contaminado por pesticidas y sus productos de degradación.	(Thieffry et al., 2024)
3	Tannasa se utiliza para degradar los taninos presentes en los efluentes de las curtiembres.	(Sutaoney et al., 2024)
4	Nanocelulosa derivada de residuos de piña para reducir residuos.	(Sarangi et al., 2024)
5	Organismos vivos (como bacterias, hongos o plantas) para eliminar o neutralizar contaminantes en el medio ambiente.	(Zeng et al., 2025)
6	EK se utiliza para descontaminar suelos al eliminar metales pesados y materia orgánica.	(Hamdi et al., 2025)
7	mejora de la producción de superóxido por bacterias para abordar problemas de contaminación de suelos.	(Wang et al., 2025)
8	<i>Rhodococcus erythropolis</i> en biorreactores elimina hidrocarburos gaseosos.	(Lamprea Pineda et al., 2025)
9	Haloarquéidos, tienen potencial de ser utilizados en estrategias para tratar salmueras, agua salina, y suelos salinos contaminados.	(Martínez-Espinosa, 2024)
10	Microorganismos genéticamente modificados para transformar contaminantes.	(Jha et al., 2024)

4. CONCLUSIONES

La biotecnología verde ha demostrado ser esencial para mejorar la sostenibilidad en la industria alimentaria, con aplicaciones clave en la mejora de cultivos, biofertilizantes y biopesticidas, y biorremediación. La mejora de cultivos es la aplicación más extendida, permitiendo el desarrollo de variedades más resistentes y productivas, lo que reduce la dependencia de insumos químicos y aumenta la sostenibilidad agrícola. Los biofertilizantes y biopesticidas representan la segunda aplicación más relevante, ofreciendo alternativas ecológicas a los fertilizantes y pesticidas tradicionales, promoviendo una agricultura más sostenible. Finalmente, la biorremediación, como tercera aplicación destacada, se enfoca en la descontaminación de suelos y aguas, utilizando microorganismos para restaurar la calidad ambiental. En conjunto, estas aplicaciones contribuyen significativamente a una agricultura más respetuosa con el medio ambiente y a la reducción de impactos negativos asociados con prácticas químicas intensivas.

5. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

6. CONFLICTO DE INTERÉS

Víctor Hugo Romero Ibáñez **JB**

Paul Alexis Sisniegas Gálvez **ACB**

Elmer Yampier Zamora Sanchez **ACB**

7. REFERENCIAS

Azam, H. M. H., Hussain, N., Mumtaz, M., Jabeen, B., Shahbaz, A., El-Sappah, A. H., Kuddus, M., & Bilal, M. (2022). Applications of microbial biomolecules in sustainable agriculture. En *Microbial Biomolecules: Emerging Approach in Agriculture, Pharmaceuticals and Environment Management* (pp. 429-450). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99476-7.00010-7>

Barcelos, M. C. S., Lupki, F. B., Campolina, G. A., Nelson, D. L., & Molina, G. (2018). The colors of biotechnology: General overview and developments of white, green and blue areas. *FEMS Microbiology Letters*, 365(21). <https://doi.org/10.1093/femsle/fny239>

Ben-Amar, A. (2024). Potential of advanced genome editing tools in plant biotechnology and crop improvement: Progress and challenges. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 158(1). <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02807-4>

- Chaudhary, M. T., Majeed, S., Rana, I. A., Ali, Z., Jia, Y., Du, X., Hinze, L., & Azhar, M. T. (2024). Impact of salinity stress on cotton and opportunities for improvement through conventional and biotechnological approaches. *BMC Plant Biology*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-023-045584>
- Chen, L., Cai, Y., Liu, X., Yao, W., Wu, S., & Hou, W. (2024). The RUBY reporter for visual selection in soybean genome editing. *aBIOTECH*, 5(2), 209-213. <https://doi.org/10.1007/s42994-024-00148-6>
- Chowdhary, P., Mani, S., Shukla, P., & Raj, A. (2022). Microbes and environment: Recent advancement in environmental biotechnology. En *Microbial Biotechnology: Role in Ecological Sustainability and Research* (pp. 3-28). <https://doi.org/10.1002/9781119834489.ch1>
- Ciani, M., Decorosi, F., Ratti, C., De Philippis, R., & Adessi, A. (2024). Semi-continuous cultivation of EPS-producing marine cyanobacteria: A green biotechnology to remove dissolved metals obtaining metal-organic materials. *New Biotechnology*, 82, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2024.04.004>
- De Nardi, F. S., Trentin, T. D. S., Trentin, N. D. S., Costa, R. C. D., Calvete, E. O., Palencia, P., & Chiomento, J. L. T. (2024). Mycorrhizal Biotechnology Reduce Phosphorus in the Nutrient Solution of Strawberry Soilless Cultivation Systems. *Agronomy*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy14020355>
- Debnath, T., Dhar, D. G., & Dhar, P. (2024). Molecular switches in plant stress adaptation. *Molecular Biology Reports*, 51(1). <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09051-7>
- Dementyeva, P., Freudenberg, R. A., Baier, T., Rojek, K., Wobbe, L., Weisshaar, B., & Kruse, O. (2021). A novel, robust and mating-competent *Chlamydomonas reinhardtii* strain with an enhanced transgene expression capacity for algal biotechnology. *Biotechnology Reports*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00644>
- Escobarl, E. D., & Alfaro, R. C. (s. f.). *La biotecnología y su potencial de aplicación en la agricultura moderna*.
- Garg, V., Barmukh, R., Chitikineni, A., Roorkiwal, M., Ojiewo, C., Bohra, A., Thudi, M., Singh, V. K., Kudapa, H., Saxena, R. K., Fountain, J., Mir, R. R., Bharadwaj, C., Chen, X., Xin, L., & Pandey, M. K. (2024). Celebrating Professor Rajeev K. Varshney's transformative research odyssey from genomics to the field on his induction as Fellow of the Royal Society. *Plant Biotechnology Journal*, 22(6), 1504-1515. <https://doi.org/10.1111/pbi.14282>
- Hamdi, F. M., Ganbat, N., Altaee, A., Samal, A. K., Ibrar, I., Zhou, J. L., & Sharif, A. O. (2025). Hybrid and enhanced electrokinetic system for soil remediation from heavy metals and organic matter. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 147, 424-450. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.11.005>
- Haq, S. A. U., Bashir, T., Roberts, T. H., & Husaini, A. M. (2024). Ameliorating the effects of multiple stresses on agronomic traits in crops: Modern biotechnological and omics approaches. *Molecular Biology Reports*, 51(1). <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09042-8>
- Hayashida, G., Schneider, C., Espíndola, L., Arias, D., Riquelme, C., Wulff-Zottele, C., Díaz-Palma, P., & Rivas, M. (2017). Characterization of a Chlorophyta microalga isolated from a microbial mat in Salar de Atacama (northern Chile) as a potential source of compounds for biotechnological applications. *Phycological Research*, 65(3), 202-211. <https://doi.org/10.1111/pre.12176>
- Healey, A. L., Garsmeur, O., Lovell, J. T., Shengquiang, S., Sreedasyam, A., Jenkins, J., Plott, C. B., Piperidis, N., Pompidor, N., Llaca, V., Metcalfe, C. J., Doležel, J., Cápál, P., Carlson, J. W., Hoarau, J. Y., Hervouet, C., Zini, C., Dievert, A., Lipzen, A., ... D'Hont, A. (2024). The complex polyploid genome architecture of sugarcane. *Nature*, 628(8009), 804-810. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07231-4>
- Jayathunga, H., Gunasekara, M., Kavimalee, M., Jayamanna, I., de Zoysa, H. K. S., Hettiarachchi, D. K., & Bamunuarachchige, T. C. (2024). Novel and Conventional Uses of Fungi in Products and Services. *Energy, Environment, and Sustainability, Part F2536*, 519-547. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1152-9_20
- Jha, A., Barsola, B., Pathania, D., Sonu, Raizada, P., Thakur, P., Singh, P., Rustagi, S., Khosla, A., & Chaudhary, V. (2024). Nano-biogenic heavy metals adsorptive remediation for enhanced soil health and sustainable agricultural production. *Environmental Research*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118926>
- Kumar, H., Lata, R., Khan, U., & Gond, S. K. (2024). Biotechnological approaches for crop movement and production. En *Sustainable Agriculture: Nanotechnology and Biotechnology for Crop Production and Protection* (pp. 335-354). <https://doi.org/10.1515/9783111234694-018>

- Lamprea Pineda, P. A., Demeestere, K., Alvarado-Alvarado, A. A., Devlieghere, F., Boon, N., Van Langenhove, H., & Walgraeve, C. (2025). Degradation of gaseous hydrocarbons in aerated stirred bioreactors inoculated with *Rhodococcus erythropolis*: Effect of the carbon source and SIFT-MS method development. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *147*, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.10.020>
- Li, X., Zhong, J., Li, B., Luo, Y., Wang, K., Wang, Y., Ye, Z., Sun, L., Zhang, J., Yang, L., Wang, L., & Zhang, J. (2024). Two putative calcium-dependent protein kinases are involved in the regulation of sugarcane defense genes. *Phytopathology Research*, *6*(1). <https://doi.org/10.1186/s42483-024-00240-1>
- Ly, T. M., & Ngo, B. T. (2024). How do micro-foundational aspects of ambidextrous practices and individual-level behaviors influence the success of collaborations in the biotechnology industry? *Journal of Commercial Biotechnology*, *29*(1), 290-303. <https://doi.org/10.5912/jcb2222>
- Martínez, M., Arata, A., Dinolfo, M. I., Lázaro, L., Welin, B., & Stenglein, S. (2024). Evaluation of PSP1 biostimulant on *Fusarium graminearum*-wheat pathosystem: Impact on disease parameters, grain yield, and grain quality. *Pest Management Science*, *80*(7), 3578-3589. <https://doi.org/10.1002/ps.8062>
- Martínez-Espinosa, R. M. (2024). Halophilic archaea as tools for bioremediation technologies. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *108*(1). <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13241-z>
- Melnik, T. N., Majorina, M. A., Vorobeva, D. E., Nagibina, G. S., Veselova, V. R., Glukhova, K. A., Pak, M. A., Ivankov, D. N., Uversky, V. N., & Melnik, B. S. (2024). Design of stable circular permutants of the GroEL chaperone apical domain. *Cell Communication and Signaling*, *22*(1). <https://doi.org/10.1186/s12964-023-01426-4>
- Oliveira, A. M. D., Anjos Szczerepa, M. M. D., Bronharo Tognim, M. C., Abreu Filho, B. A. D., Cardozo-Filho, L., Gomes, R. G., & Bergamasco, R. (2023). Moringa oleifera seed oil extracted by pressurized n-propane and its effect against *Staphylococcus aureus* biofilms. *Environmental Technology (United Kingdom)*, *44*(8), 1083-1098. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1994653>
- Olowe, O. M., Nicola, L., Asemoloye, M. D., Akanmu, A. O., & Babalola, O. O. (2022). Trichoderma: Potential bio-resource for the management of tomato root rot diseases in Africa. *Microbiological Research*, *257*. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.126978>
- Patani, A., Patel, M., Islam, S., Yadav, V. K., Prajapati, D., Yadav, A. N., Sahoo, D. K., & Patel, A. (2024). Recent advances in Bacillus-mediated plant growth enhancement: A paradigm shift in redefining crop resilience. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *40*(2). <https://doi.org/10.1007/s11274-024-03903-5>
- Rai, S., Omar, A. F., Rehan, M., Al-Turki, A., Sagar, A., Ilyas, N., Sayyed, R. Z., & Hasanuzzaman, M. (2023). Crop microbiome: Their role and advances in molecular and omic techniques for the sustenance of agriculture. *Planta*, *257*(2). <https://doi.org/10.1007/s00425-022-04052-5>
- Rathod, B., Sharma, S., Chakrawarti, N., Vala, A., & Tomar, R. S. (2024). Molecular marker-based approaches for crop improvement. En *Sustainable Agriculture: Nanotechnology and Biotechnology for Crop Production and Protection* (pp. 397-415). <https://doi.org/10.1515/9783111234694-021>
- Sagarbarria, M. G. S., Caraan, J. A. M., Lipio, P. G., Oloc-Oloc, I. B. M., Watanabe, K. N., & Hautea, D. M. (2024). Agrobacterium-mediated Genetic Transformation and Plant Regeneration from Cotyledons in Philippine Eggplant (*Solanum melongena* L.) Acc. 'PH 11424'. *Philippine Agricultural Scientist*, *107*(1), 14-19. <https://doi.org/10.62550/DD042023>
- Sarang, P. K., Srivastava, R. K., Sahoo, U. K., Singh, A. K., Parikh, J., Bansod, S., Parsai, G., Luqman, M., Shadang, K. P., Diwan, D., Lanterbecq, D., & Sharma, M. (2024). Biotechnological innovations in nanocellulose production from waste biomass with a focus on pineapple waste. *Chemosphere*, *349*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140833>
- Siddique, A., Kalangutkar, A., & Kumari, P. (2024). Biotechnological approaches for crop improvement and production. En *Sustainable Agriculture: Nanotechnology and Biotechnology for Crop Production and Protection* (pp. 271-287). <https://doi.org/10.1515/9783111234694-015>
- Sutaoney, P., Akhand, A., Meshram, M., Sinha, S., Joshi, V., & Shahadat, M. (2024). Tannase production using green biotechnology and its applications: A review. *Biochemical Engineering Journal*, *202*. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.109163>
- Thieffry, S., Aubert, J., Devers-Lamrani, M., Martin-Laurent, F., Romdhane, S., Rouard, N., Siol, M., & Spor, A. (2024). Engineering

multi-degrading bacterial communities to bioremediate soils contaminated with pesticides residues. *Journal of Hazardous Materials*, 471. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134454>

Vassileva, M., Mocali, S., Canfora, L., Malusá, E., García del Moral, L. F., Martos, V., Flor-Peregrin, E., & Vassilev, N. (2022). Safety Level of Microorganism-Bearing Products Applied in Soil-Plant Systems. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.862875>

Villao-Uzho, L., Espinoza-Lozano, F., Galarza-Romero, L., & Santos-Ordóñez, E. (2024). Biotechnological tools for genetic improvement of *Trichoderma*. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 213-223. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.016>

Wang, Y., Ning, X., Liang, J., Wang, A., & Qu, J. (2025). Enhancing microbial superoxide generation and conversion to hydroxyl radicals for enhanced bioremediation using iron-binding ligands. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 147, 597-606. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.11.023>

Yao, X., Cui, L., Cheng, H., Ma, H., Ye, T., Bie, Z., & Wu, H. (2024). Research progress of carbon nanotubes in delivery of plant genetic materials. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 32(5), 737-744. <https://doi.org/10.12357/cjea.20230635>

Zeb, U., Aziz, T., Azizullah, A., Zan, X.-Y., Khan, A. A., Bacha, S. A. S., & Cui, F.-J. (2024). Complete mitochondrial genomes of edible mushrooms: Features, evolution, and phylogeny. *Physiologia Plantarum*, 176(3). <https://doi.org/10.1111/ppl.14363>

Zeng, W., Yao, B., Zhou, Y., Yang, J., & Zhi, D. (2025). Combination of electrochemical advanced oxidation and biotreatment for wastewater treatment and soil remediation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 150, 36-53. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.02.036>

Zheng, Y., He, Y., Cui, X., Wang, K., Wang, X., & Wang, Y. (2024). Myco-fabricated MgO nanoparticles exhibited synergistic effect with melatonin in enhancing management of *Meloidogyne incognita* in tomato plants. *South African Journal of Botany*, 171, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.054>