

REVISIÓN

Una agricultura sostenible para la alimentación

Dra. Dania Andrea Di Filippo Herrera^a

^a *Docente investigadora Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.* 

RESUMEN

La evolución hacia la agricultura moderna ha planteado serios problemas para los suelos, el medio ambiente y la salud humana. Desde la década de 1960 se ha advertido sobre los efectos nocivos de los productos químicos empleados en la agricultura, como los pesticidas y los fertilizantes de síntesis, que han dañado el entorno y alterado la flora y la fauna silvestres. Diversos estudios documentan los impactos negativos en el suelo, el agua, la biodiversidad, las economías locales y el bienestar humano. Este trabajo examina las causas y consecuencias de dichas prácticas, así como las soluciones orientadas a reformar el manejo agrícola y avanzar hacia un futuro más sostenible. Se destaca el uso de productos orgánicos —fertilizantes y bioestimulantes— como alternativas viables para promover la sostenibilidad, con énfasis en su composición química y en las bioactividades que ejercen sobre las plantas y los cultivos.

Palabras clave: agricultura sostenible; fertilizantes orgánicos; bioestimulantes; agroecología; impacto ambiental.

A Sustainable Agriculture for Food

ABSTRACT

The evolution toward modern agriculture has posed serious problems for soils, the environment, and human health. Since the 1960s, warnings have been raised about the harmful effects of the chemical products used in agriculture, such as pesticides and synthetic fertilizers, which have damaged the environment and altered wild flora and fauna. Several studies document the negative impacts on soil, water, biodiversity, local economies, and human well-being. This work examines the causes and consequences of these practices, as well as the solutions aimed at reforming agricultural management and moving toward a more sustainable future. The use of organic products —fertilizers and biostimulants— is highlighted as a viable alternative to promote sustainability, with emphasis on their chemical composition and the bioactivities they exert on plants and crops.

Keywords: sustainable agriculture; organic fertilizers; biostimulants; agroecology; environmental impact.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
dania.difilippo@unimeta.edu.co

I. Introducción

El desarrollo de la agricultura comenzó cuando el ser humano comprendió que podía fomentar la producción de alimentos de forma continuada. Ello fue posible gracias a la observación directa del estado de la tierra y del crecimiento de las plantas —en especial tras las crecidas de los ríos que abonaban el suelo—, y a la comparación con suelos no influenciados por esos aportes naturales (Rahman, 2003). Este conocimiento, sumado a la selección de los mejores especímenes de cultivo y, más recientemente, a las modificaciones moleculares y genéticas que mejoran características físicas y químicas de los productos, dio origen a lo que hoy conocemos como agricultura moderna o industrial (Adeolu-Adedibu, 2023).

Sin embargo, aunque desde los años sesenta comenzaron a observarse las consecuencias de estas prácticas sobre los ecosistemas y la salud humana, aún persiste el uso de productos químicos dañinos. Pese a los efectos adversos evidentes, se siguen empleando prácticas como el cultivo intensivo y extensivo, que contribuyen al agotamiento de los suelos y a la pérdida de biodiversidad (Naciones Unidas, 2018).

Este artículo analiza el estado actual de las prácticas agrícolas y los cambios implementados para lograr una agricultura sostenible que minimice el impacto negativo sobre los ecosistemas, el medio ambiente y la salud humana. Se organiza en cuatro ejes: los productos de nutrición vegetal, la sostenibilidad de la agricultura y su vínculo con los ODS, los efectos adversos de los insumos químicos, y las alternativas orgánicas.

II. Metodología

Este trabajo corresponde a una revisión documental de carácter divulgativo. Se consultó literatura científica reciente —artículos, informes de organismos internacionales (FAO, ONU) y publicaciones especializadas— sobre agricultura sostenible, fertilizantes y bioestimulantes, priorizando las fuentes de la última década. La información se organizó de manera temática en torno a los productos de nutrición vegetal, los efectos ambientales y sanitarios de los insumos químicos, y las alternativas orgánicas.

III. Productos agrícolas de nutrición vegetal

El desarrollo de la agricultura surgió de la necesidad de satisfacer la demanda alimentaria de poblaciones crecientes. No fue hasta la década de 1960 cuando se produjo

una transformación profunda: selección de semillas de alta calidad, modificación genética de especies, optimización de métodos de cultivo, producción de nutrientes para el suelo y las plantas, y formulación de plaguicidas para aumentar la producción y proteger las cosechas.

A. Fertilizantes

Los fertilizantes son productos esenciales para los cultivos, ya que las plantas necesitan un suministro adecuado de nutrientes para un desarrollo óptimo (McHugh, 2002). La FAO define como fertilizante cualquier material de origen natural o mineral que contenga al menos un 5 % de uno o más de los tres nutrientes primarios: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (McHugh, 2002). Como las actividades agrícolas agotan los nutrientes del suelo, los agricultores emplean estrategias como la rotación de cultivos, el descanso de los suelos y el uso de fertilizantes o abonos (Giraud-Billoud & Lascano, 2020).

Los fertilizantes se clasifican en tres categorías. Los químicos son fabricados por el ser humano y suelen ser de origen mineral, animal, vegetal o sintético; contienen los tres nutrientes esenciales (N, P, K). Los orgánicos tienen poca o nula intervención humana en su preparación y pueden ser de origen mineral, vegetal, animal o mixto. Los inorgánicos se derivan de rocas y minerales y se aplican para aumentar la fertilidad (Giraud-Billoud & Lascano, 2020).

B. Bioestimulantes de crecimiento vegetal

Un bioestimulante vegetal es cualquier sustancia o microorganismo que, aplicado a las plantas, mejora la eficiencia en la nutrición, la tolerancia al estrés abiótico o las características de calidad de los cultivos, con independencia de su contenido de nutrientes; el término abarca también los productos comerciales que combinan estas sustancias o microorganismos (du Jardin, 2015; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Los bioestimulantes se clasifican en siete categorías, sintetizadas en la Fig. 1: proteínas hidrolizadas, quitosano y otros polímeros, hongos beneficiosos, bacterias benéficas, extractos de algas y plantas, elementos inorgánicos, y humus (du Jardin, 2015; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023).

Las proteínas hidrolizadas facilitan la disponibilidad de aminoácidos que actúan como bioestimulantes y sirven de materia prima para la síntesis de nuevas proteínas (du Jardin, 2015; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). El

Figura 1. Categorías de bioestimulantes de crecimiento vegetal.



Fuente: elaboración propia a partir de (Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023)

quitosano y otros biopolímeros, biodegradables, activan los mecanismos de defensa de las plantas y mejoran su respuesta al estrés por salinidad, sequía o temperaturas extremas (Baltazar *et al.*, 2021; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Los hongos micorrícicos se asocian a las raíces en una simbiosis que mejora la defensa frente al estrés, la disponibilidad de nutrientes y el control de plagas (Cristofano *et al.*, 2021; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Las bacterias benéficas estimulan promotores del crecimiento y mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes (Ma *et al.*, 2022; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Las algas y plantas aportan fitohormonas y polisacáridos con actividad hormonal (Cristofano *et al.*, 2021; Gómez-Merino *et al.*, 2021; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Los elementos inorgánicos —aluminio, cerio, cobalto, yodo, lantano, sodio, selenio, silicio, titanio y vanadio—, aunque no son nutrientes, promueven el desarrollo vegetal (Jindo *et al.*, 2020; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023). Por último, el humus, derivado de la degradación de materia orgánica, libera nutrientes de forma gradual y favorece el crecimiento radicular (FAO, 2016; Muñoz-Ibarra *et al.*, 2023).

IV. Sostenibilidad de la agricultura para la alimentación

Desde hace más de tres décadas, la FAO ha promovido la sostenibilidad mediante proyectos educativos y programas de financiamiento orientados a una producción de alimentos más respetuosa con el medio ambiente. Como la producción de alimentos es esencial para la supervivencia humana y de los ecosistemas, resulta fundamental transformar las prácticas agrícolas que hoy contaminan la biota, reducen la biodiversidad y afectan el agua y la atmósfera (Dudley & Alexander, 2017; FAO, 2018; FAO *et al.*, 2024).

A. Agenda 2030, ODS y agricultura

En 2015, la ONU estableció la Agenda 2030, con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) orientados a reducir el impacto negativo de las actividades productivas (Naciones Unidas, 2018). En 2018, la FAO publicó veinte acciones interconectadas para transformar la alimentación y la agricultura en función de los ODS (FAO, 2018). Estas acciones se apoyan en cinco principios que equilibran las dimensiones social, económica y ambiental (Fig. 2).

Figura 2. Cinco principios de la FAO para una alimentación y una agricultura sostenibles.

- 1 Aumentar la productividad, el empleo y el valor añadido en los sistemas de alimentación
- 2 Proteger e impulsar los recursos naturales
- 3 Mejorar los medios de subsistencia y fomentar el crecimiento económico inclusivo
- 4 Potenciar la resiliencia de las personas, las comunidades y los ecosistemas
- 5 Adaptar la gobernanza a los nuevos retos

Fuente: elaboración propia a partir de (FAO, 2018).

V. Efectos adversos de los insumos químicos

La adición de nutrientes a los suelos y cultivos es indispensable para la producción mundial de alimentos (Muñoz-Morales *et al.*, 2024). Sumada al crecimiento demográfico —8000 millones de personas en 2022, con una proyección de 9700 millones para 2050 y 10 400 millones hacia 2080—, esta necesidad presiona hacia la agricultura intensiva. Sin embargo, el uso indiscriminado de fertilizantes contamina el agua, la atmósfera y el suelo (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014).

El exceso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados provoca la eutrofización del agua, reduce el oxígeno disuelto y altera la flora y la fauna locales (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014; Wimalawansa, 2014). Algunos fertilizantes nitrogenados liberan óxido nitroso (N₂O), un potente gas de efecto invernadero (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014). El uso continuo y no controlado acidifica el suelo y provoca la pérdida de su biodiversidad y fertilidad a largo plazo (del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014; Wimalawansa, 2014).

Los pesticidas, por su parte, controlan plagas, enfermedades y malezas, pero su uso excesivo o incorrecto causa daños ambientales graves (Kumar *et al.*, 2013; Wimalawansa, 2014). Son arrastrados por la lluvia o el riego hasta ríos, lagunas y acuíferos, contaminan fuentes de agua potable y resultan tóxicos para organismos acuáticos (Dasgupta *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 2013; Wimalawansa, 2014). Su uso continuo genera resistencia en las plagas, lo que eleva las concentraciones aplicadas y la búsqueda de productos más tóxicos (Dasgupta *et al.*, 2007). Además, degradan el suelo al alterar su microbiota y su fertilidad, y algunos persisten durante largos períodos (Borges Araujo Frota & Siqueira, 2021; Kumar *et al.*, 2013; Wimalawansa, 2014).

A. Impacto de los pesticidas en la salud humana

Los riesgos para la salud dependen del tipo de pesticida, la cantidad, el nivel de exposición y la vulnerabilidad de la persona (Lima-Moncayo & Zambrano-Gavilanes, 2023; Wimalawansa, 2014). Los trabajadores agrícolas son los más expuestos y pueden sufrir efectos agudos —irritación, dolores de cabeza, mareos, náuseas e intoxicación— y crónicos, como enfermedades del sistema nervioso asociadas a organofosforados. El glifosato, uno de los pesticidas más usados, ha sido clasificado por la OMS como posible carcinógeno, aunque la evidencia sigue en debate. Algunos pesticidas alteran el sistema endocrino y afectan el desarrollo sexual, la fertilidad y el desarrollo fetal (Lima-Moncayo & Zambrano-Gavilanes, 2023). A ello se suma la exposición crónica a residuos en los alimentos, vinculada en algunos estudios con enfermedades autoinmunes y problemas de fertilidad (Chew *et al.*, 2019).

VI. Alternativas orgánicas para una agricultura sostenible

Para mitigar los impactos sobre el medio ambiente y la salud es necesario investigar, producir y utilizar productos amigables con el entorno, y transformar la

forma de hacer agricultura. La FAO y la ONU apuestan por una agricultura sostenible a través de la educación, los proyectos de desarrollo sostenible y normativas más exigentes (FAO, 2018; FAO *et al.*, 2024). Desde hace más de cincuenta años, investigadores y productores desarrollan productos agrícolas orgánicos (Garrido *et al.*, 2019), y el mercado de fertilizantes y bioestimulantes ofrece cada vez más alternativas de bajo impacto.

A. Fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes orgánicos enriquecen el suelo y aportan nutrientes a partir de fuentes naturales —restos de animales, plantas y microorganismos—, sin sustancias sintéticas (Iqbal *et al.*, 2021). Se descomponen lentamente, liberando nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, y mejoran la estructura del suelo, la actividad microbiana y la retención de agua (Iqbal *et al.*, 2021). Entre los más comunes están el estiércol (Prasad *et al.*, 2017), el compost y el humus de lombriz (Tahat *et al.*, 2020), y los biofertilizantes derivados de microorganismos (Tahat *et al.*, 2020). Sus beneficios incluyen la mejora de la salud del suelo (Rajabi-Hamedani *et al.*, 2020), la reducción de la contaminación, la sostenibilidad por reutilización de desechos, el aumento de la fertilidad a largo plazo, la mejora de la biodiversidad y la resiliencia (Rouphael & Colla, 2020), y la protección de la salud humana (Iqbal *et al.*, 2021).

B. Bioestimulantes orgánicos

Los bioestimulantes son sustancias naturales o microorganismos que promueven el crecimiento, mejoran la resistencia al estrés y optimizan el uso de nutrientes; aunque no aportan nutrientes directamente, mejoran la eficiencia de los procesos biológicos (Sylvester *et al.*, 2020). Mejoran el rendimiento y la resistencia de las plantas en condiciones de estrés (Sylvester *et al.*, 2020), optimizan el uso de nutrientes del suelo (du Jardin, 2015), reducen la dependencia de productos químicos al fortalecer las defensas naturales (Gómez-Merino *et al.*, 2021) y mejoran la calidad del suelo (Sylvester *et al.*, 2020). Su gestión adecuada, acompañada de investigación y de capacitación a los agricultores, impulsa la agricultura sostenible (Gómez-Merino *et al.*, 2021).

La Tabla I sintetiza la comparación entre los insumos químicos y los orgánicos en las principales dimensiones de la sostenibilidad.

No obstante, el uso de insumos orgánicos también tiene limitaciones que deben reconocerse: la liberación más lenta de nutrientes puede resultar insuficiente ante demandas altas y puntuales del cultivo; su composición es más variable y difícil de estandarizar; y su eficacia depende de una gestión y una capacitación adecuadas. Por ello, tanto los fertilizantes como los bioestimulantes deben gestionarse cuidadosamente para maximizar sus beneficios y minimizar los impactos negativos.

Como alternativas complementarias se recomiendan los pesticidas orgánicos o biológicos, menos tóxicos, y las prácticas agrícolas integradas —como el manejo integrado de plagas y el control biológico—, que reducen la dependencia de los pesticidas químicos.

VII. Conclusión

Aunque existen cada vez más fertilizantes y bioestimulantes orgánicos, y un mayor número de agricultores y gobiernos comprometidos con la sostenibilidad, todavía se emplean insumos dañinos para la salud humana y el medio ambiente. La agricultura actual sigue generando pérdida de fertilidad de los suelos, pérdida de flora y fauna, y contaminación del agua y la atmósfera. Frente a ello, tres líneas resultan decisivas: la educación ambiental de estudiantes, población general y, en especial, propietarios de tierras y agricultores; la disponibilidad de productos orgánicos que suplan las necesidades nutricionales del suelo y las plantas y fortalezcan sus defensas; y la adopción de prácticas de cultivo que reduzcan la presión de plagas. Avanzar en estas líneas es la vía para transformar la forma de sembrar y mantener los cultivos, y alcanzar una verdadera sostenibilidad alimentaria.

Tipo de artículo

Artículo de divulgación.

Procedencia

Producto de divulgación científica.

Financiación

Sin financiación externa.

TABLA I. Comparación entre insumos químicos y orgánicos

Dimensión	Insumos químicos	Insumos orgánicos
Aporte de nutrientes	Rápido y de alta concentración	Gradual y sostenido
Efecto sobre el suelo	Acidificación y pérdida de fertilidad a largo plazo	Mejora de estructura, microbiota y retención de agua
Contaminación de agua	Eutrofización; residuos en acuíferos	Baja; sin residuos tóxicos
Emisiones	Óxido nitroso (N ₂ O) por nitrogenados	Reducidas
Salud humana	Riesgo por residuos y exposición	Menor riesgo de exposición
Sostenibilidad	Limitada; dependencia creciente	Alta; reutiliza desechos orgánicos

Nota. Elaboración propia a partir de las fuentes citadas.

Declaración de conflicto de intereses:

La autora declara no tener ningún conflicto de interés que pueda haber influido en los resultados o la interpretación de este trabajo.

Referencias

- Adeolu-Adedibu, P. (2023). Ecological problems of agriculture: Impacts and sustainable solutions. *ScienceOpen Preprints*.
- Baltazar, M., et al. (2021). Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules*, 11, Artículo 1096.
- Borges Araújo Frota, M. T., & Siqueira, C. E. (2021). Pesticidas: los venenos ocultos en nuestra mesa. *Cadernos de Saúde Pública*, 37(2), e00004321.
- Chew, K. W., et al. (2019). Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. *Sustainability*, 11, 1–20.
- Cristofano, F., El-Nakhel, C., & Rouphael, Y. (2021). Biostimulant substances for sustainable agriculture: Origin, operating mechanisms and effects. *Biomolecules*, 11, Artículo 1103.
- Dasgupta, S., et al. (2007). Pesticide poisoning of farm workers: Implications of blood test results from Vietnam. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 210(2), 121–132.
- del Puerto-Rodríguez, A. M., Suárez-Tamayo, S., & Palacio-Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372–387.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.
- Dudley, R. C., & Alexander, S. (2017). *Impactos ambientales del uso de fertilizantes*.
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA, & OMS. (2024). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024*. FAO.
- FAO. (2016). *Agricultura sostenible. Una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2018). *Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS. 20 acciones interconectadas para guiar a los encargados de adoptar decisiones*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Garrido, E. C., Rocha, Â. M., Santos, D. A., & Gomila, J. M. V. (2019). Tecnologías para a produção de biofertilizantes: tendências e oportunidades. *Cadernos de Prospecção*, 12, 665–679.
- Giraud-Billoud, M. A., & Lascano, M. L. (2020). *Fertilizantes orgánicos: un fortalecimiento de la agroecología*.
- Gómez-Merino, F. C., et al. (2021). Los bioestimulantes: una potente alternativa para mejorar la producción de caña de azúcar. *ATAM*, 34(3), 6–9.
- Iqbal, A., et al. (2021). Co-incorporation of manure and inorganic fertilizer improves leaf physiological traits, rice production and soil functionality. *Scientific Reports*, 11, 1–16.
- Jindo, K., et al. (2020). From lab to field: Role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. *Frontiers in Plant Science*, 11, Artículo 426.
- Kumar, S., Sharma, A. K., Rawat, S. S., Jain, D. K., & Ghosh, S. (2013). Use of pesticides in agriculture and livestock animals and its impact on environment of India. *Asian Journal of Environmental Science*, 8(1), 51–57.
- Lima-Moncayo, A. O., & Zambrano-Gavilanes, F. (2023). Uso de fertilizantes orgánicos en la producción de cucurbitáceas: revisión de literatura. *Paideia XXI*, 13(1), 141–159.
- Ma, Y., Freitas, H., & Dias, M. C. (2022). Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, Artículo 1024243.
- McHugh, D. J. (2002). *Prospects for seaweed production in developing countries* (FAO Fisheries Circular n.º 968). FAO.
- Muñoz-Ibarra, C. L., López-Domínguez, J., & Cruz-Cruz, C. A. (2023). Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular*, (2), 46–52.
- Muñoz-Morales, J. M., Capilla-Otero, M. M., & Gordillo-Ibarra, X. (2024). El impacto del uso inadecuado de agroquímicos y riego intensivo en la degradación del suelo: del cultivo al yermo. *AyTBUAP*, 9(34), 65–70.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3). ONU.
- Prasad, H., Sajwan, P., Kumari, M., & Solanki, S. P. S. (2017). Effect of organic manures and biofertilizer on plant growth, yield and quality of horticultural crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 5, 217–221.
- Rahman, S. (2003). Environmental impacts of modern agricultural technology diffusion in Bangladesh: An analysis of farmers' perceptions and their determinants. *Journal of Environmental Management*, 68, 183–191.
- Rajabi-Hamedani, S., Rouphael, Y., Colla, G., Colantoni, A., & Cardarelli, M. (2020). Biostimulants as a tool for improving environmental sustainability of greenhouse vegetable crops. *Sustainability*, 12, Artículo 5101.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10, Artículo 1461.
- Sylvester, J., et al. (2020). A rapid approach for informing the prioritization of degraded agricultural lands for ecological recovery: A case study for Colombia. *Journal for Nature Conservation*, Artículo 125921.
- Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., & Leskovar, D. I. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12, Artículo 4859.
- Wimalawansa, S. (2014). Escalating chronic kidney diseases of multi-factorial origin in Sri Lanka: Causes, solutions, and recommendations. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 19(6), 375–394.