



Received: Aug 04, 2024 / Accepted: Oct 09, 2024

Artículo de revisión

Prácticas agrícolas de fertilización en la producción de los cultivos: una revisión de literatura

Agricultural fertilization practices in crop production: a literature review

V. A. Cáceres-Salazar*¹ 



<https://doi.org/10.51431/par.v6i2.970>

Resumen

Objetivos: Describir las adecuadas y eficientes prácticas agrícolas de fertilización que aporten de manera positiva en la producción de los cultivos y con un mínimo de contaminación del ambiente, además es dar a conocer la importancia de los abonos orgánicos en la agricultura. **Metodología:** Para la localización de documentos bibliográficos se utilizaron distintas bases de datos; después, se procedió a seleccionar los artículos que priorizan los fundamentos teóricos de fertilización agrícola. Para comenzar con la elaboración del artículo de revisión se procedió al análisis documental, la discusión grupal y la evaluación de la calidad de los artículos hallados. **Resultados:** Es importante realizar un análisis del suelo para determinar las cantidades de nutrientes presentes, y con ello evitar los excesos en la fertilización, añadiendo los nutrientes adecuados en la proporción correcta. Esto ayuda a evitar la sobre-fertilización y a aplicar los nutrientes de la forma correcta. **Conclusión:** La fertilización adecuada contribuye al crecimiento saludable de las plantas, aumenta la producción de cultivos y puede ser un componente crucial en la agricultura sostenible.

Palabras clave: fertilizante orgánico; compost; contaminación del ambiente; agricultura saludable

Abstract

Objectives: To describe the appropriate and efficient agricultural fertilization practices that contribute positively to crop production with minimal environmental contamination, and to raise awareness of the importance of organic fertilizers in agriculture. **Methodology:** Different databases were used to locate bibliographic documents; then, articles that prioritized the theoretical foundations of agricultural fertilization were selected. To begin preparing the review article, a documentary analysis, group discussion, and quality evaluation of the articles found were carried out. **Results:** It is important to perform a soil analysis to determine the amounts of nutrients present, and thus avoid excesses in fertilization, adding the appropriate nutrients in the correct proportion. This helps to avoid over-fertilization and to apply nutrients correctly. **Conclusion:** Adequate fertilization contributes to healthy plant growth, increases crop production, and can be a crucial component in sustainable agriculture.

Keywords: organic fertilizer; compost; environmental pollution; healthy agriculture

¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz-Perú

*Correspondencia al autor: acaceress@unasam.edu.pe

Introducción

La conservación de los ecosistemas agrícolas o agroecosistemas reviste una gran importancia para la seguridad alimentaria del planeta, por cuanto ellos contienen los elementos necesarios (suelo, agua y biodiversidad) que son consustanciales a la producción agropecuaria. Aunque la agricultura es una forma necesaria en el uso de las tierras que se encuentra en oposición a los ecosistemas, debido a que las decisiones sobre las prácticas de manejo y uso del suelo influyen en los procesos ecológicos y en las interacciones suelo-agua-plantas, estas decisiones deben tener en cuenta que la calidad de vida de las personas y su bienestar dependen en última instancia del bienestar del ecosistema.

Por otro lado, la necesidad mundial de alimentación, bajo el contexto de cambio climático que afrontamos constantemente exige el uso adecuado de los recursos para la producción. Una estrategia ante tal reto son las prácticas agrícolas eficientes, tales como, un correcto análisis de suelo y una adecuada fertilización, para obtener alimentos en cantidad y calidad. Por ende, es importante que los agricultores sean conocedores de las buenas prácticas de fertilización, que no sólo les genere mayor productividad, sino además el cuidado de los suelos y que no pongan en riesgo la seguridad alimentaria actual y futura. Además, Li et al. (2021), señalan que los planes de manejo de cultivos se ven afectados por los límites de suministro de fertilizantes y los contenidos de nutrientes.

En la agricultura familiar se genera estiércol animal que pudiera transferirse de manera eficiente a cultivos cercanos y usarse como fertilizante para los cultivos. Sin embargo, en áreas sin existencias, donde los fertilizantes orgánicos son de baja disponibilidad, el uso de compost de residuos sólidos municipales es una valiosa alternativa al estiércol o lodos de depuradora (Ros et al., 2006).

Además, los biofertilizantes son beneficiosos porque reemplazan los minerales nutrientes, nitrógeno (N) y fósforo (P) en particular, mientras se reducen los fertilizantes sintéticos el uso y la transferencia potencial de nutrientes del suelo al agua y la atmósfera (Zoboli et al., 2016; Case y Jensen, 2019).

El objetivo de esta revisión es dar a conocer las adecuadas y eficientes prácticas agrícolas de

fertilización que aporten de manera positiva en la producción de los cultivos y con un mínimo de contaminación del ambiente, además es dar a conocer la importancia de los abonos orgánicos en la agricultura, el cual contribuye al mejoramiento del proceso de fertilización del suelo a través de la incorporación de nutrientes y microorganismos.

Metodología

En este estudio de revisión bibliográfica, documental y descriptivo, se identifica y analiza las características de la fertilización de las tierras de cultivo desde distintos puntos de vista, tales como: contaminación del suelo y el aire con la fertilización, pérdida de Nitrato en el suelo a través de la lixiviación, Automatización del proceso de fertilización y abonos orgánicos como alternativas de fertilización; para lo cual se ejecutaron las siguientes actividades: definición de los criterios de búsqueda; búsqueda y selección de documentos acorde con los criterios establecidos; selección y sistematización de la información; análisis de la información acorde con las categorías identificadas; generalización y comparación del análisis con otras investigaciones relacionadas. La búsqueda de documentos se dio en diversas bases de datos, como: Scopus con la siguiente ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (agricultural "fertilization planning") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")), Scielo con la siguiente ecuación de búsqueda: Agricultural "fertilization planning" y Sciencedirect con la ecuación de búsqueda: Agricultural "fertilization planning"Title, abstract, keywords:Agricultural "fertilization planning", considerando como fecha de consulta octubre de 2022, encontrándose un total de 131 artículos científicos, de los cuales se realizaron los filtros. El criterio de elección de estas bases de datos, obedece al alto factor de impacto que han alcanzado en los diferentes sistemas de indexación. Una vez elegidos los documentos, se elaboraron los diferentes análisis de manera descriptiva a partir de las categorías enunciadas.

Resultados y discusión

Propiedades químicas del suelo

Es importante fortalecer el uso de fertilizantes orgánicos, los cuales mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Muñoz y Cruz, 1984). Moretti et al. (2020), nos muestran los beneficios que provee el uso de este tipo de

fertilizantes, los cuales se ven reflejados en las propiedades químicas que producen para los suelos. Además, los desechos orgánicos representan grandes reservorios de nutrientes que pueden ser utilizados directamente o recuperados y concentrados para su uso en la fabricación de diversos fertilizantes (Bolzonella et al., 2018; Chojnacka et al., 2019).

Desafortunadamente, poco se ha investigado sobre las propiedades de liberación de nutrientes de los desechos, procesados después de agregarlos al suelo (Case y Jensen, 2019). La cuantificación del valor obtenido al sustituir los fertilizantes minerales tradicionales por productos reciclados es extremadamente importante (Zoboli et al., 2016) por varias razones: correcta planificación de la fertilización, brechas de rendimiento, reducción del impacto ambiental y difusión efectiva de prácticas agrícolas (Chojnacka et al., 2019).

Contaminación del suelo y el aire con la fertilización

Jovarauskas et al. (2021) determinaron con la evaluación durante cinco años que cuando se utilizaron VRF (fertilización de tasa variable), las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) fueron un 9,4% más bajas que cuando se utilizó CF (fertilización convencional). Además, la evaluación ambiental de estas tecnologías mostró que los fertilizantes nitrogenados representaban aproximadamente la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Hashem & Qi (2021) mencionan que la reutilización de TW (Aguas Residuales Tratadas) se ha convertido en parte del programa de extensión para impulsar la utilización de los recursos hídricos. Sin embargo, la aplicación descontrolada de tales aguas tiene muchos efectos desfavorables tanto en los suelos como en las plantas, especialmente a largo plazo. Para reducir estos efectos desfavorables cuando se usa TW (Aguas Residuales Tratadas) en el riego, se deben seguir pautas adecuadas para la reutilización y el manejo de aguas residuales y así limitar efectos negativos de manera significativa.

Esparcir o distribuir fertilizantes sobre la superficie provoca una gran emisión de amoníaco, por lo que se hace imprescindible inyectar fertilizantes líquidos y enterrar fertilizantes sólidos, sobre todo en presencia de humedad del suelo. Por otro lado, la lluvia abundante o el riego inmediatamente después de la aplicación tienen el

efecto de reducir la emisión de amoníaco tanto para la urea como para el digestato. Además, que el uso de digestato de lodos de depuradora como fertilizante en la agricultura puede reemplazar a la urea sin aumentar la emisión de amoníaco (Zilio et al., 2021).

Un digestato muy estable puede resolver los problemas de mineralización descontrolada propios de las biomásas menos estables utilizadas en la agricultura (es decir, purines o estiércol), sin riesgos de lixiviación de N, ni de emisiones de gases (amoníaco o GEI). Si el digestato se dosifica equiparando la cantidad de $\text{NH}_4\text{-N}$ a un fertilizante sintético, y la cantidad de N orgánico asimilado a la de un mejorador de suelo bien estabilizado, el rendimiento de grano producido es equivalente al obtenido usando una dosis similar de urea UN (fertilizante sintético), con eficiencias de uso de fertilizantes nitrogenadas muy similares (Zilio et al., 2022).

Pérdida de Nitrato en el suelo a través de la lixiviación

Las mejores prácticas de manejo efectivas para controlar la pérdida de Nitrato por lixiviación deben basarse en esquemas de riego y fertilización técnicamente sólidos en términos de tiempo, dosis y tipo de fertilizante para adaptarse a las condiciones específicas del sitio. Tal enfoque es un avance importante hacia la reducción de la contaminación por nitratos de los recursos hídricos mientras se mantiene un alto rendimiento de los cultivos en los sistemas agrícolas (Zheng et al., 2020).

Huang et al. (2022), observaron que la lluvia fue la principal causa de la filtración del agua y la lixiviación de nitrógeno. Con base en el análisis de escenarios considerando el rendimiento del cultivo, WP (productividad del agua) y NUE (eficiencia en el uso de nitrógeno), se recomienda la cantidad de riego óptima de 80–97 mm para el cultivo de maní en esta región. Demostramos que el modelo AHC (Agro-Hydrological & chemical and Crop systems simulator) podría usarse para desarrollar estrategias de gestión del agua para maní en el noreste de China para conservar el agua y mantener la agricultura.

Macronutrientes y micronutrientes para el crecimiento de las plantas

Helfrich et al. (2020) establecen que la dinámica del mineral Nitrógeno y N_2 emisiones de Oxígeno luego de la conversión química y

mecánica de pastizales permanentes a tierras de cultivo (maíz) en dos sitios con diferente textura (franco arcilloso y franco arenoso) y régimen de fertilización (con y sin fertilización con Nitrógeno mineral) durante un período de dos años. Los niveles de Nitrógeno mineral del suelo aumentaron poco después de la conversión y permanecieron elevados en las parcelas convertidas en comparación con los pastizales permanentes o las tierras de cultivo a largo plazo en el segundo año de investigación.

Qin et al. (2021) señalaron que el contenido de N de la hoja y el porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante nitrogenado (NDFF) mejoraron a través de la modulación del metabolismo del N, mientras que la eficiencia del uso de nitrógeno (NUE) disminuyó a medida que aumentó el suministro de N. El N en la hoja se correlacionó positivamente con el NDFF y la expresión génica relativa de enzimas asimiladas con N, pero se asoció negativamente con NUE.

En la mayoría de las situaciones, el suministro de N del suelo disminuye con el aumento de la fertilización con N, y se debe tener en cuenta los factores climáticos y de fertilización. La investigación encontró que la fracción de N recuperado por el cultivo es muy variable, por ello un método adecuado para estimar el suministro de N del suelo debería ser rentable para generar una amplia base de datos y menos costoso de lo que ahora significa (Ratjen & Kage, 2018).

Reyes-Moreno et al. (2021), encontraron algunas referencias significativas entre algunos tratamientos en CIC, N, P, materia orgánica (MO) y carbono Orgánico (CO). De los tratamientos realizados el que tiene mayor CIC promedio fue el de $B_{40}S_{50}$ con un aumento del 750% seguido de $B_{80}S_{100}$ con un aumento del 500% aproximadamente. En cuanto a las variables N, P, OM y OC, los promedios más altos se encontraron en la $B_{80}S_{100}$ tratamiento.

Automatización del proceso de fertilización

Río et al. (2011) desarrollaron una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para un manejo seguro y sostenible del estiércol de ganado como fertilizante en pastizales, controlar y limitar la acumulación de metales en el suelo y reducir la bio transferencia de metales del suelo a otros compartimentos, en base a un modelo multicompartimental de evaluación de riesgos ambientales y un enfoque dinámico a largo plazo,

considerando la persistencia de los metales en el medio ambiente. El sistema brinda información a los agricultores y a los responsables de la formulación de políticas; además estima el contenido máximo permitido de metales del estiércol y los tiempos máximos de aplicación en un escenario. Los niveles de metales en el suelo como Cd, Cu y Zn se debían principalmente a la aplicación continua de estiércol de ganado como fertilizante. El sistema de toma de decisiones se aplicó a toda la zona, representada por muestras de estiércol y suelo de las diferentes fincas que integran la cooperativa. El origen de las concentraciones de metales en el suelo en esta área fue previamente investigado por análisis estadístico multivariado, específicamente Análisis de Componentes Principales (PCA), Análisis de Conglomerados (CA) y Matriz de Correlación (CM).

Por otro lado, la agricultura climáticamente inteligente (CSA, por sus siglas en inglés) aumenta de manera sostenible la productividad, mejora la resiliencia, reduce/elimina los gases de efecto invernadero cuando es posible. Los suelos son una palanca para mejorar la huella de carbono de la agricultura, como sumideros de carbono. La mejora del contenido de carbono orgánico del suelo (COS), en particular en los agrícolas es una de las medidas que permiten mejorar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas. Los compost pueden verse como una materia prima importante, apoya el desarrollo de estrategias de enmiendas orgánicas que permitan aumentar el contenido de COS de los suelos, mediante una metodología novedosa para optimizar la programación mensual de enmiendas de compost y fertilizantes minerales que maximiza la salud del suelo (Ramos-Castillo et al., 2021).

Abonos orgánicos como alternativas de fertilización

La segregación correcta de los residuos orgánicos conlleva a la obtención de un buen compost, que contiene micronutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Asimismo, disminuye la emisión de los gases de efecto invernadero, retiene carbono en el suelo, mejorando su potencial. Moretti et al. (2020), obtuvieron el compost de acuerdo con los procedimientos adoptados por ACEA Pinerose Industriale S.p.A., utilizando un sistema anaeróbico-aeróbico sistema de digestión integrado. Primero los residuos sólidos

municipales se trituraron, a los que se les añadió agua y vapor hasta que la mezcla alcanzó un contenido de sólidos del 12% y una temperatura de 55°C. La digestión se produjo entre 14 y 16 días, después de lo cual la mezcla gaseosa liberada durante el proceso fue removida y se utiliza para producir energía eléctrica y térmica a través de un motor o se actualizó a biometano. Los lodos de depuración restantes fueron deshidratados, de igual manera las virutas de poda verde doméstica y urbana. Se agregaron residuos de horticultura (residuos verdes). Finalmente, el lodo se sometió al proceso de dos fases de compostaje. Durante la primera fase, bio-oxidación activa, la masa se degradó aeróbicamente durante unos 28 días durante los cuales alcanzó temperaturas de 65–70°C. En la segunda fase, el producto pasó por una maduración, durante la cual se volvió más estable en el transcurso de unos tres meses. Al final, la temperatura descendió por debajo de los 40°.

Grigatti et al. (2019) señalan que el DC (biorresiduos digeridos anaeróbicamente) y SSC (lodos de depuradora) pueden representar fuentes valiosas de Nitrógeno disponibles para la nutrición de las plantas a corto plazo, y también representan fuentes valiosas del fósforo a mediano plazo, alternativa a los fertilizantes de fósforo de roca fosfórica. Pero este enfoque necesita mayor investigación a escala de campo para confirmar la capacidad a mediano y largo plazo de los compost y convertirse en una alternativa a los fertilizantes de fósforo en base a la roca fosfórica.

Grigatti et al. (2019) determinan que el SCE (fertilización con fósforo mediante extracción química secuencial), junto con las pruebas de suelo, demostró ser una herramienta confiable y rápida para determinar la utilización potencial de la planta de fósforo durante un período de cultivo a mediano plazo. Por lo tanto, los planes de fertilización podrían adaptarse en función de la disponibilidad teórica de fósforo determinada a través de SCE (fertilización con fósforo mediante extracción química secuencial) y la capacidad de adsorción de fósforo del suelo, modulando así la demanda de Nitrógeno del cultivo.

Zilio et al. (2022) mostraron que utilizar un digestato muy estable obtenidos de la digestión anaeróbica de lodos de aguas residuales con sulfato de amonio, en la producción de maíz, puede ser una buena estrategia para producir un fertilizante de base biológica con un rendimiento

similar al de un fertilizante sintético y sin riesgos ambientales. Además, mostraron que el uso del digestato provocó un aumento en la porción de carbono orgánico en el suelo, contribuyendo a la mejora de su calidad. Además, la digestión anaeróbica más la inyección de digestato líquido se comprobó como una buena práctica para proporcionar un fertilizante adecuado, reemplazando el fertilizante sintético de una manera ambientalmente sostenible, es decir, con bajas emisiones de amoníaco y olores (Zilio et al., 2021).

La sustitución de fertilizantes químicos por enmiendas orgánicas, especialmente paja y estiércol combinados, promueve la disponibilidad de fósforo en el suelo y la mineralización de compuestos complejos de fósforo en el suelo. Además, genera mayores rendimientos de los cultivos, reduce la acumulación de platino (Pt) y fósforo inorgánico (Pi) en el suelo, pero, incrementa las concentraciones de fósforo orgánico (Po), Protactinio (Pa) y fósforo de biomasa microbiana (Pmic) en el suelo, así como mejora las actividades de fosfatasa y el crecimiento microbiano en comparación con la aplicación de fertilizante químico (Yin-jie et al., 2022).

Kamilaris & Prenafeta-Boldú (2021), indican que el estiércol animal podría transferirse de manera eficiente a los cultivos cercanos a donde se originan y usarse como fertilizante para las plantas, mitigando de esta forma la contaminación. Mediante el uso de algoritmos propusieron rutas más óptimas que debe seguir el estiércol para hacer su uso más óptimo. Los hallazgos indicaron que se deben tener manejos claros del estiércol, por ejemplo, el compostaje en granjas de vacas cuando no existan campos de cultivo cercanos para depositar estiércol como fertilizante. Un tema que permite determinar la utilización de estiércoles de animales en la producción agrícola es la disponibilidad, muchas veces los agricultores señalan que la cantidad de estiércol en la zona de producción es mínima por lo que dejan de lado su utilización, se encontró que cada ganadero tendría que recorrer unos 11 kilómetros en promedio cada año para transportar el estiércol a las fincas cercanas, con un desvío de alrededor de 9 kilómetros.

Además, Moretti et al. (2020), demostraron que el valor del fertilizante nitrogenado de compost de residuos sólidos municipales es optimizado bajo las siguientes condiciones:

cuando se emplea en cultivos de primavera-verano y especialmente maíz, cuando se suministran repetidamente, y cuando se integran con fertilizantes minerales. El estudio se basó en dos experimentos diferentes. El primero fue un experimento de maíz continuo (experimento MAIZE); y el segundo es un ensayo de rotación de cultivos de cuatro años (ensayo ROT). Ambos tuvieron lugar durante el período de tres años de 2010 a 2012 en el oeste de la llanura del río Po (Italia) en una plataforma experimental de 1,3 ha (Lombriasco: 44 500 3900 N, 7 380 1500 E; 241 m.s.n.m).

El biocarbón de cáscara de maní obtenido por pirólisis, no solo es una alternativa eficaz al fertilizante potásico en suelos ácidos, sino que también promueve el crecimiento de bacterias que movilizan el potasio, los cuales mejoran la capacidad potencial del suelo para degradar contaminantes e inhibir patógenos. Además, el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CEC) y el fósforo y el potasio disponibles fueron factores ambientales importantes que causaron efectos significativos en la comunidad bacteriana del suelo amarillo (Zhang et al., 2020).

La digestión anaeróbica de estiércol y purines animales ofrece varios beneficios al mejorar sus cualidades fertilizantes, reducir olores y patógenos y producir un combustible renovable: el biogás. Las políticas de la Unión Europea relativas a los sistemas de energía renovable (RES) han establecido el objetivo fijo de satisfacer el 20 % de la demanda energética europea a partir de los sistemas de energía renovable para el año 2020. Una gran parte de la energía renovable se originará en la agricultura y la silvicultura europea. Al menos el 25% de toda la bioenergía en el futuro puede originarse a partir de biogás, producido a partir de materiales orgánicos húmedos como: estiércol animal, ensilados de cultivos enteros, alimentos húmedos y residuos de piensos (Holm-Nielsen et al., 2009).

Las estrategias efectivas de promoción de abono orgánico para diferentes participantes en la red de la cadena de suministro de productos agrícolas, lo que podría promover la plantación verde y el desarrollo agrícola sostenible, mientras que los subsidios excesivos no conducen al desarrollo agrícola sostenible a largo plazo. La responsabilidad social beneficia al medio ambiente, mientras que generaría una presión

económica adicional para los agricultores. Las preferencias de alta calidad podrían inspirar a los agricultores a tomar decisiones sobre plantaciones verdes. Este estudio proporciona estrategias efectivas de promoción de abono orgánico para diferentes participantes en la red de la cadena de suministro de productos agrícolas, lo que podría promover la plantación verde y el desarrollo agrícola sostenible (Jiang et al., 2022).

En Perú existen iniciativas gubernamentales, las cuales buscan gestionar adecuadamente los residuos orgánicos generados, elaborando el compost para posteriormente utilizarlos en las áreas públicas como parques y jardines. Asimismo, muchos ciudadanos están incursionando en la elaboración de compost, mostrando un gran compromiso con su localidad. Ya que, el compostaje de residuos doméstico no requiere complicados mecanismos ni grandes inversiones. Simplemente un espacio dentro de casa o en zonas compartidas de la comunidad en el que ubicar el compostador, y sobre todo queda demostrado que realmente genera grandes beneficios, así nos lo demuestran Moretti et al. (2020) quienes demuestran que, la fertilización de MSWC muestra el potencial para proporcionar N disponible para las plantas, si va acompañado de un mineral apropiado de integración para limitar la inmovilización inicial de N o la deficiencia profunda experimentada durante el crecimiento del cultivo. También muestra su potencial para reducir cultivos demandantes de N, como la soja.

El fertilizante orgánico representa una solución viable para las economías circulares, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, la variabilidad pedológica, meteorológica y del sistema de cultivo debe ser considerado para una solución específica del sitio. Pero, no todos los productores son conscientes de que el estiércol de los animales aporta a la fertilización de los cultivos y al mejoramiento de la calidad del suelo. Asimismo, los residuos sólidos municipales transformados en compost no se han masificado a pesar de que todos los días los seres humanos generamos residuos y bien podría representar una oportunidad.

Existe también el costo que implicaría transportar el estiércol a grandes distancias, lo cual disminuiría o no haría rentable la actividad de fertilización de cultivos con este valioso recurso, por lo que se propone la elaboración de

compost si el distanciamiento es superior, ya que el compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola.

Los riesgos económicos de los mercados de fertilizantes tienen impactos significativos en la gestión del estiércol. (Li et al. 2021). De acuerdo a Guo et al. (2005), la frecuencia libre de molestias por olores causados por el estiércol debe ser superior al 97% y esto probablemente represente una limitante para masificar la utilización del estiércol en los campos de cultivo.

Conclusiones

El análisis del suelo es clave para determinar la fertilización adecuada, evitando excesos y garantizando un uso eficiente de nutrientes, lo que favorece el crecimiento saludable de las plantas y la sostenibilidad agrícola. Integrar fertilizantes orgánicos reciclados en lugar de minerales nitrogenados fortalece la seguridad alimentaria y promueve agroecosistemas sostenibles. La difusión de Buenas Prácticas Agrícolas es esencial para mejorar la producción, satisfacer la demanda, conservar la biodiversidad y enfrentar el cambio climático, beneficiando a todos los actores de la cadena agroalimentaria.

Referencias

- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M., & Frison, N. (2018). Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale applications. *Journal of environmental management*, 216, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.026>
- Case, S. D. C., & Jensen, L. S. (2019). Nitrogen and phosphorus release from organic wastes and suitability as bio-based fertilizers in a circular economy. *Environmental technology*, 40(6), 701-715. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1404136>
- Chojnacka, K., Gorazda, K., Witek-Krowiak, A., & Moustakas, K. (2019). Recovery of fertilizer nutrients from materials-Contradictions, mistakes and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 485-498. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.063>
- Grigatti, M., Boanini, E., Bolzonella, D., Sciubba, L., Mancarella, S., Ciavatta, C., & Marzadori, C. (2019). Organic wastes as alternative sources of phosphorus for plant nutrition in a calcareous soil. *Waste Management*, 93, 34-46. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.028>
- Grigatti, M., Cavani, L., di Biase, G., & Ciavatta, C. (2019). Current and residual phosphorous availability from compost in a ryegrass pot test. *Science of the Total Environment*, 677, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.349>
- Hashem, M. S., & Qi, X. (2021). Treated Wastewater Irrigation- A Review. *Water*, 13(11), 1527. <https://doi.org/10.3390/w13111527>
- Huang, Z., Zhang, J., Ren, D., Hu, J., Xia, G., & Pan, B. (2022). Modeling and assessing water and nitrogen use and crop growth of peanut in semi-arid areas of Northeast China. *Agricultural Water Management*, 267, 107621. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107621>
- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresour technology*, 100(22), 5478-5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>
- Jiang, Y., Li, K., Chen, S., Fu, X., Feng, S., & Zhuang, Z. (2022). A sustainable agricultural supply chain considering substituting organic manure for chemical fertilizer. *Sustainable Production and Consumption*, 29, 432-446. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.025>
- Jovarauskas, D., Steponavičius, D., Kemzūraitė, A., Zinkevičius, R., & Venslauskas, K. (2021). Comparative analysis of the environmental impact of conventional and precision spring wheat fertilization under various meteorological conditions. *Journal of Environmental Management*, 296, 113150. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113150>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2021). Examining the perspectives of using manure from livestock farms as fertilizer to crop fields based on a realistic simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, 106486. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106486>
- Li, J., Wang, X., Kim, H. H. M., Gates, R. S., & Wang, K. (2021). Optimal design of manure management for intensive swine feeding

- operation: A modeling method based on analytical target cascading. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124550. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124550>
- Moretti, B., Bertora, C., Grignani, C., Lerda, C., Celi, L., & Sacco, D. (2020). Conversion from mineral fertilisation to MSW compost use: Nitrogen fertiliser value in continuous maize and test on crop rotation. *Science of the Total Environment*, 705, 135308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135308>
- Muñoz, F., & Cruz, L. (1984). Manual del cultivo de papa. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/807/4/iniapscm5.pdf>
- Qin, J., Yue, X., Fang, S., Qian, M., Zhou, S., Shang, X., & Yang, W. (2021). Responses of nitrogen metabolism, photosynthetic parameter and growth to nitrogen fertilization in *Cyclocarya paliurus*. *Forest Ecology and Management*, 502, 119715. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119715>
- Ramos-Castillo, M., Orvain, M., Naves-Maschietto, G., de Faria, A. B. B., Chenu, D., & Albuquerque, M. (2021). Optimal agricultural spreading scheduling through surrogate-based optimization and MINLP models. *Information Processing in Agriculture*, 8(1), 159. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.02.005>
- Ratjen, A. M., & Kage, H. (2018). Predicting the site specific soil N supply under winter wheat in Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1), 71–81. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9850-1>
- Reyes Moreno, G., Elena Fernández, M., & Darghan Contreras, E. (2021). Balanced mixture of biochar and synthetic fertilizer increases seedling quality of *Acacia mangium*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6), 371–378. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.04.004>
- Río, M., Franco-Uría, A., Abad, E., & Roca, E. (2011). A risk-based decision tool for the management of organic waste in agriculture and farming activities (FARMERS). *Journal of hazardous materials*, 185(2-3), 792-800. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.090>
- Ros, M., Klammer, S., Knapp, B., Aichberger, K., & Insam, H. (2006). Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. *Soil use and management*, 22(2), 209-218. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00027.x>
- Zhang, Y., Gao, W., Luan, H., Tang, J., Li, R., Ming-yue L., Zhang, H., Huang, S. (2022). Effects of a decade of organic fertilizer substitution on vegetable yield and soil phosphorus pools, phosphatase activities, and the microbial community in a greenhouse vegetable production system. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(7), 2119-2133. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63715-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63715-2)
- Zhang, M., Riaz, M., Liu, B., Xia, H., El-Desouki, Z., & Jiang, C. (2020). Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity. *Science of The Total Environment*, 717, 137286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137286>
- Zheng, W., Wan, Y., Li, Y., Liu, Z., Chen, J., Zhou, H., & Zhang, M. (2020). Developing water and nitrogen budgets of a wheat-maize rotation system using auto-weighing lysimeters: Effects of blended application of controlled-release and un-coated urea. *Environmental Pollution*, 263, 114383. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114383>
- Zilio M., Pigoli A., Rizzi B., Geromel G., Meers E., Schoumans O., Giordano A., Adani F. (2021) Measuring ammonia and odours emissions during full field digestate use in agriculture. *Science of the Total Environment*, 782: 146882. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146882>
- Zilio M., Pigoli A., Rizzi B., Herrera A., Tambone F., Geromel G., Meers, E., Schoumans, O., Giordano, A., Adani, F. (2022). Using highly stabilized digestate and digestate-derived ammonium sulphate to replace synthetic fertilizers: The effects on soil, environment, and crop production. *Science of The Total Environment*, 815, 152919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152919>
- Zoboli, O., Zessner, M., & Rechberger, H. (2016). Supporting phosphorus management in Austria: Potential, priorities and limitations. *Science of the Total Environment*, 565, 313-323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.171>