

Hidroponía: relevancia en la gestión y producción de alimentos como estrategia de agronegocio y desarrollo sostenible

Hydroponics: relevance in food production and management as a strategy for agribusiness and sustainable development

Javier Urriola¹, Odalila De León² y Eva Rodríguez de Brea³

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, javier_urriola@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2363-7920>, Panamá.

²Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias, lalin-24@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8690-7591>, Panamá.

³Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Facultad de Ciencias de la Educación, eva.rodriguez@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0002-0963-5868>, Panamá

Información del Artículo

Trazabilidad:

Recibido 04-05-2025

Aceptado 11-06-2025

Palabras Clave:

Hidroponía
Cultivos
Desarrollo sostenible
Agronegocios

Keywords:

Hydroponics
Crops
Sustainable development
Agribusinesses

RESUMEN

La agricultura urbana ha ganado popularidad en los últimos años, a medida que más personas se han interesado en los alimentos cultivados localmente y en la reducción de la huella de carbono. Las áreas urbanas a menudo carecen de acceso a tierras adecuadas para la agricultura, lo que hace que los sistemas hidropónicos sean una opción viable para cultivar en espacios limitados. El estudio aborda la producción documental disponible sobre la relevancia de la hidroponía en la gestión y producción de alimentos, fundamentándolo como estrategia de agronegocio y desarrollo sostenible. La revisión bibliográfica se hace utilizando la base de datos de indización y resúmenes SCOPUS y Science Direct, tomando como base para el análisis las aportaciones de los últimos cinco años. Los principales hallazgos se fundamentan en la necesidad de atender las necesidades causadas por el aumento poblacional de los países, las iniciativas de cuidar los recursos naturales con miras al desarrollo sostenible y la inclusión de tecnologías innovadoras en la producción agrícola. Se concluye que las aportaciones en este campo son producto del crecimiento demográfico en las poblaciones de los países, de igual forma, debido a la creciente demanda de productos vegetales de calidad, por ello el sistema hidropónico se orienta al alcance de los objetivos de desarrollo sostenible, mejorando así la producción agrícola urbana y la generación de ingresos entre los agricultores urbanos.

ABSTRACT

Urban agriculture has gained popularity in recent years as more people have become interested in locally grown food and reducing their carbon footprint. Urban areas often lack access to land suitable for agriculture, making hydroponic systems a viable option for growing crops in limited spaces. The study addresses the available documentary production on the relevance of hydroponics in food management and production, substantiating it as an agribusiness and sustainable development strategy. The bibliographic review is carried out using SCOPUS and Science Direct indexing and abstracting databases, taking as a basis for the analysis of the contributions of the last five years. The main findings are based on the need to meet the needs caused by the population increase in countries, the initiatives to care for natural resources with a view to sustainable development and the inclusion of innovative technologies in agricultural production. It is concluded that the contributions in this field are a product of the demographic growth in the populations of the countries, likewise, due to the growing demand for quality vegetable products, therefore the hydroponic system is oriented to the achievement of the objectives of sustainable development, thus improving urban agricultural production and income generation among urban farmers.

INTRODUCCIÓN

La hidroponía es fundamental en el desarrollo de la vida sostenible de los seres humanos y por tanto es necesario que en la formación sobre todo a nivel universitario se fundamente su importancia para los países en los distintos rubros y áreas del conocimiento donde es aplicable.

Los sistemas mundiales de producción de alimentos están provocando consecuencias similares a la eutrofización al drenar nutrientes de las granjas y exacerbar el cambio climático (Sanjuan-Delmás et al., 2020). Según destacan Martin et al., (2019), la agricultura vertical surgió en las zonas urbanas orientada a una producción de alimentos más resiliente. Sin embargo, una parte sustancial de las necesidades materiales provienen de sus entornos urbanos, ya que producen una gran proporción de flujos residuales y de desechos, por lo que existen posibilidades de emplear estos flujos de materiales y energía como insumos en sistemas agrícolas urbanos para desarrollar enfoques de economía circular.

Dentro de la implementación de procesos de hidroponía en la producción y que son necesarios explicar en la enseñanza para la comprensión de la temática, sobresale el capital hidropónico, el cual es un conjunto de relaciones socio naturales y tecnológicas unificados para producir las hiper eficientes ecologías agroalimentarias de invernadero en la actualidad (Smith, 2023). El capital hidropónico se diferencia de otras formas de intensidad de capital en que permitió la producción de suelo, reemplazando el cambio sociotécnico a gran escala en la estructura organizativa de la producción de alimentos en invernadero y aumentando el plusvalor relativo al reducir el insumo de mano de obra.

La integración de la economía circular en la agricultura promueve la innovación sostenible en sistemas de producción de alimentos como la horticultura. Las tecnologías de invernadero están alineadas con la bioenergía, los materiales sostenibles y las tecnologías de detección (Salinas-Velandia et al., 2022). Se establecen desafíos y direcciones para futuras investigaciones para avanzar en la transformación de los sistemas de producción hortícola mediante la integración de un ciclo a largo plazo.

Debido a la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, la hidroponía es cada vez más importante en la transición hacia una producción de alimentos respetuosa con el medio ambiente. Para mitigar aún más el impacto ambiental de la producción de fertilizantes sintéticos, se debe promover el uso de nutrientes reciclados en la horticultura y la agricultura en general. Los fertilizantes orgánicos sólidos pueden contribuir en gran medida a ello, pero su naturaleza física y química impide su uso en la acuicultura (Xie et al., 2022). Según los planteamientos de Matevosyan et al., (2023), el crecimiento demográfico aumenta la demanda de alimentos en todo el mundo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en 2050 la población mundial alcanzará los 9.100 millones de personas, para las cuales se espera que la producción de alimentos aumente entre un 25 y un 70 %. Esto conducirá a un aumento en la demanda de tecnologías agrícolas alternativas que nos permitan garantizar mayores rendimientos en menos tiempo.

La hidroponía ha sido utilizada no solo desde la orientación de cultivos sino también de interacción social, gracias a sus características de transformabilidad. En esta línea el estudio de (Cumó et al., 2020), combina los conceptos de economía circular y actividad agrícola, creando invernaderos hidropónicos ambientalmente sostenibles, desde la fase de diseño hasta la gestión, gracias al uso de un enfoque multidisciplinar BIM (Building Information Modelling).

De igual forma, el aprendizaje y conocimientos que se deben fomentar en los universitarios en este campo en especial, como una forma de agronegocio y medio de desarrollo sostenible, deben estar ejemplificados en alternativas como el estudio de Al Hamedi et al., (2021), en donde se propone el uso de fuentes de agua alternativas, como aguas residuales tratadas terciarias, reconociéndolas muy importante para los cultivos debido a la escasez de agua de riego, particularmente en regiones áridas como los Emiratos Árabes Unidos. Sustenta que las aguas residuales tratadas contienen nutrientes que son esenciales para el cultivo de cultivos nutritivamente importantes.

La industria agrícola juega un papel indispensable a la hora de abordar estos desafíos el aumento poblacional, y aporta mediante la implementación de tecnologías innovadoras que optimizan la utilización de recursos, minimizan los impactos ambientales y aumentan la producción de alimentos. Entre estas tecnologías, los sistemas de cultivo hidropónicos han atraído una atención sustancial debido a su capacidad para crear un ambiente controlado para el crecimiento de los cultivos, lo que resulta en mayores rendimientos, mejor calidad y menor uso de agua (Farvardin et al., 2024).

Es por estos planteamientos sobre la rentabilidad del cultivo sin suelo o hidroponía, contrastables en la educación para beneficio palpable en el desarrollo sostenible de los pueblos que se debe formar al universitario en las tecnologías de cultivo de plantas alternativas, además de la visualización del cambio climático, la mejora de las capacidades tecnológicas y la necesidad de aumentar la autosuficiencia de las naciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión bibliográfica que aborda la relevancia de la hidroponía específicamente en la gestión y producción de alimentos, fundamentando su importancia como estrategia de agronegocio y medio de desarrollo sostenible. Este tipo de estudio según Hernández et al., (2022), es un proceso metodológico de recopilación de información abordando investigaciones originales para determinar el estado actual del conocimiento sobre un tema determinado. Este proceso permite la creación de marcos teóricos para investigaciones y la preparación de artículos de revisión.

Se utilizó la base de datos de indización y resúmenes SCOPUS y Science Direct, partiendo de la evaluación de publicaciones de los últimos 5 años.

Criterios de inclusión para las publicaciones analizadas

- Publicaciones (Artículos) de los últimos 5 años
- Delimitado a palabras claves dentro de Hidroponía, agricultura en ambiente controlado y cultivos.
- Solo publicaciones en acceso abierto (Open Access).

Criterios de exclusión

- Publicaciones que no sea artículos
- Rango de publicación antes del 2019
- No disponibilidad en Open Access

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las publicaciones que abordado la temática de Hidropónicos en las distintas áreas del conocimiento que cumplen con los parámetros establecidos de inclusión e inclusión para el desarrollo de esta revisión son 33, en dónde para cada año la cantidad se ha mantenido sobre 3 estudios. Se observa en la tabla 1, mayor aportación en años 2019, 20 y 23 respectivamente.

Tabla 1: Producción documental por año

Año	Publicaciones Sobre Hidroponía	%
2024	1	3%
2023	7	21%
2022	8	24%
2021	3	9%
2020	6	18%
2019	8	24%
Total	33	100%

Se observa en la figura 1 que la aportación documental de las Ciencias Medioambientales es de un 23.6%, las Ciencias Agrícolas y Biológicas registran un 15.3%, Ingeniería 12.5%, Ciencias Sociales 9.7%, Negocios Gestión y Calidad 5.6%, Bioquímica, Genética y Biología Molecular y Medicina 4.2%, para las demás áreas del conocimiento las aportaciones son inferior al 3%.

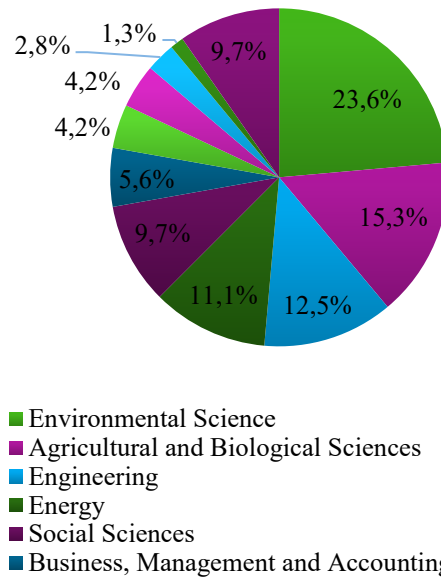


Fig. 1: Producción documental por área del conocimiento de los últimos 5 años

La problemática ecológica mundial hace cada día más difícil continuar con la producción agrícola, únicamente de forma tradicional. Como se evidencia en la figura 1, desde las distintas áreas del conocimiento se han producido publicaciones con la intención de fundamentar la Hidroponía como una alternativa que aumente el rendimiento eficaz tanto en la producción como en el uso de los recursos naturales.

Las iniciativas de estudio están fundamentadas en problemáticas y limitaciones con el agua, la erosión y contaminación diaria del suelo, situaciones que obliga a buscar nuevos modos de cultivos, lo cual es una posibilidad y una necesidad. Otros problemas relacionados es la salinidad por el uso ineficiente de fertilizantes y riego, uso de pesticida, que provoca un desequilibrio en el número de microorganismos benéficos del suelo, afectando la producción agrícola debido a su alta toxicidad.

Tabla 2: Hidroponía y aplicación en múltiples contextos

Autor-Año	Objetivo	Metodología/Resultados	Aportaciones/Sugerencias
Smith (2023)	Se desarrolla el concepto de capital hidropónico para fundamentar el surgimiento de innovaciones socio naturales destinadas a mejorar la seguridad alimentaria y la eficiencia de la producción en grupos de producción agroalimentaria de invernadero.	Se realiza a través de una arqueología de los regímenes de conocimiento involucrados en las innovaciones tecnológicas y examina las redes regionalizadas y transnacionales de científicos agrícolas, agricultores y trabajadores de extensión involucrados.	El artículo combina una comprensión de la dinámica del trabajo y el capital en los sistemas agrícolas en su lucha con la biofísica de los cultivos y la aplicación del conocimiento a los procesos granulares a través de los cuales se produce la innovación para superar estas barreras biofísicas en las cadenas de suministro agroalimentario.
Caputo et al., (2020)	Investigar el papel que pueden desempeñar los métodos de producción de alimentos sin suelo en la agricultura urbana, particularmente en proyectos dirigidos	Los resultados cualitativos muestran una apreciación general de las ventajas medioambientales que puede aportar la unidad hidropónica y al mismo tiempo una desconfianza hacia un producto hidropónico que se percibe	Se concluye que el conocimiento de los sistemas de producción sin suelo no conduce necesariamente a una mejor aceptación. Sin embargo, los datos recopilados indican un interés en los métodos basados en el suelo, lo que parece estar relacionado con la tendencia de los jardines comunitarios a probar

	por grupos comunitarios.	como no natural en ambos grupos. El análisis cuantitativo mostró que el 90% de los agricultores experimentados tenía conocimientos previos de métodos sin suelo frente al 42% del grupo de muestra más amplio.	nuevos arreglos y técnicas en sus proyectos.
Martin., Poulidikou., & Molin (2019).	Evaluar el desempeño ambiental del empleo de flujos de materiales residuales para el cultivo hidropónico vertical en entornos urbanos.	Los resultados permiten visualizar grandes beneficios en el desempeño ambiental cuando se reemplazan los sustratos de cultivo convencionales.	Concluyen que los métodos de cultivo hidropónico vertical han surgido en áreas urbanas de todo el mundo para producir y sostener de manera viable a las poblaciones urbanas con suministros de alimentos sostenibles.
Xie., Spiller & Vlaeminck (2022)	Proponer un biorreactor para mineralización y nitrificación seguido de un paso de suplementación para limitar los macronutrientes para producir soluciones a base de nitratos a partir de fertilizantes sólidos.	Se aplicó la prueba del biorreactor posterior, las eficiencias de producción de nitrato. Se compararon hidróxido de calcio y magnesio para controlar el pH del biorreactor en $6,0 \pm 0,2$ y, al mismo tiempo, proporcionar macronutrientes para la producción de plantas.	Los autores sustentan que la producción de una solución nutritiva a partir de fertilizantes orgánicos sólidos puede tener un costo competitivo en comparación con el uso de soluciones de fertilizantes inorgánicos líquidos disponibles comercialmente.
Sanjuan-Delmás et al., (2020)	Aumentar la literatura sobre el cultivo hidropónico mediante la evaluación de los flujos de nutrientes.	Los resultados mostraron que la mayor parte de los nutrientes se drenaron con los lixiviados (51% en promedio), cifra que podría ser menor, si el suministro de nutrientes se ajustara a las necesidades de las plantas o si se implementara una recirculación de nutrientes (hidropónica cerrada).	Concluyen que la investigación contribuirá en gran medida a la comprensión del metabolismo de los nutrientes en las plantas de acuicultura y a una regulación más precisa del equilibrio de nutrientes.
Abedrabboh., Koç., & Biçer. (2023).	Investiga el desempeño económico de cuatro configuraciones diferentes de invernaderos con enfriamiento pasivo simuladas para tres grandes áreas metropolitanas.	Diagramas esquemáticos de configuraciones de enfriamiento pasivo de invernaderos, (a) NVGH, (b) NVsnGH, (c) NVbGH, (d) NVbsnGH.	Las investigaciones termo económicas demostraron la viabilidad y el potencial de las combinaciones de enfriamiento pasivo para controlar la temperatura interior del invernadero y producir rendimientos adecuados.
Bergstrand et al., (2020)	Trasladar la producción de alimentos a áreas urbanas y periurbanas como medio de facilitar un enfoque de circuito cerrado.	Los experimentos incluyeron aumento de salinidad, niveles elevados de nitrito y diferentes concentraciones de la solución nutritiva a base de digestato de biogás, con soluciones a base de minerales como controles.	Se concluye que los digestatos de AD pueden usarse como única fuente de nutrientes en el cultivo hidropónico y se evidencia que este uso proporcionaría beneficios considerando un menor uso de nutrientes minerales y una mayor seguridad alimentaria en las ciudades.

Singh et al., (2023)	Evaluar la viabilidad técnica y el rendimiento de la tecnología GREENBOX para la producción de cultivos urbanos en entornos de almacenamiento que se encuentran comúnmente en áreas urbanas.	Uso de tecnología GREENBOX para cultivar hortalizas en cajas individuales climatizadas en entornos de almacenes urbanos. Se caracteriza por una estructura modular aislada térmicamente de tamaño estándar con una fuente de iluminación artificial, un sistema de suministro de nutrientes hidropónico y controles ambientales.	El estudio demostró que la tecnología GREENBOX era capaz de proporcionar las condiciones ambientales deseadas para el cultivo de lechuga durante todo el año en la estructura del almacén experimental y, en consecuencia, tenía un alto potencial para ser aplicada en la producción de alimentos en entornos urbanos de latitudes medias.
Alkadri et al., (2023)	Identificar y analizar los factores que deben considerarse en el desarrollo de estrategias de agronegocios y también recomendar estrategias de desarrollo de productos alternativos para negocios de hortalizas hidropónicas.	El método de investigación utilizó métodos de recopilación de datos, a saber, observación, cuestionarios y entrevistas, y los datos se analizaron mediante análisis EFE, IFE, FODA y matriz QSPM.	Concluyen que Las debilidades que enfrenta la iniciativa de la raíz de la hidroponía a pesar de ser eficaz, proyecta algunas debilidades como la ausencia de recursos humanos, faltan creaciones de envases, falta promoción de productos y la contabilidad y el archivo aún no están bien organizados.
Harniati et al., (2023)	Analizar la rentabilidad y sostenibilidad de la agroindustria hortícola utilizando hidroponía con tecnología de invernadero inteligente (SGH).	Los métodos utilizados en este estudio son un modelo dinámico, es decir, el diagrama de bucle causal (CLD), la relación costo-beneficio (B/C), la relación costo-ingreso (R/C) y análisis descriptivo.	Obtuvieron que la estructura de retroalimentación era compleja y dinámica. Los determinantes de los agronegocios basados en Tecnologías de Invernadero Inteligente fueron el costo, los ingresos y la sostenibilidad.
Saridewi et al., (2023)	Analizar la influencia y dependencia de variables clave en el desarrollo de un negocio hidropónico sostenible	El método utilizado fue un análisis descriptivo de las variables clave mediante Análisis MICMAC.	Concluyen que, en el futuro, el trabajo de desarrollo de la agricultura hidropónica debería centrarse en promover las ventajas y beneficios y mejorar el mecanismo de distribución.
Gumisiriza et al., (2022)	Apoyar la producción urbana de hortalizas y, en adelante, contribuir más a la seguridad alimentaria en los estados subdesarrollados que enfrentan el desafío de aumentar la población urbana versus reducir la tierra cultivable alrededor de las áreas urbanas/periurbanas.	Se utilizó el método hidropónico Kratky, que consiste en cultivar cultivos utilizando agua como medio sin necesidad de bombas de agua ni electricidad.	Los hallazgos mostraron que el sistema tiene el potencial de mejorar la producción y disponibilidad de alimentos en las zonas urbanas, especialmente en los países en desarrollo.

La agricultura vertical es una de las vías sugeridas para producir alimentos para la creciente población mundial. Concentrar el cultivo de cultivos como las hierbas en grandes granjas de interior hace que la producción de alimentos sea susceptible a problemas técnicos, biológicos o de otro tipo que podrían destruir

grandes cantidades de alimentos a la vez. Por lo tanto, existe una tendencia hacia la producción local de alimentos autosuficiente en sistemas verticales a pequeña escala (Storck et al., 2019).

Los sistemas hidropónicos por lo general consisten en cajas de plástico con agujeros para las plantas, con raíces en agua sola o en un sustrato inerte, en contraste con los métodos tecnológicamente más sofisticados los cuales incluyen iluminación e irrigación. Sin embargo, se debe evitar la utilización de equipos adicionales insostenibles para sistemas hidropónicos verticales de pequeña escala, por lo que importante pensar en alternativas, orientadas al reciclaje de objetos que ya no son útiles para su propósito inicial.

Muchas de las iniciativas de estudio en la temática son el resultado del intenso crecimiento demográfico en las regiones cálidas y áridas y la fuerte dependencia de las importaciones de alimentos provocaron que muchas sociedades sufrieran inseguridad alimentaria. Además, las olas de calor y el aumento de la temperatura ambiente promedio han aumentado significativamente la deshidratación y la muerte de las plantas (Abedrabboh et al., 2023). Las regiones cálidas y áridas ya experimentan niveles muy altos de temperatura ambiente y radiación solar, así como la falta de recursos de agua dulce, lo que hace que el cultivo sea costoso, requiera mucha energía y sea vulnerable, si no imposible.

Se requieren tecnologías de agricultura de ambiente controlado para satisfacer la demanda actual y futura de producción de alimentos a medida que aumenta la población mundial, disminuye la tierra cultivable y se agotan los minerales para la producción de fertilizantes (Tetreault et al., 2021). La hidroponía y los sistemas de acuicultura de recirculación son métodos de producción intensiva que pueden proporcionar vegetales y mariscos independientes de la temporada en entornos urbanos, pero están limitados por la dependencia de soluciones fertilizantes hechas a partir de reservas minerales finitas y los costos de tratamiento y eliminación de efluentes ricos en nutrientes, respectivamente.

Al final como señala Kour et al., (2022), la población mundial está aumentando, lo hace necesario mayor producción de alimentos, sin embargo la disminución de la cantidad de tierra cultivada debido a la urbanización hace que esto sea más desafiante.

CONCLUSIÓN

Con base en los aspectos desarrollados y principales hallazgos con relación a la hidroponía como estrategia de agronegocios y desarrollo sostenible, es producto del crecimiento demográfico que conlleva serios desafíos como lo es la energía, suministro de alimentos y protección del medio ambiente. Es relevante reconocer que la industria agrícola desempeña un papel crucial para afrontar estos desafíos mediante la adopción de tecnologías innovadoras que optimicen el uso de los recursos, minimicen el impacto ambiental y aumente la producción de alimentos. Es en este punto donde los sistemas agrícolas de invernadero han recibido mucha atención debido a su capacidad de crear un ambiente controlado para el crecimiento de los cultivos, lo que resulta en mayores rendimientos, mejor calidad y menor consumo de agua.

Los esfuerzos para desarrollar el cultivo hidropónico en el futuro debían centrarse en promover las ventajas y beneficios y mejorar el mecanismo de distribución. El potencial para el desarrollo hidropónico para los países es alto debido a la creciente demanda de productos vegetales de calidad. Un punto relevante en este aspecto es que, en la actualidad, la mayoría de los productos hidropónicos son producidos por empresas de pequeña escala.

Con base en los hallazgos es posible fundamentar que la mayoría de los países subdesarrollados todavía enfrentan inseguridad alimentaria en áreas urbanas debido al acceso limitado a tierras agrícolas, por lo que la producción de alimentos utilizando el sistema hidropónico contribuye a el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, mejora de la producción agrícola urbana y la generación de ingresos entre los agricultores urbanos y una mayor adopción de sistemas agrícolas de bajo costo, baja tecnología, respetuosos con el medio ambiente y sostenibles.

REFERENCIAS

- Abedrabboh, O., Koç, M., & Biçer, Y. (2023). Sustainable food development for societies in hot arid regions: Thermo-economic assessment of passive-cooled soil-based and hydroponic greenhouses. *Journal of Cleaner Production*, 412. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137250>
- Al Hamed, F. H. A. A., Karthikeyan, K., & Alyafei, M. A. M. (2021). Hydroponic wheat production using fresh water and treated wastewater under the semi-arid region. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 33(2), 178-186. Scopus. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i2.2620>
- Alkadri, T., Rukmana, D., & Hamid, N. (2023). *Hydroponic vegetable agribusiness business development strategy (Case Study in CV. Akar Hydroponics Moncongloe Subdistrict, Maros District)*. 1230(1). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012050>

- Bergstrand, K.-J., Asp, H., & Hultberg, M. (2020). Utilizing anaerobic digestates as nutrient solutions in hydroponic production systems. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(23), 1-12. Scopus. <https://doi.org/10.3390/su122310076>
- Caputo, S., Rumble, H., & Schaefer, M. (2020). "I like to get my hands stuck in the soil": A pilot study in the acceptance of soil-less methods of cultivation in community gardens. *Journal of Cleaner Production*, *258*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120585>
- Cumo, F., Piras, G., Pennacchia, E., & Cinquepalmi, F. (2020). Optimization of design and management of a hydroponic greenhouse by using BIM application software. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *15*(2), 157-163. Scopus. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.150205>
- Farvardin, M., Taki, M., Gorjian, S., Shabani, E., & Sosa-Savedra, J. C. (2024). Assessing the Physical and Environmental Aspects of Greenhouse Cultivation: A Comprehensive Review of Conventional and Hydroponic Methods. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(3). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su16031273>
- Gumisiriza, M. S., Ndakidemi, P. A., & Mbega, E. R. (2022). A simplified non-greenhouse hydroponic system for small-scale soilless urban vegetable farming. *MethodsX*, *9*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101882>
- Harniati, Trisnasari, W., & Saridewi, T. R. (2023). Smart Greenhouse Technology for Hydroponic Farming: Is it Viable and Profitable Business? *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, *13*(4), 1333-1341. Scopus. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.4.17916>
- Hernández, A. E., Rangel, M. Á. A., Torres, L., Hernández, G., Castillo, P. K., Olivares, L. L., & Sánchez, A. G. (2022). Proceso para la realización de una revisión bibliográfica en investigaciones clínicas. *Digital Ciencia@UAQRO*, *15*(1), Article 1. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/686>
- Kour, K., Gupta, D., Gupta, K., Anand, D., Elkamchouchi, D. H., Pérez-Oleaga, C. M., Ibrahim, M., & Goyal, N. (2022). Monitoring Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Approach to Sensor Selection and Hydroponic Saffron Cultivation. *Sensors*, *22*(22). Scopus. <https://doi.org/10.3390/s22228905>
- Martin, M., Poulidikidou, S., & Molin, E. (2019). Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(23). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su11236724>
- Matevosyan, A., Tadevosyan, A., Tovmasyan, A., Asatryan, A., & Mairapetyan, S. (2023). Nutritional Value of Soybean under Outdoor Hydroponics and Soil Conditions of the Ararat Valley. *Functional Foods in Health and Disease*, *13*(10), 533-546. Scopus. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v13i10.1208>
- Salinas-Velandia, D. A., Romero-Perdomo, F., Numa-Vergel, S., Villagrán, E., Donado-Godoy, P., & Galindo-Pacheco, J. R. (2022). Insights into Circular Horticulture: Knowledge Diffusion, Resource Circulation, One Health Approach, and Greenhouse Technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(19). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912053>
- Sanjuan-Delmás, D., Josa, A., Muñoz, P., Gassó, S., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2020). Applying nutrient dynamics to adjust the nutrient-water balance in hydroponic crops. A case study with open hydroponic tomato crops from Barcelona. *Scientia Horticulturae*, *261*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108908>
- Saridewi, T. R., Trisnasari, W., & Harniati. (2023). Efforts in the Development of Sustainable Hydroponics. *Universal Journal of Agricultural Research*, *11*(5), 758-767. Scopus. <https://doi.org/10.13189/ujar.2023.110502>
- Singh, A. K., McAvoy, R., Bravo-Ureta, B., & Yang, X. (2023). GREENBOX TECHNOLOGY I - TECHNICAL FEASIBILITY AND PERFORMANCE IN WAREHOUSE ENVIRONMENT. *Journal of the ASABE*, *66*(5), 1077-1087. Scopus. <https://doi.org/10.13031/ja.15343>
- Smith, A. (2023). Hydroponic Capital: Socionatural Innovation and the Intensification of Glasshouse Agrifood Production. *Economic Geography*, *99*(4), 363-389. Scopus. <https://doi.org/10.1080/00130095.2023.2196004>
- Storck, J. L., Böttjer, R., Vahle, D., Brockhagen, B., Grothe, T., Dietz, K.-J., Rattenholl, A., Gudermann, F., & Ehrmann, A. (2019). Seed germination and seedling growth on knitted fabrics as new substrates for hydroponic systems. *Horticulturae*, *5*(4). Scopus. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5040073>
- Tetreault, J., Fogle, R., & Guerdat, T. (2021). Towards a capture and reuse model for aquaculture effluent as a hydroponic nutrient solution using aerobic microbial reactors. *Horticulturae*, *7*(10). Scopus. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100334>
- Xie, Y., Spiller, M., & Vlaeminck, S. E. (2022). A bioreactor and nutrient balancing approach for the conversion of solid organic fertilizers to liquid nitrate-rich fertilizers: Mineralization and nitrification

performance complemented with economic aspects. *Science of the Total Environment*, 806. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150415>