

Recepción: 25.10.2025

Revisión: 30.12.2025

Publicación: 15.01.2026

<https://orcid.org/0009-0004-9045-7916>

<https://orcid.org/0000-0003-3509-1777>

ALIMENTAR EL FUTURO DE LA HUMANIDAD ¿ES LA HIDROPONÍA REALMENTE UNA SOLUCIÓN MÁS SOSTENIBLE?

FEEDING THE FUTURE OF HUMANITY IS HYDROPONICS
REALLY A MORE SUSTAINABLE SOLUTION?

Alejandro Alcázar Aguilar¹
Beatriz Espinosa Aquino²

¹Lic. en energías renovables. Facultad de Electrónica
Av. San Claudio y 18 Sur Edif. FCE1. Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria, Puebla, Pue., C.P. 72570.

²Centro de Química, Instituto de Ciencias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Correos:
alejandro.alcazar@alumno.buap.mx
beatriz.espinosa@correo.buap.mx

Resumen

El desafío de alimentar a una población en crecimiento de manera sostenible es uno de los desafíos que los países enfrentan actualmente. La agricultura convencional resulta insostenible debido a prácticas generalizadas que provocan la degradación del suelo y contaminación de mantos acuíferos por el uso intensivo de agroquímicos como fertilizantes e insecticidas. Además, representa el mayor consumidor de agua dulce a nivel mundial y un contribuyente significativo al cambio climático, debido en gran medida a su demanda incesante de suelo fértil, que lleva a la deforestación. La hidroponía se posiciona como una alternativa prometedora, capaz de producir más alimentos con hasta un 90% menos de agua y sin necesidad de tierra fértil. Este artículo examina si esta tecnología ofrece un camino más sostenible, sopesando su potencial de ahorro drástico de agua y altos rendimientos frente a sus altas demandas energéticas, particularmente en granjas verticales de ambiente controlado. Explora cómo los sistemas simplificados adaptados a climas locales, la integración con energías renovables, los enfoques de economía circular y las aplicaciones en agricultura urbana pueden mitigar esta huella energética. La conclusión es que la sostenibilidad de la hidroponía no es inherente, sino contextual; su futuro papel depende de un diseño inteligente que priorice la eficiencia energética, el empoderamiento comunitario y la sinergia ecológica, convirtiéndola en una herramienta versátil dentro de una transición más amplia hacia sistemas alimentarios resilientes.

Palabras clave: hidroponía, desarrollo sostenible, sistemas alimentarios alternativos, granja vertical, economía circular.

Abstract

The challenge of feeding a growing population sustainably is one of the problems that countries face on a daily basis. Conventional agriculture, in its current form, is unsustainable due to practices that lead to soil degradation and widespread water contamination from agrochemicals like fertilizers and insecticides. Furthermore, it is the largest consumer of freshwater resources and a significant contributor to climate change, largely due to its incessant demand for fertile soil, which drives massive deforestation. Hydroponics emerges as a promising alternative for sustainable food production, yielding more food with up to 90% less water and no requirement for arable land. This article examines whether soilless cultivation offers a more sustainable path, weighing its potential for drastic water savings and high yields against its significant energy demands, particularly in controlled-environment vertical farms. It explores how simplified systems adapted to local climates, integration with renewable energy, circular-economy approaches, and applications in urban agriculture can mitigate this energy footprint. The conclusion is that hydroponics' sustainability is not inherent but contextual; its future role hinges on intelligent design that prioritizes energy efficiency, community empowerment, and ecological synergy, making it a versatile tool within a broader transition toward resilient food systems.

Keywords: hydroponics, sustainable development, alternative food systems, vertical farming, circular economy.

Introducción

Todos amamos la comida, todos necesitamos de ella. Aunque pocos, realmente somos conscientes de la cantidad de recursos, trabajo humano y energía que fueron necesarios para producirla y llevarla a nuestra mesa.

Te has preguntado: ¿de dónde vienen los alimentos? ¿Cómo se cultivan? ¿Cuánto tardan en crecer?. Usualmente, vemos los alimentos en los supermercados, en el mercadillo, en la tienda y los colocamos en el refrigerador.

Las formas de producción de alimentos en el planeta son diversas, según el país, el pueblo, la ciudad e incluso en cada casa, la elaboración de alimentos es diversa, así como los ingredientes. Ante este panorama los cultivos de alimentos y la necesidad de consumo son diversos, para ello se necesitan miles de hectáreas para satisfacer la demanda, los insumos necesarios, agroquímicos, mejoradores de suelo, fertilizantes, insecticidas, pesticidas, acaricidas, etc., para asegurar que los cultivos crezcan y lleguen a tu mesa, todas estas acciones desgastan a los suelos, afectan a los ecosistemas y consumen agua.

La sostenibilidad de la hidroponía no es inherente, sino contextual; su papel futuro depende de un diseño inteligente que priorice la eficiencia energética, el empoderamiento de la comunidad y la sinergia ecológica, lo que la convierte en una herramienta versátil. La sostenibilidad es la capacidad de satisfacer nuestras necesidades diarias sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas (ONU, 1987).

En la actualidad, la producción global de alimentos representa alrededor del 30% del consumo de energía mundial y cerca del 20% de las **emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)** (FAO, 2011). Y mientras más pasa el tiempo, la relación entre alimentar a la humanidad y proteger el medioambiente se vuelve más compleja (Juo & Freed, 1995).

Para 2050, necesitaremos alimentar a casi 10.000 millones de personas (ONU, 2017). Tan

solo en América Latina, la demanda de alimentos crecerá un 31% mientras que la demanda de agua llegará hasta el 75% (Mahlknecht et al., 2020; Miralles-Wilhelm & Muñoz-Castillo, 2018). Mientras tanto, la agricultura convencional, el medio más extendido para producir nuestros alimentos actualmente, ve cómo sus recursos—suelo fértil y agua limpia—se agotan a un ritmo alarmante debido a su sobreexplotación, la degradación ambiental y las consecuencias del cambio climático.

La agricultura convencional se vuelve insostenible

La **agricultura convencional**, esa que nos trae a la mente de enormes campos de cultivo bajo el sol, es uno de los principales contribuyentes de esta crisis (Fitton et al., 2019; IPCC, 2019). De la superficie total del planeta que los humanos hemos ocupado, el 38% lo dedicamos exclusivamente para el cultivo de los alimentos (Boylan, 2020; Pomoni et al., 2023). Esta cifra sigue creciendo, pues cada año se talan miles de hectáreas de selva, especialmente en regiones como el Amazonas, en busca de más tierra fértil para aumentar la producción agrícola y ganadera (Haddad et al., 2024). Mientras tanto, el 70% del agua dulce de la que disponemos se usa para regar estos campos (Fitton et al., 2019; Pomoni et al., 2023).

Resulta, pues, bastante claro que la agricultura representa un problema grave de sostenibilidad. Al tiempo que la población crece, crece junto con ella la demanda de alimentos, lo que nos lleva a expandir nuestros terrenos de cultivo e incrementar con ello la demanda del consumo de agua, degradando el ambiente en el proceso y agravando la crisis. Todo se convierte así en un círculo vicioso del que se ve muy difícil escapar.

En este contexto surge la urgencia por buscar alternativas sostenibles para la producción de alimentos y es justo allí, que la alternativa sostenible que puede ser adoptada en espacios pequeños en ciudades o en grandes extensiones denominadas granjas de hidroponía.

La hidroponía ¿nuestra salvación?

Antes hablamos sobre cómo los principales recursos necesarios para producir nuestra comida son la tierra fértil y el agua dulce, y cómo estos comienzan a escasear o degradarse a un ritmo alarmante, pero ¿y si te dijera que existe una forma de cultivar alimentos sin tierra? Un método que utiliza hasta **90% menos agua**, multiplica por diez la producción y puede ser implementado hasta en los terrenos más inhóspitos, desde un almacén en el centro de la ciudad, hasta el ártico, el desierto, ¡O el mismo espacio exterior!

Las plantas como las conocemos crecen en la tierra, de la cual extraen los nutrientes que necesitan (principalmente) y luego los procesan utilizando la energía del sol (Curtis y Barnes, 1989; Salomón et al., 1996). La **hidroponía** es una técnica de cultivo sin tierra en el cual a las plantas son alimentadas exclusivamente a través de agua enriquecida con nutrientes (Resh, 1997), a diferencia de la agricultura convencional, donde

al regar el agua se filtra al subsuelo, siendo está imposible de recuperar (lo cual explica su altísima demanda de agua) en la hidroponía esta agua se mantiene o se recircula dentro de un sistema cerrado, haciendo que las pérdidas sean mínimas, apenas representadas por el agua que absorbe la planta y la evaporación de la misma en el ambiente (Naresh et al., 2024).

Esta técnica es la base de la **Agricultura vertical**: los cultivos hidropónicos en forma de torres, o galeras apiladas una sobre otra para aprovechar al máximo el espacio vertical, donde antes crecían dos plantas, ahora pueden crecer veinte de tal forma que se aprovecha al máximo el espacio disponible, utilizando torres o apilando líneas de canales hidropónicos uno encima de otro dentro de grandes invernaderos en ambiente altamente controlado. En ese metro cuadrado donde antes crecían un par de plantas de acelga, ahora pueden crecer 10 o 20, o cuantas quieras en tanto alto quieras ir.



Figura 1. Cultivo hidropónico. [https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrjZhSuw3tpk2AGfDHO8Qt.;ylu=c2VjA2ZwLWF0dHJpYGRzbG5DcnVyba-/RV=2/RE=1769747502/RO=11/RU=https%3a%2f%2fhidroponia.](https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrjZhSuw3tpk2AGfDHO8Qt.;ylu=c2VjA2ZwLWF0dHJpYGRzbG5DcnVyba-/RV=2/RE=1769747502/RO=11/RU=https%3a%2f%2fhidroponia.mx%2fguia-completa-para-empezar-un-cultivo-de-hidroponia-en-casa%2f/RK=2/RS=A_XUaf8nzYyblL_Z4fTtOUpr-QA)

[mx%2fguia-completa-para-empezar-un-cultivo-de-hidroponia-en-casa%2f/RK=2/RS=A_XUaf8nzYyblL_Z4fTtOUpr-QA](https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrjZhSuw3tpk2AGfDHO8Qt.;ylu=c2VjA2ZwLWF0dHJpYGRzbG5DcnVyba-/RV=2/RE=1769747502/RO=11/RU=https%3a%2f%2fhidroponia.mx%2fguia-completa-para-empezar-un-cultivo-de-hidroponia-en-casa%2f/RK=2/RS=A_XUaf8nzYyblL_Z4fTtOUpr-QA)



Figura 2. Torres hidropónicas. https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrOo13FyXtpVAoQX.z08Qt.;yлу=c2VjA2ZwLWF0dH-JpYgRzbGsDcnVyBA--/RV=2/RE=1769749061/RO=11/RU=https%3a%2f%2fwww.arkiplus.com%2fhidroponia-vertical/RK=2/RS=Cbehf7K62ieCcpMXrjDa34LAsU-

Según un estudio comparativo sobre la producción de lechugas en Arizona, EE. UU. El cultivo mediante hidroponía ofrece una producción **11 veces mayor** al del cultivo tradicional en suelo, así como un consumo de agua **13 veces menor** (Barbosa et al., 2015). Por su parte, Nederhoff

& Stanghellini (2010) demostraron que el agua requerida para producir 1 kg de tomates frescos puede reducirse de **300L** a tan solo **4L** en granjas hidropónicas de ambiente controlado en sistema cerrado del invernadero les permite recuperar entre el 40-75% del agua que se evapora.

Todo esto suena excepcional, entonces ¿Cuál es la letra pequeña? En una sola palabra: Energía.

El estudio de Barbosa et al. (2015) mostró que, si bien el ahorro de agua era enorme, cada kilogramo de lechuga hidropónica consumía **82 veces más energía** que la cultivada de forma tradicional. ¿La razón? Estas granjas de agricultura vertical estudiadas son, en realidad, **fábricas de plantas**. Para lograr esa productividad extraordinaria, necesitan un ambiente perfecto creado artificialmente: luces que sustituyen al sol, sistemas de climatización que mantienen una temperatura ideal y bombas que circulan el agua sin parar. Este es el precio de la máxima eficiencia en espacio y agua.

Este alto consumo energético se traduce, a su vez, en emisiones de gases de efecto invernadero. Según Vatisistas et al. (2022), producir

un kilogramo de alimento en estos sistemas puede generar hasta **5.7 kg de CO₂**, esto es más de **diez veces** las emisiones de la agricultura convencional (0.54 kg de CO₂).

Son varios los estudios que confirman la misma historia, independientemente del tipo de cultivo: al tratarse de agricultura vertical, la mayor parte del gasto energético proviene de la iluminación y del clima artificial presente en estas granjas (Martin & Molin, 2019).

Por todas estas razones, tal como señalan los mismos Barbosa et al. (2015) en sus conclusiones: en este momento la hidroponía aún no puede ser considerada como una solución más sostenible.

Entonces, ¿cuál es la alternativa?

Muchos estudios se han realizado para medir el consumo energético de los cultivos hidropónicos bajo diversas condiciones; uno de los más interesantes fue el estudio realizado por Martínez-Mate et al. (2018) donde se estudiaron las emisiones de **GEI** de un huerto hidropónico de tomates en el sur de España.

La energía específica para producir un kg de tomates en un sistema hidropónico era apenas un 17 % mayor. Algo bastante más modesto que el 1100% adicional de las lechugas en Arizona. ¿Cómo es esto posible? ¿Es que los tomates no requieren tanta energía como las lechugas? En realidad, la respuesta está en el sistema empleado: mientras que la producción de lechugas en Arizona se lleva a cabo en ambientes altamente controlados en temperatura, iluminación, humedad, etc. El clima mediterráneo del sur de España permite que los tomates pudieran ser cultivados al exterior, sin necesidad de sistemas que permitieran regular el clima o la iluminación, en este caso específico, la energía extra requerida se debió casi exclusivamente al sistema de bombeo y circulación del agua.

La clave de la ruta de acción para reducir el impacto ambiental de los sistemas hidropónicos y para que estos sean más sostenibles es simplificarlos y adecuarlos a las condiciones climáticas de cada lugar. Aprovechar los climas favorables a cada tipo de cultivo para prescindir de los ambientes controlados: si puedes cultivar afuera, ¿para qué necesitar un invernadero con clima controlado?

Así han surgido propuestas interesantes para difundir y promover el uso de estos sistemas en zonas con climas favorables. Una de estas propuestas es la conocida como “Huerta Hidropónica Popular” promovida por la FAO (Izquierdo & Marulanda, 2003). La cual consiste en, como ya se dijo antes, simplificar estos sistemas de modo que puedan ser montados y administrados por las mismas comunidades, cultivando alimentos adecuados a su entorno y teniendo un consumo mínimo de energía.

Otra de las propuestas, manteniéndose del lado de la producción intensiva, es integrar el uso de energías renovables como fuente primaria para el funcionamiento de estas granjas verticales intensivas, es decir: se sigue utilizando mucha más energía para eficientar la producción al máximo, pero esta energía proviene de fuentes limpias que hacen que se reduzca por mucho su impacto ambiental.

Los estudios de Liantas et al. (2023) compararon el impacto ambiental (huella de carbono) de una granja hidropónica que utilizó la red eléctrica convencional y de una que utilizó un sistema de energía solar para alimentarla, respectivamente. Liantas concluyó que, al usar un sistema de energía solar, se emiten unas 30 veces menos CO₂ al año.

Por otra parte, Jassim et al. (2024) analizaron el desempeño de un prototipo que integra una torre de cultivo hidropónico dentro de una cámara de ambiente controlado, un sistema de energía solar, bombeo y una unidad de control y monitoreo. Este análisis demostró que el sistema de energía solar genera suficiente energía para mantener el sistema funcionando de manera autónoma.

Otros estudios, como el de Martin & Molin (2019), exploran otro concepto interesante: la simbiosis y el aprovechamiento de la energía residual urbana. Dentro de su estudio se llegó a la misma conclusión: la mayor parte del impacto ambiental viene de la mano con los sistemas de iluminación y climatización (especialmente en un lugar tan frío como puede llegar a ser Suecia, donde toma lugar el estudio); sin embargo, este sistema no toda la energía utilizada proviene de la red eléctrica: una parte importante se aprovecha de la energía térmica (calor) residual del edificio sobre el cual se encuentra montado el sistema, creando una sinergia relevante que sienta las bases para desarrollar esta clase de relaciones simbióticas de maneras muy creativas.

Finalmente, Abdelhamid et al. (2025) realizaron un análisis comparativo del desempeño, la

eficiencia energética y el impacto ambiental de sistemas hidropónicos que utilizan energía solar frente a aquellos que utilizan la red eléctrica convencional. Demostraron que el sistema alimentado por energía solar obtuvo un aprovechamiento energético superior al de su contraparte. Esto redujo drásticamente sus emisiones de carbono.

Estos estudios demuestran que la integración de energías renovables con tecnologías hidropónicas no solo es posible, sino factible, aquí el único detalle que falta por tratar es la viabilidad

económica de realizar esta integración pues, montar un sistema de energía solar fotovoltaica no es precisamente barato y, aunque con el paso del tiempo la inversión puede verse recuperada e incluso representar ganancias, la inversión inicial no deja de ser fuerte y algo que no todos los productores se pueden permitir.

Finalmente, algunos autores proponen un enfoque más holístico. Esto quiere decir: ver algo como un todo. Por ejemplo, Chatterjee et al. (2025) sugieren la integración de la hidroponía en sistemas como el siguiente:

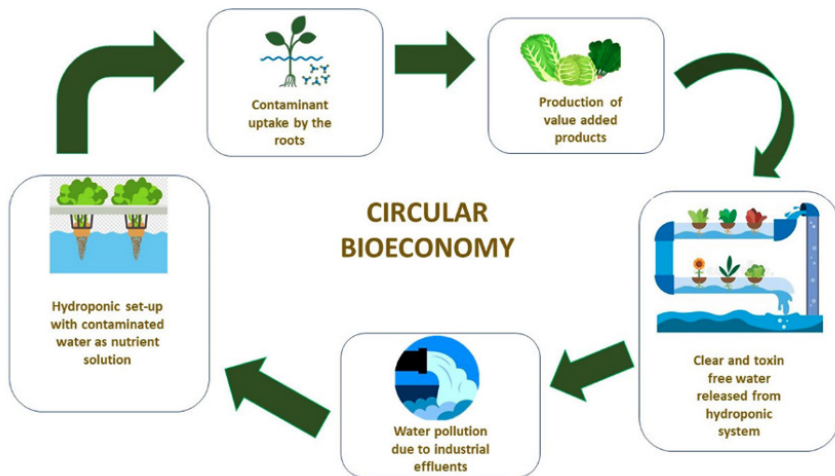


Figura 3. Diagrama que presenta la propuesta de un sistema hidropónico adaptado a los conceptos de la bioeconomía y de la economía circular. Fuente: Chatterjee et al. (2025)

Como podemos observar, este sistema plantea un ciclo en el que las plantas a cultivar se utilizan como biorremediadores, es decir, actúan como filtros naturales vivos. Se ‘alimentan’ de los contaminantes presentes en el agua, que para ellas son nutrientes, y limpiándolo en el proceso mientras crecen. Esto tiene un doble beneficio: descontaminar el agua sin necesidad de un uso intensivo de energía, a la vez que se producen vegetales frescos para consumo. Esto es posible, en el ambiente o la vida acuática, por considerar algunos contaminantes y toxinas, para muchas especies de plantas serán nutrientes que les permiten desarrollarse. Entonces,

el sistema se alimenta de agua “contaminada”, las plantas se nutren y absorben esos contaminantes y finalmente el agua sale del sistema libre de toxinas.

Enfoques como estos avanzan la idea de una economía circular, es decir, una economía sin desechos, esto es posible gracias a que comienzan a verse los residuos de un proceso como la materia prima de otro, en el caso anterior: las aguas contaminadas con ciertos elementos debido a la actividad humana e industrial se utilizan como fuente de nutrientes para la producción de alimentos.

El futuro de la hidroponía

El futuro inmediato de la hidroponía parece dirigirse por tres caminos paralelos en su búsqueda por la sostenibilidad:

1. **Sistemas simplificados** para la agricultura urbana y comunitaria, que aprovechen los climas favorables para minimizar el consumo energético.
2. **Integración de energías renovables en los sistemas intensivos**, mediante el uso de paneles solares u otras fuentes de energía alternativas, que compensen el alto consumo eléctrico.
3. **Incorporación de modelos de economía circular**, en los que la hidroponía no solo produce alimentos, sino que también contribuye a resolver otros problemas ambientales, como la descontaminación de aguas.

Sin embargo, hay un aspecto que no hemos explorado del todo y no podemos dejar pasar por alto: su papel dentro de la **agricultura urbana** y el fortalecimiento de la soberanía alimentaria de las comunidades:

La hidroponía ofrece un panorama prometedor para la agricultura urbana, ya que propone traer la producción de alimentos del campo a la ciudad; se presenta como una respuesta viable para mitigar problemas generados por la rápida urbanización, como la escasez de alimentos y de tierra (Chatterjee et al., 2025).

Autores como Chatterjee et al. Están convencidos de que la hidroponía puede reforzar la bioeconomía y el crecimiento agrícola sostenible.

Al realizar estudios de **Análisis de ciclo de vida (LCA)**, muchos estudios reportan que la producción local de alimentos puede resultar mucho más eficiente en términos energéticos, esto debido a los grandes ahorros que representa en transporte (Edwards-Jones et al., 2008).

Un estudio realizado en Filipinas muestra que los huertos hidropónicos en las azoteas del Metro Manila podrían reducir las emisiones anuales de CO₂ en 1.962,67 toneladas al eliminar la necesidad de importación de lechuga, así como ahorrar energía al utilizar fuentes de energía renovable para el funcionamiento de las bombas y aireadores requeridos por los sistemas hidropónicos (Taylor et al., 2012).

Casos reportados como los de Turner et al. (2024) en Hanoi, Vietnam. Muestran cómo la agricultura urbana desarrollada a través de huertos urbanos en las azoteas de la ciudad se ha convertido en una manera eficaz de mitigar estos problemas, empoderando además a la comunidad, volviéndose más resilientes y menos dependientes de las largas cadenas de suministro. Ghimire et al. (2024) respalda este punto al mostrar que la agricultura urbana, especialmente el cultivo de hortalizas, puede mejorar la calidad de la alimentación y nutrición de las comunidades urbanas marginadas, además de fortalecer el tejido social de la comunidad.

Conclusión

En definitiva, la hidroponía por sí sola no es la solución definitiva a nuestros problemas, pero sí una herramienta poderosa y versátil dentro del arsenal necesario para alimentar al futuro. Su verdadero potencial de sostenibilidad no está en la tecnología por sí misma, sino en cómo la implementamos. Al diseñar sistemas simplificados que aprovechen climas favorables, integrarlos con energías renovables, concebirlos bajo principios de economía circular y, sobre todo, al ponerlos al servicio de la soberanía alimentaria de la comunidad, la hidroponía puede trascender su actual dilema energético. Así, deja de ser una simple alternativa para convertirse en un componente clave de un sistema alimentario más resiliente, descentralizado y en armonía con los límites del planeta. Todo depende de nuestra capacidad para adaptar esta tecnología con inteligencia, contexto y una visión integral que priorice tanto al planeta como a las personas.

Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Los autores se descargan de responsabilidad (INTELIGENCIA ARTIFICIAL) Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (*ChatGPT, COPILOT, etc.*) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Revista Digital Internacional de Divulgación Científica del Instituto de Ciencias por dar a conocer las diversas temáticas que deben ser conocidas por los lectores.

Referencias

- Abdelhamid, M. A., Mahmoud, S. M., El-Nasr, M. K. A., Zhang, Z., & Hendy, Z. M. (2025). Sustainable hydroponic production using solar energy and treated greywater within the water-energy-food-environment nexus. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16030-4>
- Barbosa, G. L., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., & Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
- Boylan, C. (2020, November 9). The Future of Farming: Hydroponics. <https://Psci.Princeton.Edu/Tips/2020/11/9/the-Future-of-Farming-Hydroponics>.
- Chatterjee, A., Ghosh, P., Winkler, B., V. V., Debnath, S., Cichocki, J., Trenkner, M., Vanicela, B., Riethmueller, C., Walz, M., Chandra, S., & Pal, H. (2025). Demystifying the integration of hydroponics cultivation system reinforcing bioeconomy and sustainable agricultural growth. *Scientia Horticulturae*, 341. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.113973>
- Curtis, H., & Barnes, N. S. (1989). Photosynthesis, Light, and Life. In *Biology* (Fifth Edition, pp. 206–231). Worth Publishers, Inc.
- Edwards-Jones, G., Milà i Canals, L., Hounsoms, N., Truninger, M., Koerber, G., Hounsoms, B., Cross, P., York, E. H., Hospido, A., Plassmann, K., Harris, I. M., Edwards, R. T., Day, G. A. S., Tomos, A. D., Cowell, S. J., & Jones, D. L. (2008). Testing the assertion that "local food is best": the challenges of an evidence-based approach. *Trends in Food Science and Technology*, 19(5), 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.01.008>
- FAO, "Energy-Smart" Food for People and Climate, Rome, Italy, 2011. [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/i2454e/i2454e00.pdf>
- Fitton, N., Alexander, P., Arnell, N., Bajzeli, B., Calvin, K., Doelman, J., Gerber, J. S., Havlik, P., Hasegawa, T., Herrero, M., Krisztin, T., van Meijl, H., Powell, T., Sands, R., Stehfest, E., West, P. C., & Smith, P. (2019). The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity. *Global Environmental Change*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101944>
- Ghimire, A., Ojha, S., Saud, S., Aryal, S., Thapa, A., & Bhandari, P. (2024). THE IMPERATIVE ROLE OF URBAN HORTICULTURE IN FUTURE SUSTAINABILITY: A REVIEW. *Review. i TECH MAG*, 6, 48–56. <https://doi.org/10.26480/itechmag.06.2024.48.56>
- Haddad, E. A., Araújo, I. F., Feltran-Barbieri, R., Perobelli, F. S., Rocha, A., Sass, K. S., & Nobre, C. A. (2024). Economic drivers of deforestation in the Brazilian Legal Amazon. *Nature Sustainability*, 7(9), 1141–1148. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01387-7>
- Izquierdo, J., & Marulanda, C. (2003). La Huerta Hidropónica Popular- Curso Audiovisual. <https://www.researchgate.net/publication/347513935>
- Jassim, E., Jasem, B., & Djavanroodi, F. (2024). Assessment of utilizing solar energy to enhance the performance of vertical aeroponic farm. *Materials Research Proceedings*, 43, 118–123. <https://doi.org/10.21741/9781644903216-16>
- Juo, A. S. R. ., & Freed, R. D. . (1995). Agriculture and environment: Bridging Food Production and Environmental Protection in Developing Countries. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Land is a Critical Resource, IPCC report says. (2019, August 8). <https://www.ipcc.ch/2019/08/08/Land-Is-a-Critical-Resource-srcl/>.
- Liantas, G., Chatzigeorgiou, I., Ravani, M., Koukounaras, A., & Ntinias, G. K. (2023). Energy Use Efficiency and Carbon Footprint of Greenhouse Hydroponic Cultivation Using Public Grid and PVs as Energy Providers. *Sustainability* (Switzerland), 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021024>
- Mahlknecht, J., González-Bravo, R., & Loge, F. J. (2020). Water-energy-food security: A Nexus perspective of the current situation in Latin America and the Caribbean. *Energy*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116824>
- Martin, M., & Molin, E. (2019). Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden. *Sustainability* (Switzerland), 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11154124>

- Martinez-Mate, M. A., Martin-Gorri, B., Martínez-Alvarez, V., Soto-García, M., & Maestre-Valero, J. F. (2018). Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1298–1310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.275>
- Miralles-Wilhelm, F., & Muñoz-Castillo, R. (2018). An Analysis of the Water-Energy-Food Nexus in Latin America and the Caribbean Region: Identifying Synergies And Tradeoffs through Integrated Assessment Modeling I. BACKGROUND AND OBJECTIVES. <https://doi.org/10.9790/1813-07010825>
- Naresh, R., Jadav, S. K., Singh, M., Patel, A., Singh, B., Beese, S., & Pandey, S. K. (2024). Role of Hydroponics in Improving Water-Use Efficiency and Food Security. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(2), 608–633. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i23976>
- Nederhoff, E., & Stanghellini, C. (2010). Water use efficiency of tomatoes-in greenhouses and hydroponics. www.waterfootprint.org
- Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. In *Energies* (Vol. 16, Number 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en16041690>
- Report of the World Commission on Environment and Development "Our Common Future." (1987). <https://digitallibrary.un.org/record/139811?v=pdf>
- Resh, H. M. . (1997). Cultivos hidropónicos : nuevas técnicas de producción : una guía completa de los métodos actuales de cultivo sin suelo : para técnicos y agricultores profesionales, así como para los aficionados especializados (4ta. Edición). Ediciones Mundi-Prensa.
- Solomon, E. P., Berg, L. R., & Martin, D. W. (1996). Photosynthesis: Capturing Energy. In *Biology* (Fourth Edition, pp. 191–215). Saunders College Publishing.
- Taylor, R. W., Carandang, J. S., Alexander, C., & Calleja, J. S. (2012). MAKING GLOBAL CITIES SUSTAINABLE: URBAN ROOFTOP HYDROPONICS FOR DIVERSIFIED AGRICULTURE IN EMERGING ECONOMIES. *OIDA International Journal of Sustainable Development*.
- Turner, S., Pham, T. T. H., Ngô, H. T., & Zuberec, C. (2024). Rooftop gardening complexities in the Global South: Motivations, practices, and politics. *Geographical Research*, 62(2), 248–262. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12631>
- World Population Prospects: The 2017 Revision. (2017). <https://www.un.org/es/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100>