

Revolucionando la producción de alimentos: análisis de los sistemas de fábricas de plantas

Plant Factory Systems: The food production revolution

Recepción del artículo: 01/08/2024 • Aceptación para publicación: 22/08/2024 • Publicación: 01/09/2024

● <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi23.362>

Luis Tonatiuh Castellanos Serrano*
José Alfredo Castellanos Suárez
María Victoria Gómez Águila
Marcelino Aurelio Pérez Vivar
Universidad Autónoma Chapingo. Centro de
Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en
Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura
(CIISCINACyC). Edo. México, México
procesoslce@hotmail.com

Resumen

Las fábricas de plantas emergen como una solución revolucionaria en la producción agrícola moderna, ofreciendo una fusión sin precedentes de tecnología avanzada y métodos tradicionales de cultivo. Estas instalaciones, caracterizadas por su estricto control ambiental, prometen superar los desafíos del cambio climático, la urbanización y la creciente demanda de alimentos, a través de la optimización de condiciones de crecimiento y la eficiencia en el uso de recursos. En México, donde las tradiciones agrícolas están profundamente arraigadas y las necesidades de sostenibilidad son evidentes, las fábricas de plantas se han adaptado para enfrentar los retos de la escasez de agua en zonas áridas y la demanda de agricultura urbana. Simultáneamente, la integración de energías renovables, sistemas de monitoreo avanzados basados en inteligencia artificial y técnicas agrícolas ancestrales amplían el potencial y versatilidad de estas instalaciones. Este artículo destaca los avances y aplicaciones de las fábricas de plantas en diversos contextos, subrayando su relevancia y potencial en la transformación del panorama agrícola global.

Palabras clave: Agricultura vertical, inteligencia artificial en agronomía, integración tecnológico-tradicional.

Abstract

Plant factories emerge as a revolutionary solution in modern agricultural production, offering an unprecedented fusion of advanced technology and traditional cultivation methods. These facilities, characterized by their strict environmental control, promise to overcome contemporary challenges such as climate change, urbanization, and the growing demand for food, through the optimization of growth conditions and resource use efficiency. In countries like Mexico, where agricultural traditions are deeply rooted and sustainability needs are evident, plant factories have adapted to address specific challenges, such as water scarcity in arid areas and the demand for urban agriculture. Simultaneously, the integration of renewable energies, advanced monitoring systems based on artificial intelligence, and ancestral agricultural techniques expand the potential and versatility of these facilities. This article highlights the advances and applications of plant factories in various contexts, emphasizing their relevance and potential in transforming the global agricultural landscape.

Keywords: Vertical farming, artificial intelligence in agronomy, technological-traditional integration.

Introducción

Dentro del marco del crecimiento humano, la agricultura ha sido un factor fundamental, pues todos necesitamos alimentarnos y nutrirnos correctamente. Proyecciones globales señalan que, para 2050, seremos más de 9 mil millones de seres humanos en el planeta, traducándose en una necesidad de incrementar la producción alimentaria en un 70% para cubrir la demanda (FAO, 2019). Enfocándonos en México, el país enfrenta desafíos notables en sostenibilidad agrícola; problemas originados por el cambio climático, alteraciones en patrones de lluvia y sobreexplotación de acuíferos son algunos ejemplos (Scott y Silva-Ochoa, 2001).



Figura 1. Crecimiento poblacional estimado.

Incrementar la producción agrícola conlleva desafíos internos. Hemos observado cómo el uso intensivo de insumos químicos, sistemas de riego poco optimizados y la transformación de zonas forestales en tierras de cultivo, generan problemas de degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y contaminación hídrica (Tilman *et al.*, 2002). A esto sumemos el cambio climático, cuyas repercusiones ya se manifiestan en la disminución de rendimientos de ciertos cultivos, particularmente en zonas propensas a sequías o inundaciones (Lobell *et al.*, 2011). La presión sobre el terreno agrícola se intensifica ante la creciente demanda, resaltando la urgencia de encontrar soluciones innovadoras en la producción alimentaria.

En respuesta a estos retos, la tecnología se ha presentado como una vía prometedora. Entre las múltiples innovaciones, se destacan las fábricas de plantas o la agricultura vertical, que emergen como una solución viable. Estos sistemas, que permiten cultivar durante todo el año sin depender del clima, son especialmente relevantes. Su capacidad de integración en espacios urbanos significa no solo producir alimentos cerca de donde se consumen, sino también disminuir la huella de carbono asociada al transporte de estos productos (Kozai *et al.*, 2015), esto forma parte de la disciplina conocida como agricultura Indoor (Cultivar dentro de casa), práctica que con el tiempo y extensión de la mancha urbana se ha vuelto popular en metrópolis y ciudades.

Antecedentes

Historia breve de las técnicas de cultivo protegido y controlado

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha buscado maneras de proteger sus cultivos. Ejemplo de ello son los invernaderos,

cuyo uso se remonta a la civilización romana para cultivar vegetales y flores fuera de su estación habitual (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2012). Durante los períodos de la Edad Media, Europa adoptó más ampliamente estos invernaderos para resguardar cultivos de las heladas. Con la revolución industrial del siglo XIX, los avances tecnológicos permitieron invernaderos más robustos y con sistemas de calefacción.



Figura 2. Invernadero tradicional de la edad media. Representación generada por IA. Fuente: Midjourney

El siglo XX marcó un giro hacia el cultivo controlado, motivado tanto por avances tecnológicos y por la creciente demanda agrícola. Durante las décadas de 1920 y 1930, emergió la técnica de la hidroponía, que posibilitó el cultivo en soluciones nutritivas, eliminando la dependencia del suelo (Resh, 2012).

Orígenes y evolución de las fábricas de plantas

La visión de cultivar en ambientes completamente controlados comenzó a delinearse en la segunda mitad del siglo XX. La crisis energética de los años 70 motivó a investigadores, principalmente en Japón y EE.UU., a idear sistemas agrícolas más eficientes (Kozai, 2013). De aquí surgió la agricultura vertical, proponiendo una producción en distintos niveles dentro de estructuras edificadas (Despommier, 2011).

El cruce de disciplinas biotecnológicas, de ingeniería y agricultura en las décadas de 1980 y 1990 propició avances en automatización y control ambiental del cultivo (Avercheva *et al.*, 2009), sumando el avance tecnológico de los 90 y 2000, se genera la Agricultura de Precisión (AP), la cual implementa dispositivos de instrumentación y control para calcular los procesos y así precisar las variables de la producción, optimizando de esta manera los rendimientos finales. Estas innovaciones dieron pie a las fábricas de plantas actuales, en los que aspectos de iluminación, temperatura y humedad son meticulosamente regulados, con el fin de optimizar la calidad y rendimiento de los cultivos.

¿Qué es una fábrica de plantas?

Las fábricas de plantas, también etiquetadas como Plant Factory, son sistemas avanzados de agricultura que permiten cultivar plantas en varios niveles, todo ello dentro de un ambiente rigurosamente controlado y habitualmente en espacios cerrados. Estos sistemas permiten un control total sobre la temperatura, humedad, niveles de CO₂ (si así lo requiere el tipo de cultivo), y espectro de luz. A diferencia de la agricultura tradicional, que está sujeta a las vicisitudes de la naturaleza, las Plant Factory operan en un régimen de constante precisión, lo que resulta en un crecimiento más uniforme y con rendimientos consistentemente altos. (Kozai *et al.*, 2015).



Figura 3. Fábrica de plantas. Representación generada por IA. Fuente: Midjourney

Una de las características más distintivas de las fábricas de plantas es la integración de tecnologías de punta. La robótica avanzada, los sistemas de monitoreo basados en inteligencia artificial y los algoritmos de optimización trabajan en conjunto para responder en tiempo real a las necesidades de las plantas, todas estas disciplinas de alta tecnología son forman parte de la agricultura 5.0 las cuales en su sinergia conforman sistemas altamente sofisticados que superan las técnicas de la AP (Martos, 2021).

Las fábricas de plantas son sumamente útiles para abordar los desafíos más apremiantes de nuestra era: escasez de agua, cambio climático y la creciente demanda de alimentos en un mundo con recursos limitados. Estas instalaciones, al reciclar agua y nutrientes, minimizan el desperdicio y operan con un consumo drásticamente reducido en comparación con la agricultura convencional. El resultado es una forma de producción que, aunque intensiva en tecnología, es notablemente sostenible y respetuosa con el medio ambiente. A continuación, la Figura 4, muestra las características de una fábrica de plantas.



Figura 4. Características de una fábrica de plantas.

Tecnologías implicadas desde una perspectiva de mecatrónica agrícola

La función que cumple la mecánica agrícola en las fábricas de plantas es crear un entorno para una agricultura eficaz y sostenible, minimizando la necesidad de pesticidas y usando significativamente menos recursos que en los métodos tradicionales.

Aspectos mecatrónica tecnológicos de las fábricas de plantas

Aspectos mecatrónicos

Las fábricas de plantas exigen una estructura capaz de sostener varios pisos de cultivo. La resistencia estructural es crucial para asegurar la integridad y firmeza del edificio (Nakamura *et al.*, 2017). En la mayoría de estos establecimientos, predominan sistemas como riego por goteo, hidroponía, aspersión en el caso de aeroponía, acuaponía o balsa flotante, los cuales dependen de bombas, filtros y otros elementos mecánicos para su óptimo funcionamiento (Resh, 2012).



Figura 5. Sistema de riego por goteo. Representación generada por IA. Fuente: Midjourney.

Para maximizar la eficiencia en labores como la siembra, el traslado y la recolección, es esencial contar con robots y transportadores. Es vital que estos dispositivos sean precisos, duraderos y de fácil mantenimiento (Despommier, 2011). Así mismo, los ventiladores, humidificadores, deshumidificadores y sistemas HVAC juegan un papel determinante en la regulación del clima interno de la fábrica de plantas (Kozai, 2013). Se usa poca agua, se recicla y lo que se deshecha no contamina, pues se puede aprovechar para otros procesos.



Figura 6. Ventiladores. Representación generada por IA. Fuente: Midjourney.

Aspectos tecnológicos

La iluminación LED es esencial en la fábrica de plantas. Los LED ofrecen la capacidad de modificar el espectro de luz para satisfacer las demandas particulares de las plantas según sus fases de crecimiento (Kozai *et al.*, 2015).



Figura 7. Iluminación LED. Representación generada por IA. Fuente: Midjourney.

Los sistemas de monitoreo y control son otro componente clave, gracias a sensores digitales posibles supervisar factores

como humedad, temperatura, niveles de CO₂ y pH. Estos datos informan a sistemas que modifican las condiciones para garantizar un ambiente ideal para garantizar un ambiente ideal (Avercheva *et al.*, 2009). Con la creciente sofisticación de las fábricas de plantas, el software especializado y los algoritmos de inteligencia artificial se emplean para anticipar las necesidades vegetales, detectar potenciales desafíos y optimizar la producción (Nakamura *et al.*, 2017). En cuanto a la energía, ante las inquietudes sobre su consumo, numerosas fábricas de plantas optan por fuentes renovables y sistemas de administración energética para realzar la eficiencia y minimizar la huella de carbono (Despommier, 2011).



Figura 8. Sistema de monitoreo y control. Representación generada por IA. Fuente: Midjourney.

Ventajas desde una perspectiva mecatrónica y agronómica de las fábricas de plantas

Ventajas mecatrónica

Las fábricas de plantas representan un salto evolutivo en la intersección de la mecatrónica y la agronomía, dando pie a avances que transforman radicalmente las dinámicas de producción agrícola. Desde un prisma mecatrónico, estas instalaciones redefinen la precisión, eficiencia y sostenibilidad del proceso agrícola. Las ventajas mecatrónicas además de optimizar la producción también anticipan y solucionan los retos comunes de la agricultura tradicional. A continuación, se exploran las principales ventajas mecatrónicas de las fábricas de plantas, las cuales emergen como pilares fundamentales en la agricultura del futuro.

La Figura 9, presenta un desglose conciso de las ventajas mecatrónica de las fábricas de plantas.

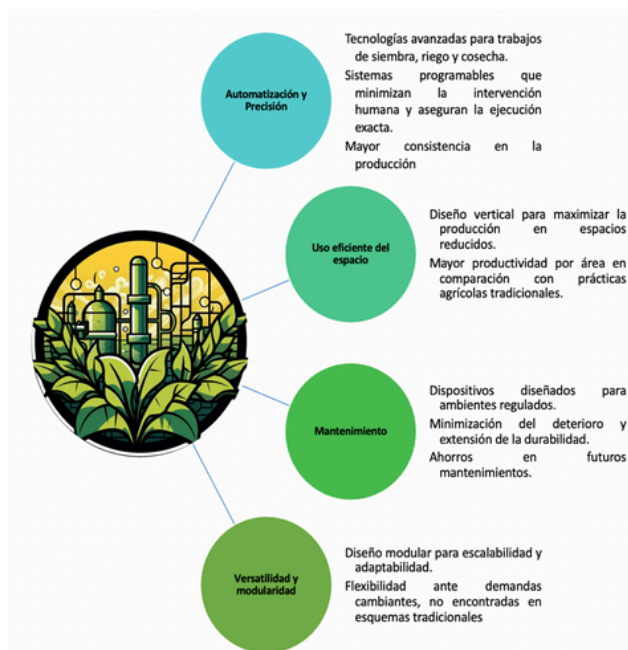


Figura 9. Ventajas mecánicas de una fábrica de plantas.

Ventajas agronómicas

Las ventajas agronómicas derivadas de estas estructuras superan las limitaciones propias a la agricultura convencional, ofreciendo soluciones holísticas a desafíos persistentes. Estas ventajas favorecen una producción más robusta y eficiente. Así mismo refleja un compromiso con la sostenibilidad, la salud y la economía agraria. A continuación, se desglosa los principales beneficios agronómicos que proporcionan las fábricas de plantas.



Figura 10. Ventajas agronómicas de una fábrica de plantas.

Faltaría reflexionar si otro engrane más del sistema, es la erosión de las tierras, las fábricas de plantas evitan uso químico u orgánico para tratamiento de suelos y su fertilización en cada ciclo de cosecha.

Desafíos tecnológicos y oportunidades de mejora en las fábricas de plantas

Desafíos tecnológicos

El gasto energético en las fábricas de plantas es un aspecto para tener en cuenta, en especial en las que se basan íntegramente en luz artificial. Sostener condiciones ideales de forma continua puede generar costos operacionales elevados (Nakamura *et al.*, 2017).

En cuanto a la conjunción de sistemas, aunque la automatización es beneficiosa, también trae desafíos. Lograr que diversos sistemas como iluminación, irrigación y regulación climática trabajen en conjunto se torna complicado. Una falla en alguna de estas partes puede perjudicar toda la producción (Kozai *et al.*, 2015).

Por otra parte, sobre las restricciones en diversidad de cultivos, es evidente que algunas plantas prosperan en ambientes regulados, mientras que otras tienen demandas específicas difíciles de replicar en un entorno controlado. Esto restringe la gama de cultivos que se pueden desarrollar exitosamente (Despommier, 2011).

Finalmente, el capital inicial requerido para instalar fábricas de plantas es alto. La integración de tecnologías de punta, sumado a los gastos de diseño y edificación, supone un diseño notable. Esta inversión puede ser un obstáculo para agricultores o inversores potenciales (Resh, 2012).

La infraestructura es otro desafío, dado que estos sistemas llevan una “curva” de producción de alta logística en forma de “U”, la cual empieza en el ingreso de los recursos de producción, para pasar al cuarto de germinado, seguir a los cuartos de crecimiento, posteriormente a cuarto de purga, luego son cosechados, embalados y distribuidos, este sistema industrial requiere de una planificación ingenieril ambiciosa para tener una curva de producción óptima.

Oportunidades de mejora

El uso de energías renovables y estrategias de ahorro de energía en la agricultura es fundamental. Al incorporar fuentes de energía como la solar y eólica, no solo se pueden disminuir los gastos operativos, sino también reducir el daño al medio ambiente. Además, al emplear técnicas avanzadas de eficiencia energética, es posible lograr una notable disminución en el uso de energía (Avercheva *et al.*, 2009).

En cuanto a la supervisión y control, la tecnología es decisiva. El empleo de sensores de vanguardia, junto con algoritmos basados en inteligencia artificial, los datawarehouse, Bigdata, computo en la nube, IoT, entre otras tecnologías de punta, facilita previsiones más exactas y ajustes específicos para el cuidado de las plantas, mejorando el rendimiento agrícola (Nakamura *et al.*, 2017).

Desde la perspectiva investigativa, la flexibilidad de los cultivos es primordial. Estudios centrados en variedades de cultivares que sean más compatibles con las condiciones de las fábricas de plantas pueden extender el espectro de plantas cultivables y su heterogeneidad (Kozai, 2013), el asunto de la ingeniería genética socialmente responsable sirve de igual forma para reducir el porte de las plantas, de esta manera la biotecnología ayuda actualmente a que los cultivos tengan tamaños asequibles (un ejemplo puede ser el trigo).

Así mismo, es vital adoptar enfoques financieros y renovadores empresariales. Estrategias como la creación de cooperativas o el fomento de alianzas entre el sector público y privado para repartir el costo inicial se presentan como soluciones prácticas, permitiendo una reducción de gastos y un mayor alcance, favoreciendo a un público más extenso y variado (Despommier, 2011), lo que permitiría incluso formular estrategias agroempresariales para equipar a pequeños productores.

Casos de éxito y aplicaciones en México

México, reconocido por su profunda herencia agrícola y la emergente demanda de métodos sostenibles, ha presenciado el auge de la agricultura vertical y las fábricas de plantas. A continuación, se exponen ejemplos notables y sus implicaciones:

Agricultura en la Ciudad de México (CDMX Indoor): Ante el aumento poblacional y la escasez de zonas verdes, han surgido iniciativas de agricultura vertical. Más allá de la producción alimentaria, estos proyectos aspiran a potenciar la calidad del aire y brindar zonas de esparcimiento para los habitantes. Firmas como Cultiva Ciudad han revolucionado terrazas, transformándolas en jardines productivos a través de la agricultura vertical (Rodríguez, 2018).

Avances en áreas desérticas: En regiones como Sonora y Baja California, la escasa disponibilidad hídrica representa una problemática constante. Gracias a la habilidad de las fábricas de plantas para optimizar el uso del agua, han surgido soluciones prometedoras. AgroBajaTech ha evidenciado que la hidroponía y la agricultura vertical son viables para obtener productos de calidad en tales condiciones (López et al., 2020).

Institutos académicos y de capacitación: La Universidad Autónoma Chapingo, a través del Centro de Investigación CIISCINASYC, ha incorporado en sus líneas de investigación proyectos relacionados con la agricultura vertical y las fábricas de plantas, además de los proyectos de posgrados y de investigación que se realizan en otros departamentos. Estos lugares se han consolidado como epicentros de innovación y disseminación de conocimientos, formando a futuros agrónomos mexicanos para enfrentar los retos futuros en producción alimentaria (Gutiérrez, 2019).

Fusión de métodos ancestrales con tecnologías actuales: Valorando la extensa herencia agrícola de México, ciertos proyectos han propuesto la integración de técnicas antiguas con las modernas tecnologías de cultivo vertical. Un caso representativo es la adaptación de las chinampas, un método agrícola tradicional, con estrategias contemporáneas de cultivo vertical, generando sistemas mixtos que amalgaman lo destacado de ambas técnicas (Torres, 2017).



Figura 11. Sistema agrícola híbrido. Representación generada por IA. Fuente: Midjourney.

Conclusiones y perspectivas futuras

La agricultura, a lo largo de la historia, ha sido un reflejo dinámico de la adaptación humana a los desafíos cambiantes de su entorno. Hoy en día, nos encontramos en un punto de inflexión en la evolución agrícola, marcado por la emergencia de las fábricas de plantas. Estas estructuras representan un nuevo capítulo en la producción de alimentos, uno que combina la precisión de la tecnología moderna con el respeto y reconocimiento de técnicas tradicionales.

En México, un país con una rica tradición agrícola que admira desde hace tiempo se ha evidenciado el potencial y adaptabilidad de las fábricas de plantas. Ya sea en la vibrante Ciudad de México, donde la agricultura vertical se está utilizando para combatir los problemas de urbanización y falta de espacios verdes, o en áreas desérticas donde el agua es un bien preciado, las fábricas de plantas han demostrado ser una solución formidable. La integración de técnicas ancestrales como las chinampas con la agricultura vertical es una clara demostración de cómo lo viejo y lo nuevo pueden coexistir y complementarse, formando sistemas robustos y sostenibles.

A pesar de todas las ventajas y oportunidades que presentan las fábricas de plantas, también es evidente que existen desafíos significativos. Los altos costos iniciales,

el consumo energético y las dificultades de integración de sistemas son obstáculos que no deben ser subestimados. Pero aquí es donde el optimismo, basado en años de investigación y experiencia en este campo, entra en juego. El tiempo, la investigación continua, el desarrollo tecnológico y la colaboración interdisciplinaria resolverán estos problemas.

Las fábricas de plantas son más que simples estructuras; son la representación de un futuro en el que la humanidad puede producir alimentos de manera sostenible, eficiente y en armonía con su patrimonio cultural. Nos encontramos en el umbral de una nueva era de la agricultura, donde convergen la tradición y la tecnología. A medida que superamos los desafíos y seguimos innovando, las fábricas de plantas se consolidarán como una solución fundamental para garantizar la seguridad alimentaria global, al tiempo que preservamos y valoramos las ricas tradiciones agrícolas de México.

Perspectivas futuras

La incorporación de fábricas de plantas en la agricultura contemporánea ha mostrado un crecimiento notable. A medida que los beneficios de estas instalaciones se hacen cada vez más evidentes y las barreras tecnológicas y financieras se superan, se espera que su adopción se intensifique en México.

Desde la lente de avances tecnológicos, el entrecruzamiento de la inteligencia artificial, robótica y genómica se vislumbra un futuro en el que las fábricas de plantas alcanzarán grandes niveles de eficiencia y productividad.

En relación con la diversidad de cultivos, si bien es cierto que hay desafíos actuales respecto a las variedades que pueden adaptarse a estos sistemas controlados, la investigación continuará expandiendo el rango de cultivos aptos, abriendo así nuevos horizontes comerciales.

La sinergia interdisciplinaria se vislumbra como un elemento fundamental para el progreso de las fábricas de plantas. La combinación del conocimiento de agrónomos, ingenieros, biólogos y especialistas en gestión será esencial para concebir soluciones más holísticas y adaptadas a los retos que surgen.

No debemos olvidar la importancia del sector educativo en este contexto. A medida que esta modalidad agrícola gana terreno, será imperativo formar a profesionales que comprendan en profundidad la agricultura vertical y la gestión de fábricas de plantas. La Universidad Autónoma Chapingo, institución prestigiosa, a través del CIISICINASyC, próxima a incursionar en comunidades de pequeños productores, cuenta con el desafío y la oportunidad de moldear a la próxima generación de pioneros en este campo, lo cual podría pensarse como la propuesta de un futuro “Ingeniero en Agricultura Vertical”.

Literatura citada

- Avercheva, O., Berkovich, Y., Smolyanina, S., Bassarskaya, E., Pogosyan, S. y Ptushenko, V. (2009). Aspectos bioquímicos de las interacciones vegetales en fitotrones. *Avances en la investigación espacial*, 44(2), 263-269.
- Despommier, D. (2011). *La granja vertical: alimentando al mundo en el siglo XXI*. Macmillan.
- FAO. (2009). *Cómo alimentar al mundo en 2050*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Gutiérrez, J. (2019). Agricultura del futuro: Una mirada desde la Universidad Autónoma Chapingo. *Revista Agroproductividad*, 12(5), 57-63.
- Kozai, T. (2013). Eficiencia en el uso de recursos del sistema de producción de plantas cerradas con luz artificial: concepto, estimación y aplicación a la fábrica de plantas. *Procedimientos de la Academia de Japón, Serie B*, 89(10), 447-461.
- Kozai, T., Niu, G. y Takagaki, M. (Eds.). (2015). *Fábrica de plantas: un sistema de cultivo vertical interior para la producción eficiente de alimentos de calidad*. Prensa Académica.
- Lobell, D., Schlenker, W. y Costa-Roberts, J. (2011). Tendencias climáticas y producción mundial de cultivos desde 1980. *Ciencia*, 333(6042), 616-620.
- López, R., Pérez, A. y Mendoza, M. (2020). Adaptación de la hidroponía en zonas áridas: Caso Baja California. *Investigaciones Geográficas*, 50, 128-143.
- Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P. y Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 11(13), 5911. <https://doi.org/10.3390/app11135911>
- Nakamura, K., Kondo, S. y Takaichi, M. (2017). Consideraciones mecánicas y estructurales para fábricas de plantas con sistemas de construcción de iluminación artificial (PFAL). *Ingeniería Estructural y Mecánica*, 63(3), 287-297.
- Ramírez, L. (2021). Sinaloa y la revolución de la agricultura vertical. *Revista Agricultura y Desarrollo*, 15(3), 244-256.
- Resh, H. (2012). *Producción de alimentos hidropónicos*. Prensa CRC.
- Rodríguez, P. (2018). Agricultura vertical: Una respuesta a la urbanización y el cambio climático en Ciudad de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42(2), 185-197.
- Scarascia-Mugnozza, G., Sica, C. y Russo, G. (2012). Materiales plásticos en la agricultura europea: uso actual y perspectivas. *Diario de Ingeniería Agrícola*, 43(15), 15-28.
- Scott, C. y Silva-Ochoa, P. (2001). Acción colectiva para la captación de agua de riego en la cuenca Lerma-Chapala, México. *Gestión del agua agrícola*, 48(2), 131-146.
- Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R. y Polasky, S. (2002). Sostenibilidad agrícola y prácticas intensivas de producción. *Naturaleza*, 418(6898), 671-677.
- Torres, H. (2017). Chinampas 2.0: Tradición y tecnología en la producción agrícola del Valle de México. *Cuadernos de Geografía*, 36(1), 14-29.