

AGRICULTURA URBANA EN MÉXICO: EVALUACIÓN SOBRE SU FACTIBILIDAD Y VIABILIDAD TÉCNICA, POLÍTICA, ECONÓMICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Norma Verónica **Ramírez-Pérez**, José Alfredo **Padilla-Medina***, Marcela **Cárdenas-Manriquez**, Jessica Alejandra **Araujo-Rodríguez**, Alejandro Israel **Barranco-Gutiérrez**, Juan **Prado-Olivarez**

Tecnológico Nacional de México, Celaya, Guanajuato, México, 38010.

*Autor de correspondencia: alfredo.padilla@itcelaya.edu.mx

RESUMEN

La agricultura urbana (AU), es una práctica que consiste en cultivar alimentos en espacios dentro o en la periferia de zonas urbanas, propiciando con esto, el autoconsumo, el comercio y la recreación. La AU, posibilita una contribución a la seguridad alimentaria, la generación de ingresos, la conservación de recursos naturales, la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad de vida de la población urbana. Sin embargo, también enfrenta desafíos técnicos, políticos y económicos que limitan su desarrollo y expansión. En este artículo, se presenta un análisis de la factibilidad técnica y de eficiencia energética, así como la viabilidad política y económica de México, considerando sus ventajas y desventajas, así como las condiciones climáticas y geográficas que favorecen el cultivo sin suelo, para optimizar el uso de agua y nutrientes. Para ello, se propone una metodología basada en el protocolo PRISMA, que consiste en una revisión sistemática y un metaanálisis de estudios sobre la AU en México y sus respectivas implicaciones, así como sus diversos desafíos. La finalidad del presente artículo, es mostrar evidencia científica sobre la factibilidad técnica, económica y energética de la AU. Esta evidencia científica, podría contribuir a la implementación de políticas públicas que promuevan la AU de forma sostenible.

Palabras clave: agricultura urbana, cambio climático, cultivo sin suelo, políticas públicas, seguridad alimentaria.

INTRODUCCIÓN

La agricultura urbana (AU), es una práctica con una larga historia y una gran diversidad de formas y escalas, que van desde los huertos familiares, hasta las granjas comerciales, pasando por los jardines comunitarios, escolares y terapéuticos, motivando el autoconsumo, comercio y recreación (Morrison, 2020). La AU, se ha convertido en una estrategia para enfrentar los desafíos que plantea el crecimiento urbano, la pobreza, la inseguridad alimentaria, la degradación ambiental y el cambio climático (Langemeyer *et al.*, 2021). Acorde con Moreno (2007), la agricultura urbana, puede ser una plataforma de desarrollo local y comunitario, generando sinergias entre la recuperación de recursos y la creación de actividades productivas. La Agricultura Protegida (AP), se define como un conjunto de técnicas que permiten cultivar plantas en entornos controlados, que evitan plagas o condiciones climáticas adversas, haciendo uso de estructuras como invernaderos, túneles, etcétera.

Citation: Ramírez-Pérez NV, Padilla-Medina JA, Cárdenas-Manriquez M, Araujo-Rodríguez JA, Barranco-Gutiérrez AI, Prado-Olivarez J. 2025. Agricultura urbana en México: evaluación sobre su factibilidad y viabilidad técnica, política, económica y eficiencia energética. Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v22i4.1741>

Editor in Chief:
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: September 17, 2024.
Approved: February 10, 2025.

Estimated publication date:
September 12, 2025.

This work is licensed
under a Creative Commons
Attribution-Non-Commercial
4.0 International license.



Según la FAO (2020), más de 800 millones de personas, practican la AU en el mundo, produciendo entre 15 y 20% de los alimentos que se consumen en las ciudades. En América Latina y el Caribe, se estima que hay alrededor de 130 millones de agricultores urbanos, que aportan 34% de la producción hortícola de la región.

Olivera y Zavaleta (2020), también concluyen que la AU, junto con los espacios abiertos intraurbanos, representan una alternativa óptima para el uso del suelo, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030 de la ONU (Organización de las Naciones Unidas). Su estudio se basa en el análisis de estadísticas oficiales y trabajo de campo realizado en el ejido Tejalpa, en Cuernavaca, Morelos. Los hallazgos indican que la AUP (Agricultura Urbana y Periurbana), ha sido viable gracias a su historia y la disponibilidad de recursos como agua y tierra, destacándose más por su carácter comercial, que por la modalidad de huertos urbanos.

México, es uno de los países con mayor potencial de AU, debido a su riqueza cultural, biológica y geográfica, así como a su alta densidad y heterogeneidad urbana (Morrone, 2019). Sin embargo, la AU en México, también enfrenta una serie de desafíos técnicos, políticos y económicos que limitan su desarrollo y expansión. Entre estos desafíos, se encuentran la falta de acceso a la tierra, el agua, los insumos y los mercados, la escasa capacitación y asistencia técnica, la baja rentabilidad y competitividad, la inseguridad jurídica y social, la contaminación del suelo y el agua y la ausencia o insuficiencia de políticas públicas que reconozcan, regulen y promuevan la AU. Morrison (2020), menciona que aunque la AU en México ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsada por la necesidad de producir alimentos de manera sostenible y fomentar la seguridad alimentaria en entornos urbanos, como Huertos comunitarios, huertos en azoteas, huertos verticales, agricultura hidropónica y aeropónica, etcétera, esta revisión, está enfocada a cultivos sin suelo, enfatizando la agricultura hidropónica, aeropónica y a la agricultura protegida, por ser el medio que ayuda a mejorar el cultivo a través de estructuras, control de variables y técnicas automatizadas para el riego, monitoreo de plagas, etcétera, que se utiliza para cultivar plantas.

Ante este panorama, surge la pregunta de investigación: ¿existe factibilidad técnica y de eficiencia energética, así como la viabilidad política y económica de la AU en México, considerando sus ventajas y desventajas, así como las condiciones climáticas y geográficas que favorecen el cultivo sin suelo? El cultivo sin suelo, utiliza sustratos inertes o soluciones nutritivas, que optimizan el uso del agua y nutrientes (Savvas y Gruda, 2018). Esta técnica, puede ofrecer ventajas para la AU, como la reducción de los riesgos de contaminación, el aumento de la productividad y la calidad, así como la adaptabilidad a espacios reducidos o inadecuados para el cultivo convencional.

El objetivo de este artículo, es una revisión bibliográfica para evaluar la factibilidad técnica y de eficiencia energética, así como la viabilidad política y económica de la AU en México, considerando sus ventajas y desventajas, así como las condiciones climáticas y geográficas que favorecen el cultivo sin suelo. Para este propósito, se han formulado los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar la evolución histórica y el estado actual de la AU en México, identificando sus principales características, actores, modalidades y resultados.
2. Examinar las políticas públicas en México sobre la AU, evaluando sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.
3. Describir las condiciones climáticas y geográficas que favorecen el cultivo sin suelo en México, considerando los factores físicos, biológicos y socioeconómicos, que influyen en su implementación y desempeño.
4. Evaluar la factibilidad técnica, económica, energética y de eficiencia en el uso de agua de la AU en México.
5. Evaluar la influencia de la AU, en la recarga y calidad de los mantos acuíferos en áreas urbanas de México, considerando prácticas sostenibles de manejo del agua y su potencial para mitigar la sobreexplotación.

MARCO TEÓRICO

Evolución de la Agricultura Urbana en México

Según el Censo Agropecuario 2022, la superficie con uso o vocación agropecuaria en México, sumó 103.6 millones de hectáreas. De esta superficie, 29.8 millones de hectáreas, se destinaron a uso agrícola. En términos de producción, se obtuvieron 34.6 millones de toneladas de los principales granos que se producen en el país. Además, el censo reportó que 26.9 millones de personas, conformaron la mano de obra en las actividades agropecuarias (INEGI, 2022). Sin embargo, en las estadísticas del INEGI, no se encontró información sobre el porcentaje de producción agrícola obtenida por técnicas de AU, la cual, podría ser poco significativa.

La AU en México, tiene profundas raíces en las culturas mesoamericanas, que desarrollaron sistemas agrícolas diversos y complejos, como la milpa y la chinampa, adaptándose a las condiciones locales. La llegada de los españoles, introdujo cambios significativos, como nuevos cultivos y modelos de explotación, desplazando a los pequeños productores. A lo largo de la historia, la AU se ha mantenido como una actividad marginal, practicada principalmente, por sectores populares en ciudades coloniales y republicanas, así como en las periferias urbanas por pueblos originarios. Ejemplos notables, incluyen los chinamperos de Xochimilco, estos sistemas agrícolas, combinan cultivos alimenticios, medicinales, ornamentales y rituales, generando biodiversidad y productividad (Bastista *et al.*, 2022).

A inicios del siglo pasado y a partir de la Revolución Mexicana y la reforma agraria de 1917, las políticas públicas, han jugado un papel fundamental en la configuración del sector agrícola. En las últimas décadas, se ha observado un creciente interés por parte del gobierno, en integrar la AU, dentro de las estrategias de desarrollo urbano sostenible. Esto se refleja en iniciativas como el “Programa de Desarrollo Urbano”, derivado del Plan de Desarrollo institucional 2020-2024 del Gobierno Federal, que busca incorporarla en la planificación territorial y urbana para mejorar la seguridad alimentaria y la calidad de vida en las ciudades. Además, fortalecer la capacidad institucional y fomentar la sostenibilidad (Gobierno de la Ciudad de México, 2022).

Asimismo, la AU en México, ha demostrado ser técnicamente viable, gracias a la adaptación de prácticas como la hidroponía y la agricultura vertical, que permiten maximizar la producción en espacios reducidos y con recursos limitados (Succar, 2024). Además, la implementación de tecnologías de la información y comunicación (TIC), ha facilitado la gestión y el monitoreo de los cultivos urbanos, aumentando así su eficiencia y productividad.

Actualmente, en lugar de depender de fertilizantes químicos, los productores sostenibles (Yúnez y López, 2021), están recurriendo a biofertilizantes y microorganismos que benefician la mejora en la salud del suelo, los cuales de acuerdo con Moreno *et al.* (2019), son considerados por desempeñar un papel crucial en el desarrollo de ciudades más resilientes y autosuficientes, donde la producción de alimentos, se realiza de manera responsable y sin comprometer la salud del medio ambiente. El uso de los biofertilizantes en la agricultura, incluyendo su aplicación en cultivos sin suelo, representa una estrategia prometedora para promover prácticas agrícolas sostenibles. Al enriquecer las soluciones nutritivas y fomentar un ambiente microbiano saludable, es posible mejorar la producción de cultivos de manera ecológica, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia que caracterizan tanto a la agricultura orgánica como a los sistemas hidropónicos. Este enfoque, también refuerza la necesidad de investigación continua para optimizar el uso de biofertilizantes en contextos de cultivo sin suelo, garantizando la salud de los cultivos y la sostenibilidad del sistema agrícola en general (Gobierno Federal, 2022).

Políticas Públicas en México que impactan en la Agricultura Urbana

En México, si bien existen programas y políticas públicas dispersas sobre la AU que la han favorecido, éstos, han sido insuficientes y desarticulados, dificultando su desarrollo. A nivel federal, la política agrícola, ha priorizado al sector rural y a los grandes productores en detrimento de los pequeños productores y la producción para autoconsumo (Franco y Lanzaro, 2006). Es importante mencionar que, a través de censos realizados por el INEGI, proporcionan información sobre la estructura de la producción agrícola en México, que ayuda a la toma de decisiones para crear programas que ayudan estos

pequeños productores y fomentar la producción del autoconsumo, así como existen programas sociales, instituciones gubernamentales como el SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), que realizan informes sobre la distribución de apoyos y subsidios etcétera. Además, la política comercial, ha aumentado la dependencia alimentaria (Cotler *et al.*, 2020). A nivel estatal y municipal, la política urbana ha privilegiado el desarrollo industrial y residencial sobre los espacios agrícolas, generando conflictos por el uso del suelo. La falta de coordinación y participación, ha dificultado la integración de la AU en las políticas urbanas (Escandón, 2020).

Dentro de las principales políticas estatales y federales a destacar, se mencionan las siguientes:

- La Ley de Huertos Urbanos, promulgada en la Ciudad de México en 2017, es una iniciativa local que busca fomentar la producción de alimentos en espacios urbanos y periurbanos, así como la participación ciudadana y la educación ambiental, destacando su aplicación específica dentro de dicha jurisdicción. Esta ley, establece los requisitos, derechos y obligaciones de los productores urbanos, así como las atribuciones y responsabilidades de las autoridades competentes. Además, crea el Registro de Huertos Urbanos y el Consejo de Huertos Urbanos, como órganos de gestión y coordinación. El impacto de esta política ha sido, en general, poco favorable. Según el Censo Agropecuario 2022 del INEGI, la producción agrícola total en la Ciudad de México, alcanzó 190,947 toneladas anuales, incluyendo cultivos como avena forrajera, papa, brócoli y cultivos perennes, entre otros. En contraste, los huertos urbanos con agricultura protegida, apenas contribuyen con 841.3 toneladas de alimentos al año, lo que representa aproximadamente, 0.44% de la producción total de la ciudad. A pesar de este bajo porcentaje, los huertos contribuyen a la seguridad alimentaria, la recuperación de espacios públicos, la generación de empleo, la inclusión social y la mitigación del cambio climático (Urías y Ochoa 2020).
- La Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial, es una política federal emitida en el año 2018, con el propósito de orientar el desarrollo territorial y urbano del país, buscando armonizar el crecimiento económico, la inclusión social y la sustentabilidad ambiental. Esta política, contempla a la AU, como una de las actividades productivas que pueden contribuir a la generación de empleo, ingreso y bienestar en las zonas urbanas y rurales; además, establece los principios, objetivos, ejes y líneas de acción para el ordenamiento territorial y urbano, así como los mecanismos de coordinación, participación, seguimiento y evaluación. En esta política, se definen los instrumentos normativos, técnicos, financieros y de gestión que facilitan su implementación. El impacto de esta política con la agricultura urbana, es mantener una sinergia y complemento, debido a que al integrarla en los

planes de ordenamiento territorial, se pueden crear ciudades más sostenibles, resilientes y equitativas, capaces de enfrentar retos relacionados con la alimentación, el medio ambiente y en el desarrollo social y todo esto, se debe a que la estrategia y la agricultura urbana, abordan el uso del suelo y la gestión de los recursos territoriales, en un contexto que busca sostenibilidad, resiliencia y equidad social (SEDATU, 2021).

En el marco de las políticas públicas diseñadas para impactar positivamente en la AU en México, se han desarrollado a su vez, programas gubernamentales específicos, que buscan materializar los objetivos de dichas políticas. Entre estos programas destacan:

- Programa de Agricultura Urbana (PAU): Diseñado en 2002 por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) con el respaldo de la FAO, promovió la AUP, para un desarrollo sostenible y beneficia a más de 100 mil familias, en más de 200 municipios, con una inversión de más de 300 millones de pesos (SAGARPA, 2016).
- Programa de Rescate de Espacios Públicos (PREP): Iniciativa de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) desde 2007, apoyada por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), que tiene la finalidad de rehabilitar espacios abandonados, con criterios de sustentabilidad. Ha beneficiado a más de 15 millones de personas en 2 mil espacios públicos, con una inversión de más de 8 mil millones de pesos (SEDATU, 2013). Considera como uno de los ejes temáticos la sustentabilidad y medio ambiente, en el que se promueve el desarrollo de los huertos urbanos, cultivos hidropónicos y azoteas verdes.

METODOLOGÍA

La metodología de búsqueda empleada en esta revisión bibliográfica, se basó en la identificación y selección rigurosa de artículos originales, evaluados con herramientas antiplagio, calidad científica evaluada con el factor de impacto considerando al Journal Citation Reports 2024 Statics y documentos de políticas públicas que abordan la Agricultura urbana y agricultura protegida, particularmente, sobre su factibilidad y viabilidad técnica, política, económica y eficiencia energética. Para garantizar la relevancia y actualidad de los estudios revisados, se aplicaron criterios de identificación, selección, elegibilidad e inclusión. Como parte metodológica, esta sección analiza los resultados significativos obtenidos a través de la revisión sistemática, los cuales, se integran y contextualizan dentro del corpus existente de la literatura relevante.

1. Identificación:
 - Registros identificados a través de la búsqueda en bases de datos: 83
 - Registros adicionales identificados a través de otras fuentes: 5
 - Total de registros identificados: 88
2. Selección:
 - Registros después de eliminar duplicados: 63
 - Registros seleccionados para revisión del título y resumen: 47
3. Elegibilidad:
 - Artículos evaluados para elegibilidad: 45
 - Artículos excluidos (con razones): 38
 - No relevantes para la pregunta de investigación: 25
 - Estudios no empíricos (opiniones, editoriales): 9
 - Estudios con datos incompletos: 4
4. Inclusión:
 - Estudios incluidos en la revisión cualitativa y en el análisis cuantitativo: 7

RESULTADOS

Como resultado del análisis de los programas de políticas públicas de la AU en México, en el (Cuadro 1), se destacan sus principales ventajas y desventajas en programas federales, donde se reconoce el apoyo de la AU, como una actividad productiva, social y ambiental, pero se señalan que los esfuerzos, aun no

Cuadro 1. Políticas y principales obstáculos identificado.

Programas	Ventajas	Desventajas
Urban and peri-urban agriculture sourcebook from production to food systems (FAO <i>et al.</i> , 2022).	Reconocimiento y apoyo como actividad productiva, social y ambiental. Provisión de apoyo técnico, financiero y normativo a agricultores urbanos y periurbanos.	Insuficientes para atender la demanda y necesidades de agricultores urbanos y periurbanos, así como para abarcar la extensión y diversidad de la AU en el país. Dispersión y desarticulación, sin una política pública integral y coherente que oriente y coordine la AU a nivel nacional, estatal y municipal.
PRONASOL, PROGRESA, Oportunidades y la CNCh-PNMS (Téllez <i>et al.</i> , 2022).	Motivó la participación ciudadana y la gestión social.	Inestables y vulnerables a cambios políticos, administrativos y presupuestales, afectando la continuidad y evaluación de programas y acciones de la AU.
PIIEX, Programa Integral de Impulso a la Extensión en el Sector Agropecuario, es un programa de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) en México, (SAGARPA, 2014)	Impulso a la innovación tecnológica, diversificación productiva y calidad alimentaria.	Falta de transparencia y equidad en la asignación y distribución de recursos y beneficios, generando desconfianza, inconformidad y exclusión entre agricultores urbanos y periurbanos.

Cuadro 1. Continuación.

Programas	Ventajas	Desventajas
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, (SEMARNAT, 2015)	Promoción de la conservación de recursos naturales.	Dificultades en la aplicación efectiva de medidas de conservación que pueden resultar en una baja efectividad en la protección de los recursos.
Evaluación Estratégica de la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40, (INECC, 2023)	Adaptación al cambio climático.	Obstáculos administrativos o falta de apoyo técnico y financiero, que limitan la capacidad de adaptación de la AU al cambio climático.
Programa de Rescate de Espacios Públicos, (SEDATU, 2013)	Recuperación de espacios públicos y ecológicos.	Desafíos en la gestión y mantenimiento de estos espacios que pueden llevar a una eficiencia reducida y cuestionar la legitimidad social de la iniciativa.

Fuente: elaboración propia.

son suficientes para satisfacer la demanda y las necesidades diversificadas de los agricultores urbanos y periurbanos; además de fomentar la participación ciudadana, impulsa la innovación tecnológica y la calidad alimentaria.

Condiciones climáticas y geográficas que favorecen las técnicas de cultivos sin suelo

Las técnicas de cultivo sin suelo, consisten en producir plantas sin utilizar el suelo como medio de soporte; en su lugar, se utilizan sustratos inertes o soluciones nutritivas, que optimizan el uso del agua y los nutrientes. Para evaluar la factibilidad y viabilidad técnicas de los cultivos sin suelo en México, es necesario considerar, las condiciones climáticas y geográficas que favorecen o dificultan esta técnica, así como los aspectos socioeconómicos que determinan su viabilidad y rentabilidad. Algunos de estos factores son los siguientes:

- **Clima:** en México, las condiciones climáticas promedio, varían significativamente entre regiones, pero en general, el país, cuenta con un clima que favorece la AU. Por ejemplo, la zona central y sur de México, disfrutan de un clima templado a lo largo del año, lo que permite el cultivo continuo de una amplia variedad de especies vegetales. Las temporadas de lluvia regulares y la posibilidad de utilizar invernaderos o sistemas hidropónicos en zonas con climas más extremos, como el norte árido o el sureste tropical, facilitan la adaptación de la AU a diferentes condiciones ambientales.
- **Humedad:** las condiciones óptimas para los cultivos sin suelo, requieren una humedad relativa entre 50% y 70%. Este rango, es crucial para mantener la turgencia de las plantas y facilitar la absorción de nutrientes, también

utilizado en cultivos con suelo (Sistemas Hortícolas, 2022). Tomando en consideración los diferentes climas que existen en México, la agricultura protegida, es una oportunidad, al tener cultivos controlados, se pueden mantener los rangos de humedad óptimos necesarios para tener productos de calidad.

- Radiación Solar (RS): las condiciones óptimas para los cultivos sin suelo, requieren una adecuada radiación solar, esencial para la fotosíntesis. En cultivos sin suelo, se puede controlar la cantidad de luz mediante el uso de mallas sombreadoras o sistemas de iluminación artificial, asegurando así, la cantidad adecuada de luz para cada tipo de cultivo. El rango de longitud de onda en la RS que las plantas pueden utilizar para la fotosíntesis, se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA), que generalmente, varía entre 400 y 700 nanómetros. Una RFA adecuada, es crucial, ya que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esta radiación incidente, es determinante en la configuración de las características agroclimáticas específicas de cada región y su control, puede optimizar la eficiencia de los cultivos sin suelo (Montero, 2022). La radiación en cultivos con suelo, oscila dentro de los mismos parámetros del cultivo sin suelo, porque consideran que longitudes de onda por arriba de los 700 nanómetros, no favorecen la fotosíntesis (INTAGRI, 2024).
- Topografía Plana o Moderadamente Inclinada: dado que las estructuras para invernaderos urbanos no requieren de grandes espacios, la topografía del suelo, no es un factor importante que limite la instalación de este tipo de cultivos. La topografía existente en México, facilita el cultivo en invernaderos y sistemas hidropónicos, permitiendo un mejor control del ambiente de cultivo (Higashide *et al.*, 2005).
- Zonas Áridas y Semiáridas: las zonas áridas y semiáridas del norte de México, especialmente en estados como Sonora y Chihuahua, son particularmente adecuadas para cultivos sin suelo. Estas regiones, enfrentan desafíos significativos, como la sobreexplotación de acuíferos y la erosión del suelo, lo que limita la viabilidad de la agricultura tradicional. Sin embargo, la AU y el cultivo sin suelo, pueden contribuir a mitigar estos problemas, ya que utilizan menos agua y evitan la degradación del suelo. Estas prácticas sostenibles, no solo conservan recursos hídricos, sino que también pueden ayudar a restaurar la salud del suelo y promover la resiliencia agrícola en estas áreas (Noriega, 2017).
- Aspectos ambientales del cultivo sin suelo: las técnicas de cultivo sin suelo, como la hidroponía y la aeroponía, representan una innovación agrícola que responde a los desafíos ambientales contemporáneos. Estas técnicas, no solo se adaptan a las variaciones climáticas de México, sino que también ofrecen soluciones para mitigar los impactos ambientales de la producción agrícola, posibilitando la optimización del agua, aplicando

nutrientes directamente a las raíces de las plantas, minimizando el desperdicio y la evaporación. Además, los sistemas cerrados de riego, permiten la reutilización del agua y los nutrientes, lo que reduce la cantidad de agua utilizada por kilogramo de producto (Rufí *et al.*, 2020). Un estudio realizado por Barbosa *et al.* (2015), en el que se comparaban las necesidades de tierra, agua y energía eléctrica de la lechuga cultivada con métodos hidropónicos, frente a los métodos agrícolas convencionales, contrastaron que la lechuga hidropónica, tenía una demanda de agua de $20 \pm 3,8$ L/kg, mientras que en la producción convencional es de 250 ± 25 L/kg de agua, cifras que muestran diferencias significativas entre los métodos agrícolas convencionales a los métodos actuales.

Por otro lado, en la huella de carbono, el cultivo sin suelo, también muestra una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, gracias al menor uso de maquinaria pesada y al transporte reducido, ya que la producción, suele estar más cerca de los puntos de consumo.

En México, la medición de la huella hídrica, es llevada a cabo por instituciones como el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que realiza estudios para identificar el uso del agua y evaluar la sostenibilidad del consumo de recursos hídricos. Estos estudios, son fundamentales para comprender el impacto de la agricultura en los recursos acuíferos del país y para promover prácticas más sostenibles como el cultivo sin suelo (Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017). Por lo que la huella hídrica, pudiera ser una alternativa que contribuya a la agricultura urbana en México, mediante una gestión más eficiente y sostenible del agua y consecuentemente, es posible considerar a los cultivos sin suelo, no solo como una respuesta a las condiciones climáticas, sino que también, como una estrategia proactiva para mejorar la sostenibilidad ambiental de la AU en México. En el programa Sectorial 2020-2024, presentado en el Gobierno Federal, promueven la gestión integral del agua, a través de diversas actividades como la medición de la huella hídrica para entender el uso del agua en diferentes sectores, relacionados con la agricultura urbana en México. (INECC, 2023).

Eficiencia en el uso de agua y características ecológicas

La AU, contribuye significativamente al ahorro de agua en el contexto urbano. Las técnicas de riego eficientes, como el riego por goteo, permiten una distribución precisa del agua, reduciendo el desperdicio y aumentando la eficiencia del agua hasta 70%, en comparación con los métodos de riego tradicionales (Wikiwater, 2021). A continuación, se describen algunas de las principales innovaciones técnicas que se han integrado a la AU, con la finalidad de lograr mejores cultivos, mitigando el impacto ambiental y reduciendo el consumo energético y de agua.

Innovaciones tecnológicas y estrategias sostenibles en técnicas de cultivo hidropónico y aeropónico

La hidroponía y la aeroponía, como técnicas avanzadas de cultivo sin suelo, se han integrado en la AU, para optimizar el uso de recursos en entornos urbanos. Estos sistemas, permiten cultivar plantas en soluciones acuosas ricas en nutrientes o en un ambiente donde las raíces están suspendidas en el aire, lo que resulta en una reducción significativa en el consumo de agua (Despommier, 2017). Acorde con Pomoni *et al.* (2023), el ahorro en el consumo de agua, puede llegar a ser de hasta 90% con respecto a los cultivos tradicionales.

Otro ejemplo, es el uso de iluminación LED de alta eficiencia energética, comúnmente utilizada en hidroponía para lograr una climatización controlada, esto permite reducir el consumo energético. Un estudio realizado por Loconsole *et al.* (2019), menciona que la implementación de iluminación LED en sistemas hidropónicos, puede reducir el consumo de energía hasta 60%, en comparación con las luces tradicionales. Las bombas y sistemas de riego esenciales para la hidroponía y aeroponía, están diseñados para ser eficientes y pueden operar con un consumo energético reducido. Además, al eliminar la necesidad de suelo, los sistemas hidropónicos y aeropónicos, requieren menos pesticidas y herbicidas, lo que no solo se traduce en alimentos más saludables sino también en prácticas agrícolas más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Un estudio realizado por Otazu (2010), revela que los sistemas aeropónicos, consumen únicamente entre una décima y una trigésima parte del agua utilizada en la producción convencional de cultivos agrícolas como la patata.

Otra innovación en la agricultura urbana, es la implementación de sistemas de recogida de agua de lluvia, estos sistemas, permiten a los agricultores urbanos, recolectar y almacenar el agua de lluvia, proporcionando una fuente adicional de riego y reduciendo significativamente, su dependencia de los recursos hídricos municipales (Deng, 2021). Además, ofrece una solución práctica para la escasez de agua; la recogida de agua de lluvia, también tiene beneficios medioambientales significativos. Al capturar y almacenar el agua de lluvia, se reduce la escorrentía de las aguas pluviales, lo que, a su vez, ayuda a mitigar el riesgo de inundaciones urbanas y minimiza la erosión del suelo.

La integración de cubiertas y muros verdes en los sistemas de agricultura urbana, representa una estrategia integral para mejorar la eficiencia hídrica y generar una serie de beneficios para las comunidades urbanas (Manso *et al.*, 2021). Estas estructuras, no solo son estéticamente agradables, sino que también desempeñan un papel crucial en la mitigación de varios problemas ambientales urbanos.

Factibilidad técnica de la Agricultura Protegida en México

Debido a la falta de apoyo técnico, financiero y normativo, así como a la competencia por el uso del suelo, el agua, la energía, los desafíos relacionados con la contaminación ambiental y los riesgos sanitarios, es imperativo realizar una evaluación exhaustiva de la factibilidad técnica y económica de la AU (Zimmerer *et al.*, 2021); (Orsini, 2020); (Kennard y Bamford, 2020). Esta evaluación, implica analizar la capacidad y viabilidad de producir alimentos de manera eficiente y sostenible en entornos urbanos. Se deben considerar los aspectos técnicos, económicos y ambientales, que afectan el consumo y ahorro de energía y agua, así como los costos y beneficios asociados con la producción, procesamiento, comercialización y consumo de productos agrícolas. En este contexto, la relación entre el número de instalaciones de agricultura protegida y la superficie cubierta en hectáreas en cada estado de la República Mexicana, durante el período de 2011 a 2014 (**Cuadro 2**), según

Cuadro 2. Relación entre el número de instalaciones de agricultura protegida y la superficie cubierta en hectáreas en México.

Estado	Número de Instalaciones de AP	Superficie cubierta (ha)	Número de instalaciones / Superficie Cubierta (ha)
Chihuahua	275	1,497.74	0.18
Sinaloa	1,074	4,744.22	0.23
Baja California Sur	364	803.20	0.45
Baja California	1,339	2,689.91	0.50
Sonora	724	1,196.43	0.61
Michoacán	870	1,004.06	0.87
Jalisco	3,004	3,310.09	0.91
Coahuila	327	353.99	0.92
Tamaulipas	286	295.19	0.97
Colima	439	425.38	1.03
Guanajuato	811	655.34	1.24
San Luis Potosí	1129	901.41	1.25
Zacatecas	729	410.54	1.78
Querétaro	573	244.77	2.34
Nuevo León	282	106.64	2.64
Quintana Roo	151	56.48	2.67
Aguascalientes	238	87.96	2.71
Puebla	3,021	1,071.25	2.82
Campeche	199	69.51	2.86
Veracruz	367	112.38	3.27
Estado de México	5,564	1,517.39	3.67
Morelos	1,038	237.53	4.37
Nayarit	555	121.08	4.58
Durango	365	75.02	4.87
Yucatán	360	67.89	5.30
Guerrero	907	151.28	6.00
Tabasco	89	13.61	6.54
Hidalgo	2,556	272.47	9.38

Cuadro 2. Continuación.

Estado	Número de Instalaciones de AP	Superficie cubierta (ha)	Número de instalaciones / Superficie Cubierta (ha)
Oaxaca	4,671	482.91	9.67
Chiapas	3,651	273.74	13.34
Tlaxcala	1,163	81.05	14.35
Distrito Federal	2,856	152.45	18.73
País	39,977	23,482.92	1.70

Fuente: De Anda y Shear, 2017.

una investigación realizada por De Anda y Shear (2017), la información mostrada, destaca la distribución y densidad de las instalaciones de agricultura protegida en diferentes estados del país, proporcionando una visión general de la adopción de estas prácticas en diversas regiones.

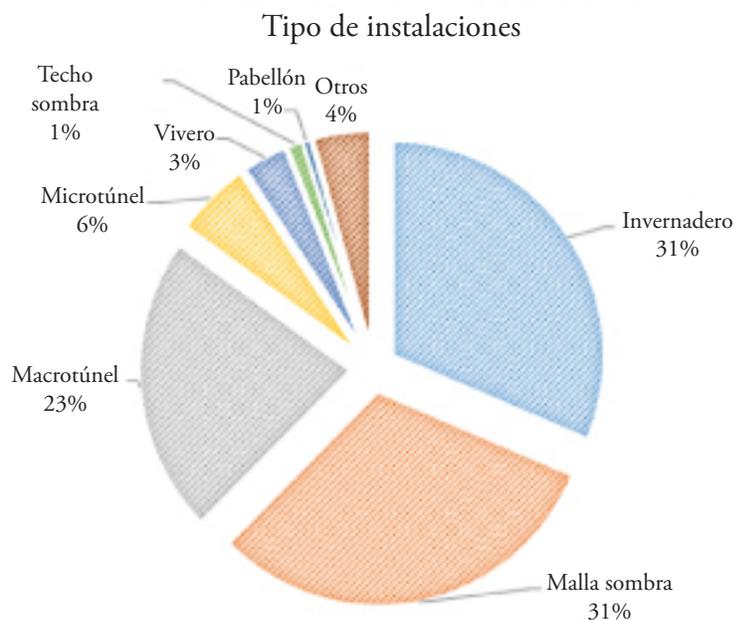
En el censo realizado por el INEGI Agropecuario 2022, se menciona que un sistema de producción que ha presentado un crecimiento en el país, es la agricultura protegida (AP); la utilización de la tecnología y la infraestructura, han ayudado a subsanar factores ambientales y llevar un control efectivo para la protección de las plantas que les ayudan a evitar plagas o enfermedades, lo que permite mejorar el rendimiento de los cultivos. En México, hay 30,179 unidades de producción que practican la AP, abarcando una superficie de 77,417 hectáreas; por ejemplo, en el Estado de México, que se ubicaron 35 de cada 100 unidades de producción (INEGI, 2022). En la **Figura 1**, se muestra el tipo de instalaciones que se ocupan en la agricultura protegida, de acuerdo a su superficie.

Acorde con el INEGI, los tipos de cultivos beneficiados con la AP, en el periodo de octubre de 2021 a septiembre de 2022 (**Cuadro 3**), en el que se destacan hortalizas y frutos.

Con la finalidad de evaluar el beneficio económico neto por planta, se analiza una comparativa de consumo y ahorro de energía, agua, costos y beneficio entre México y otros países que practican la AU con el cultivo sin suelo (**Cuadro 4**).

A partir del Cuadro 4 es posible deducir lo siguiente:

- México, es uno de los países con mayor consumo de energía y agua en cultivos tradicionales en suelo. Sin embargo, la adopción de cultivos sin suelo, ofrece un ahorro considerable en el uso de estos recursos. Esto indica que la agricultura urbana (AU) en México, está en proceso de evolución hacia esta modalidad, aunque actualmente, no sea tan eficiente y sostenible en comparación con países como Francia, España y Colombia. Además, es importante tener en cuenta que esta práctica, puede requerir una inversión inicial significativa y depender de fuentes energéticas y tecnológicas, lo que genera riesgos y vulnerabilidades frente a factores externos como el cambio



Fuente: INEGI, 2020

Figura 1. Tipos de instalaciones en agricultura protegida.

climático, desastres naturales, fluctuaciones en los precios y posibles fallas en el suministro.

- Francia tiene el menor consumo de energía y agua, el mayor ahorro de energía y agua de los cinco países comparados. Esto indica que la AU con el cultivo sin suelo en Francia, es más eficiente y sostenible que en otros países, al utilizar sistemas de producción más eficientes y sostenibles, que reducen el uso y el desperdicio de energía y agua, que contribuyen a mejorar la productividad y la calidad de los productos.

Cuadro 3. Tipos de cultivos en Agricultura Protegida.

Cultivo	Superficie sembrada (hectáreas)			Producción (toneladas)		
	Total	En Agricultura Protegida	Porcentaje %	Total	En Agricultura Protegida	Porcentaje %
Jitomate (tomate rojo)	56,709	19,653	34.7	3'835,148	2'405,207	62.7
Pepino	18,257	6,369	34.8	886,444	660,552	74.5
Chile	137,321	7,996	5.8	2590,247	629,473	24.3
Fresa	20,121	6,397	31.8	680,275	251,234	36.9
Manzana	52,890	10,378	19.6	542,967	218,843	40.3
Zarzamora	16,482	2,290	13.9	237,329	46,648	19.7
Arándano	11,223	2,803	25.0	35,101	32,422	92.4

Fuente: INEGI, 2022.

Cuadro 4. Tabla comparativa de consumo de energía, agua, costos y beneficio.

País	Cultivo en suelo		Cultivo sin suelo		Ahorro en cultivos sin suelo		Cultivo en suelo		Beneficio neto (USD/planta)
	Consumo de energía (MJ/kg)	Consumo de agua (L/kg)	Consumo de energía (MJ/kg)	Consumo de agua (L/kg)	Ahorro de energía (%)	Ahorro de agua (%)	Costo inicial (USD/planta)	Costo operativo (USD/planta)	
México	8,7	55	5.1	15	59	72	0.4	0.1	0.2
Colombia	7.8	45	5.8	15	25	66	0.3	0.1	0.3
España	6.5	24	5.1	4	21	83	0.5	0.3	0.4
Francia	2.2	16	0.4	4	81	75	0.8	0.2	0.6
Canadá	4.2	37	2.2	17	47	54	0.6	0.3	0.5

*La cantidad de agua puede variar, debido a que depende del tipo de cultivo y clima que prevalece en la zona geográfica.

Fuente: Ávila (2019); Salazar *et al.* (2014); y Barbosa *et al.* (2015).

- Colombia, España y Canadá, tienen valores intermedios de consumo y ahorro de energía y agua, que varían según el tipo de cultivo, el sistema de producción, el clima, el riego y el drenaje. Esto indica que la AU con el cultivo sin suelo en estos países, tiene un potencial de mejora y que debe adaptarse a las condiciones locales y a las demandas de los consumidores, seleccionando los cultivos, los sustratos, las soluciones nutritivas y los sistemas de riego más adecuados para cada caso.
- El costo inicial y operativo de la AU con cultivo sin suelo, es mayor que en la agricultura convencional, debido a la necesidad de una mayor inversión en infraestructura y tecnología. Sin embargo, en comparación con otras formas de producción urbana, como huertos familiares o comunitarios, los costos son menores, especialmente en países como México, Colombia y España, gracias al aprovechamiento del espacio vertical.
- El beneficio neto de la AU con el cultivo sin suelo, es mayor que el de la agricultura convencional, tanto urbana como rural, en todos los países comparados. Esto se debe a que el cultivo sin suelo, produce alimentos frescos, sanos y orgánicos, que tienen una mayor demanda y un mayor valor agregado en las zonas urbanas y periurbanas (Ávila, 2019). Además, el cultivo sin suelo, genera ingresos y empleos para los agricultores urbanos y periurbanos, así como para otros actores de la cadena de valor, como los proveedores, los distribuidores y los consumidores.

Por otro lado, es importante hacer una comparación del consumo de agua, consumo energético y eficiencia del uso del agua (Pomoni *et al.*, 2023), de los cultivos con suelo, con respecto a los cultivos sin suelo (Cuadro 5), haciendo énfasis, en los cultivos sin suelo Hidroponía y Aeroponía (Albrigh, 1990).

Cuadro 5. Comparación de consumo y eficiencia de agua y energía.

Consumo y eficiencia	Cultivo en Suelo	Cultivo sin Suelo
Consumo de agua	400 a 600 litros de agua por kg de producto*	70 a 150 litros por kg de producto
Consumo energético	1.5 kWh por kilo de producto	2 a 4 kWh por kg de producto
Eficiencia del uso del agua	Menor eficiencia: por evaporación o filtración	Mayor eficiencia: por tener mejor control

*La cantidad de agua, puede variar debido a que depende del tipo de cultivo y clima que prevalece en la zona geográfica.
Fuente: Albrigh (1990) y Pomoni *et al.*, (2023).

DISCUSIÓN

Comparación con la Literatura Existente

El análisis de los artículos revisados muestra una tendencia hacia la sostenibilidad y eficiencia en la agricultura urbana y agricultura protegida, a través de cultivos hidropónicos y aeropónicos. Por ejemplo, Morrison (2020) destaca la importancia de la transformación agrícola en la Agenda Alimentaria Urbana, lo cual es consistente con los hallazgos de Orsini (2020), quienes demostraron el potencial de los jardines en azoteas, para la seguridad alimentaria y la biodiversidad en entornos urbanos. Estos resultados, coinciden con los obtenidos por Savvas y Gruda (2018), quienes revisaron las tecnologías de cultivo sin suelo, destacando su eficiencia en el uso del agua y la producción.

Implicaciones Prácticas

La implementación de prácticas de la Agricultura Urbana en México, presenta un panorama no tan alentador, por la falta de políticas públicas. Sin embargo, su presencia es cada vez más notable en la Ciudad de México y sus alrededores. Según Ávila (2019), el Gobierno de la Ciudad, ha implementado programas de apoyo, como el programa de Agricultura Urbana a pequeña escala, para fomentar estas prácticas; ejemplos destacados es Xochimilco, donde se revitalizan técnicas agrícolas tradicionales y desarrollan microempresas que ofrecen productos a restaurantes gourmet. En otras regiones de México, también muestran iniciativas similares. En Puebla y Tlaxcala, también se han establecido espacios de producción urbana que abastecen mercados orgánicos; por otro lado, en Monterrey y Guadalajara, se han creado huertos urbanos que responden a las demandas de gastronomía local, así mismo, en lugares como Xalapa y Oaxaca, se promueve la producción de alimentos orgánicos y se ofrece asesoría para la creación de huertos domiciliarios. Por último, en Chiapas, se ha documentado un desarrollo significativo de la agricultura periurbana. En resumen, de acuerdo a Ávila (2019), la agricultura urbana y periurbana en México, no solo contribuye a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico, sino que también fortalece las redes comunitarias y promueve la sostenibilidad ambiental.

Desafíos y Consideraciones Futuras

Deng (2021), plantea preocupaciones sobre la contaminación en la recolección de agua de lluvia, lo que representa un desafío para la sostenibilidad y resiliencia de la agricultura urbana. Esto subraya la necesidad de considerar la calidad del agua en la planificación de sistemas agrícolas urbanos. Por otro lado, Pomoni *et al.* (2023), comparan la hidroponía y la agricultura convencional, destacando las ventajas de la hidroponía en términos de eficiencia del uso de la tierra y reducción del consumo de agua, aunque señalan que requiere más energía y mayor inversión inicial.

Factibilidad y Viabilidad de la AU en México

El análisis de la revisión bibliográfica realizada, muestra que la AU, particularmente el cultivo sin suelo, es factible y viable en México. Las tecnologías modernas, como la hidroponía y la aeroponía, permiten un uso eficiente del agua y espacio, lo que es crucial en un país con zonas áridas y semiáridas. Las condiciones climáticas y geográficas, como la abundante radiación solar en estados del norte, favorecen estas prácticas. A pesar de los desafíos como la necesidad de inversión inicial y la gestión de recursos hídricos, las ventajas superan a las desventajas. Estas prácticas pueden revertir la sobreexplotación de acuíferos y la erosión del suelo, promoviendo la sostenibilidad ambiental, económica y social.

CONCLUSIONES

La descripción de la evolución historia y de ámbito federal, estatal y municipal, permite una visión de la evolución de estas políticas públicas y de los impactos técnicos y ambientales de la agricultura urbana protegida en México; en el Cuadro 1, nos permite evaluar las ventajas y desventajas de los programas que existen relacionados con la Agricultura Urbana. La revisión de la literatura, solo permite evaluar la factibilidad técnica y de eficiencia energética, así como la viabilidad política de la agricultura protegida. Debido a lo anterior, se pudo determinar que se enfrentan obstáculos como la falta de apoyo y la competencia por recursos esenciales, se perfila como un campo prometedor para la producción alimentaria en entornos urbanos. Dicho lo anterior, en México se pueden abordar algunos desafíos como la seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental y el mejoramiento de la calidad de vida en las ciudades. Para esto, se deben implementar políticas realmente efectivas, con la finalidad de mejorar la AU; se necesitan incentivos económicos a las pequeñas y medianas empresas, para que establezcan proyectos de este tipo, también exenciones fiscales para promover la agricultura urbana, uso de espacios públicos como baldíos y espacios comunitarios, políticas de seguridad alimentaria para que la producción de los alimentos, cumpla con las normas de calidad, el gobierno puede apoyar a la investigación y desarrollo para fomentar los proyectos de investigación, promoviendo nuevas técnicas de cultivo que tengan impacto social. Todas estas sugerencias, pueden

ser a corto plazo, debido a que ya existen algunas de ellas, pero se tienen que ir modificando para dar respuesta a los cambios, tal es el caso de la Ley de Huertos Urbanos, promulgada en la Ciudad de México en 2017; esta ley no solo se implementó en la CDMX, impactó a Guadalajara, Jalisco, que a través de organizaciones locales, inspiraron a la creación de huertos en espacios públicos y privados; en Monterrey, Nuevo León, aumento el interés por la agricultura urbana protegida, el cual fue impulsado por colectivos y organizaciones civiles, fomentando la creación de huertos en barrios urbanos y el uso de espacios vacíos para la producción de alimentos. En Puebla, no existe una legislación similar a la Ley de Huertos de la Ciudad de México, sin embargo, han realizado esfuerzos para integrar la agricultura urbana. Así como los Estados de Baja California, Querétaro y Veracruz, buscan integrar prácticas sostenibles en la producción de alimentos.

La evaluación de la capacidad y viabilidad de estas prácticas, considerando el consumo y ahorro de energía y agua, en el Cuadro 5, se muestra una comparación del consumo y eficiencia del agua y la energía con respecto a agricultura urbana y agricultura protegida en invernaderos (hidroponía y aeroponía), donde en el consumo del agua, se hace una reducción de 75% de ahorro de agua, en el cultivo sin suelo con respecto al cultivo en suelo, pero en cuestión del consumo energético, aumenta hasta 30% y la eficiencia del agua, se demuestra que, en los cultivos sin suelo son eficientes, debido a que es un cultivo controlado, así como los costos y beneficios asociados con la cadena de producción agrícola, es crucial para su continuo desarrollo. Los datos recopilados sobre la agricultura protegida en México, reflejan una tendencia creciente hacia la adopción de estas técnicas, lo que sugiere un cambio positivo en la distribución y densidad de las instalaciones de estas prácticas en el país. Esta revisión, al integrar los hallazgos significativos con la literatura existente, subraya la relevancia de la AU para la transformación agrícola urbana y su potencial para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de las ciudades frente a los desafíos ambientales y socioeconómicos actuales. Como conclusión de este estudio, la agricultura urbana desde el siglo XXI, se caracteriza por el crecimiento mundial de la población, por lo que esto conlleva a desafíos sobre factibilidad y viabilidad técnica, política, económica y eficiencia energética, que garanticen la seguridad alimentaria urbana, que sea el objetivo fundamental de compensar déficits estacionales de alimentos y adaptarse a las condiciones cambiantes que se tienen a nivel global. En Latinoamérica y en especial en México, la agricultura urbana, tiene sus raíces en las prácticas agrícolas de las poblaciones indígenas. Un ejemplo significativo de esto, es el sistema de chinampas, que ha sido una práctica tradicional de cultivo en áreas urbanas, así como en las influencias de los colonizadores españoles y portugueses. Después de la independencia y con el aumento de la urbanización, esta tendencia se intensificó, buscando producir alimentos de manera sostenible.

De acuerdo a los Cuadros 2 y 3, se puede apreciar que ha habido un crecimiento de la Agricultura Protegida en los últimos años. En la actualidad, en el contexto latinoamericano, existen políticas como hambre cero, como la FAO, que ha realizado estudios sobre las prácticas y difusión de la Agricultura Urbana. A partir de 2002, se implementaron políticas públicas en México, como el Programa de Agricultura Urbana 2002, por SAGARPA, Programa de Rescate de Espacios Públicos (PREP) 2007 por SEDESOL, Programa de Huertos Urbanos 2007, por SAGARPA, Estrategia Nacional de Agricultura Urbana y Periurbana (2012), impulsada por el gobierno Federal en ese año, y la Política de Apoyo a la agricultura sustentable 2014, impulsada por SAGARPA. El Programa de Desarrollo Urbano, derivado del Plan de Desarrollo institucional 2020-2024 del Gobierno Federal, es otro programa que está relacionado con la Agricultura urbana, en el desarrollo urbano sostenible y equitativo, fortalecimiento de capacidades productivas, promoción del hábitat integral, etcétera. Todas estas políticas, reflejan un reconocimiento a la producción y calidad de los alimentos, que han significado un paso importante para el desarrollo efectivo para la Agricultura Urbana en México. Sin embargo, México, tiene que avanzar en superar la factibilidad y viabilidad técnica que permitan conocer todavía más bondades de realizar cultivos sin suelo, los cuales, deben ser regidas por políticas públicas que han sido solo establecidas en las zonas urbanas grandes como la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, pero el crecimiento demográfico que se tiene en México, sigue aumentando cada día más y la densidad poblacional no solo corresponde a las grandes ciudades, sino también a las de mediana y poca densidad. Por otro lado, la Dirección de Programas Nacionales Estratégicos del Conacyt (PRONACES), se encarga de articular capacidades científico-técnicas con actores del sector público y privado para abordar problemáticas nacionales urgentes. Las soluciones que propone, se basan en conocimientos avanzados de las humanidades, ciencias y tecnologías y están alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU y el Plan Nacional de Desarrollo del gobierno mexicano. Uno de sus enfoques destacados, es la soberanía alimentaria, donde Pronaces, busca resolver problemas del sistema agroalimentario en México. Lo hace mediante un análisis integral que considera la diversidad epistémica, promoviendo una alimentación saludable y modelos alternativos de producción y consumo. Además, se enfoca en diseñar políticas públicas que sean congruentes y necesarias para fortalecer la soberanía y autodeterminación alimentaria en el país (SECIHTI, 2024).

Al analizar las características de la Agricultura Urbana y Protegida, éstas permiten aprovechar superficies dentro de las ciudades y alrededor de ellas, con la idea de implementarlas en cualquier parte del país, debido a que se pueden realizar en patios traseros o terrenos federales e inclusive, en lugares públicos como parques y escuelas públicas, pero éstos deben ser regulados para

evitar el desperdicio del agua. En cuanto al factor económico, aunque México demostró que su costo no es tan elevado como es el caso de Francia, sí es un problema de cambio de paradigma en los cultivos, ya que los agricultores, prefieren los cultivos tradicionales, es decir, en suelo. La eficiencia energética, es otro de los factores importantes para la Agricultura Urbana, que permite reducir el ahorro de energía para llevar a cabo los cultivos sin suelo, mismo que en México, se tienen un ahorro significativo en el ahorro de los recursos, aunque será necesario cumplir con todos estos factores para continuar con el desarrollo de la Agricultura Urbana en México.

Se determina que las prácticas de AU y AP, permiten aprovechar terrenos disponibles dentro y alrededor de las ciudades, lo cual ofrece una gran flexibilidad para su implementación en diversas localidades del país. Estas iniciativas, pueden llevarse a cabo en espacios como patios traseros, terrenos federales e incluso, en lugares públicos, como parques y escuelas. Además de utilizar invernaderos y estructuras de cultivo vertical, que permitan maximizar los espacios y extender la temporada de producción continua que ofrece la AP y cultivos sin suelo. Sin embargo, es fundamental establecer regulaciones adecuadas, para prevenir el desperdicio de agua en estos entornos. Desde la perspectiva económica, aunque México ha demostrado que el costo de la Agricultura Urbana no es tan elevado como en el caso de Francia, existe un desafío relacionado con el cambio de paradigma en las prácticas agrícolas. Muchos agricultores, todavía prefieren los cultivos tradicionales, es decir, aquellos realizados en suelo, lo que puede dificultar la adopción generalizada de métodos innovadores.

AGRADECIMIENTOS

Reconocimiento por el apoyo al Tecnológico Nacional de México y a la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

REFERENCIAS

- Ávila H. 2019. Agricultura urbana y periurbana: Reconfiguraciones territoriales y potencialidades en torno a los sistemas alimentarios urbanos. *Investigaciones geográficas*, (98). 1-21. <https://doi.org/10.14350/rig.59785>.
- Barbosa GL, Gadelha FDA, Kublik N, Proctor A, Reichelm L, Weissinger E, Wo-hlleb GM, Halden RU. 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>.
- Bastista E, Rodríguez D, Alvarado I. 2022. Circuitos de la Economía Urbana y Patrimonio-Territorial Latinoamericano, Mercado de Xochimilco, Ciudad de México. *Urbano*, 25(46). 90-105. <https://dx.doi.org/10.22320/07183607.2022.25.46.08>.
- Cotler H, Corona JA, Galeana JM. 2020. Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, (101). <https://doi.org/10.14350/rig.59976>.
- De Anda J, Shear H. 2017. Potential of vertical hydroponic agriculture in México. *Sustainability*, 9(1), 140. <https://doi.org/10.3390/su9010140>.
- Deng Y. 2021. Pollution in rainwater harvesting: A challenge for sustainability and resilience of urban agriculture. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 2: 100037. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2021.100037>.

- Despommier D. 2017. Vertical Farming Using Hydroponics and Aeroponics. *In*: Urban Soils; Lal R, Stewart BA (eds); CRC Press: Boca Ratón, <https://doi.org/10.1201/9781315154251>. pp: 313-328.
- Escandón JA. 2020. Visiones desiguales sobre la conservación en la periferia Urbana: ganadores y perdedores del suelo de conservación en la Ciudad de México. *Sociedad y Ambiente*, (23). 1-29. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2149>.
- FAO, Rikolto, RUAFA. 2022. Urban and peri-urban agriculture sourcebook from production to food systems. FAO and Rikolto: Rome, Italy; <https://doi.org/10.4060/cb9722en>. 156 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2020. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. FAO: Roma, Italia; <https://doi.org/10.4060/cb1447es>. 236 p.
- Franco R, Lanzaro JL. 2006. Política y políticas públicas en los procesos de reforma en América Latina; FLACSO: México. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/e44b382a-0ae0-4e39-94d6-89db7b5c0b7c>.
- Gobierno de la Ciudad de México. 2022. Programa Institucional 2020-2024 recuperado el 20 de abril del 2025. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/622670/Programa_Institucional_2020-2024_de_Seguridad_Alimentaria_Mexicana_SEGALMEX_2.pdf.
- Gobierno Federal. 2022. Programa General de Desarrollo Urbano. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la CDMX. <https://www.seduvi.cdmx.gob.mx/programas/programa-programa-general-de-desarrollo-urbano>.
- Higashide T, Kasahara Y, Ibuki T, Sumikawa O. 2005. Development of closed, energy-saving hydroponics for sloping land. *Acta Horticulturae*. 691. 243-248. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.28>.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2023, Evaluación estratégica de la estrategia nacional del cambio climático. Visión 10-20-40. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Ciudad de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/921071/03_2024_Eval_Estrat_Publicacio_n_060624_Final.pdf.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2022. Censo Agropecuario https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdnal.pdf
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). 2024. Importancia de la radiación solar en la producción bajo invernadero. Recuperado el 10 de abril del 2024. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protégida/importancia-de-la-radiacion-solar-en-la-produccion-bajo-invernadero>
- Kennard NJ, Bamford RH. 2020. Urban agriculture: Opportunities and Challenges for sustainable development. *In*: Zero Hunger. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals; Leal W, Azul A, Brandli L, Özuyar P & Wall T (eds). Springer International Publishing; https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-69626-3_102-1. pp: 929-942.
- Langemeyer J, Madrid C, Mendoza A, Villalba G. 2021. Urban agriculture — A necessary pathway towards urban resilience and global sustainability? *Landscape and Urban Planning*. 210. 104055. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104055>.
- Loconsole D, Cocetta G, Santoro P, Ferrante A. 2019. Optimization of LED lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system. *Sustainability*, 11(3). 841. <https://doi.org/10.3390/su11030841>.
- Manso M, Teotónio I, Matos C, Oliveira C. 2021. Green roof and green wall beneand costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111>.
- Montero J. 2022. Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(1). 48-62. <https://doi.org/10.53287/oqym7033yy88k>.
- Moreno O. 2007. Agricultura Urbana: Nuevas Estrategias de Integración Social y Recuperación Ambiental en la Ciudad. *Diseño urbano y paisaje*. 4(11). <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117766>.
- Moreno SI, Jiménez MA, Hernández M. 2019. Sustentabilidad y agricultura urbana practica-da por mujeres en la Zona Metropolitana de Ciudad de México, Valle de Chalco Solidari-

- dad. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(54). e19795. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.795>.
- Morrison J. 2020. Transformación agrícola y la Agenda Alimentaria Urbana Comité de Agricultura. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9b4c0fcf-bc30-4f76-ad09-9acf07dd95a6/content>.
- Morrone JJ. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90: e902980. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>.
- Noriega GG. 2017. Análisis de la desertificación y su relación con los niveles freáticos en el acuífero Valle del Río Yaqui, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ciencias-Geología. Universidad de Sonora, México. <https://maestriageologia.unison.mx/wp-content/uploads/2017/05/GLENDA-NORIEGA.pdf>.
- Olivera G, Zavaleta K. 2020. La agricultura urbana y periurbana como segundo mejor uso del suelo en la ciudad. Retos frente a la urbanización y las políticas urbanas: Cuernavaca, México. *Quid 16: Revista del Área de Estudios Urbanos*, (13). 216-242. <https://www.redalyc.org/journal/5596/559666851011/html/>.
- Orsini F. 2020. Innovation and sustainability in urban agriculture: the path forward. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 15. 203-204. <https://doi.org/10.1007/s00003-020-01293-y>.
- Otazu V. 2010. Manual on quality seed potato production using aeroponics. International Potato Center: Lima, Perú; <https://doi.org/10.4160/9789290603924>. 42 p.
- Pomoni DI, Koukou MK, Vrachopoulos MG, Vasiliadis L. 2023. A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. *Energies*, 16(4). 1690. <https://doi.org/10.3390/en16041690>.
- Ruff M, Petit A, Villalba G, Sanjuan D, Ercilla M, Arcas V, Muñoz J, Rieradevall J, Gabarrell X, Parada F. 2020. Recirculating water and nutrients in urban agriculture: An opportunity towards environmental sustainability and water use efficiency? *Journal of Cleaner Production*, 261. 121213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121213>.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. Convocatoria Estatal de los Proyectos Integrales de Innovación y Extensión (PIIEX). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/373951/11_Convocatoria_Proyectos_Integrales_de_Innovacion_y_Extencion_2014.pdf.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2016. Programa de Agricultura Urbana (PAU). Wordpress.com <https://pausah.files.wordpress.com/2016/01/programa-de-agricultura-urbana-2011-jaliscomexico.pdf>.
- Salazar R, Rojano A, López L. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2). 177-183. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000200012&lng=es&tlng=es.
- Savvas D, Gruda N. 2018. Application of soilless culture technologies in the modern gree house industry – A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5). 280-293. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>.
- SECIHTI (Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación). 2024. Programas Nacionales Estratégicos del Conahcyt (Pronaces). <https://secihti.mx/pronaces/pronaces-soberania-alimentaria/>.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2015. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/148.pdf>.
- SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano). 2013. Programa de Rescate de Espacios Públicos. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/5749/Lineamientos_PREP_2013_24-may-13_.pdf.
- SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano). 2021. Estrategia Nacional de ordenamiento territorial. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/632549/ENOT_versio_n_ejecutiva_26.2.21-Abr_.pdf.
- Sistemas Hortícolas. 2022. Humedad relativa ideal: ¿Qué es, por qué es importante y cómo conseguirla? *Sistemas Hortícolas Almería; S.L.* <https://www.sistemashorticolasalmeria.com/>

- blog/humedad-relativa-ideal/.
- Succar JG. 2024. Hidroponía Vertical: Una Revolución Sostenible para alimentar Ciudades en Crecimiento. <https://hidroponia.mx/sabias-que-la-agricultura-vertical-urbana-sera-la-base-para-producir-los-vegetales-que-seran-consumidos-en-las-grandes-ciudades-del-mundo-singularity-university/#:~:text=La%20hidroponía%20vertical%20es%20un,para%20producir%20en%20metros%20cúbicos>.
- Téllez JM, Vargas S, Hernández J, Gómez W. 2022. Participación social y políticas públicas para el abastecimiento de alimentos básicos en México. *Revista del Colegio de San Luis*, 12(23). 1–38. <https://doi.org/10.21696/rcls122320221427>.
- Urías DS, Ochoa JM. 2020. Huertos urbanos como estrategia de resiliencia urbana en países en desarrollo. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (8). 81–102. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.143>.
- Vázquez del Mercado R, Lambarri J. 2017. Huella Hídrica en México: Análisis y perspectivas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Vázquez del Mercado R y Lambarri J, Eds. IMTA – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: Jiutepec, Morelos, México, <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1714>. 255 p.
- Wikiwater AC. 2021. E52 – Las técnicas de riego simples y eficaces. <https://wikiwater.fr/E52-Las-tecnicas-de-riego-simples-y-eficaces>.
- Yúnez A, López J. 2021. La política agrícola en México: evaluación a partir de una tipología de productores. *Estudios sociológicos*, 39(116). 495-532. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-64422021000200495.
- Zimmerer KS, Bell MG, Chirisa I, Duvall CS, Egerer M, Hung PY, Lerner AM, Shackleton C, Ward JD, Yacamán C. 2021. Grand challenges in urban agriculture: Ecological and social approaches to transformative sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 668561. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.668561>.