



CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

USO EFICIENTE DEL AGUA EN AGRICULTURA URBANA

Nicolás Peñailillo / Gladys Vidal / Marjorie Reyes / Pablo Cornejo



Universidad de Concepción

Serie Comunicacional CRHIAM

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Uso eficiente del agua en agricultura urbana.

Nicolás Peñailillo, Gladys Vidal,

Marjorie Reyes y Pablo Cornejo.

Agosto 2024.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos
para la Agricultura y la Minería
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

Victoria 1295, Barrio Universitario,

Concepción, Chile.

Teléfono +56-41-2661570

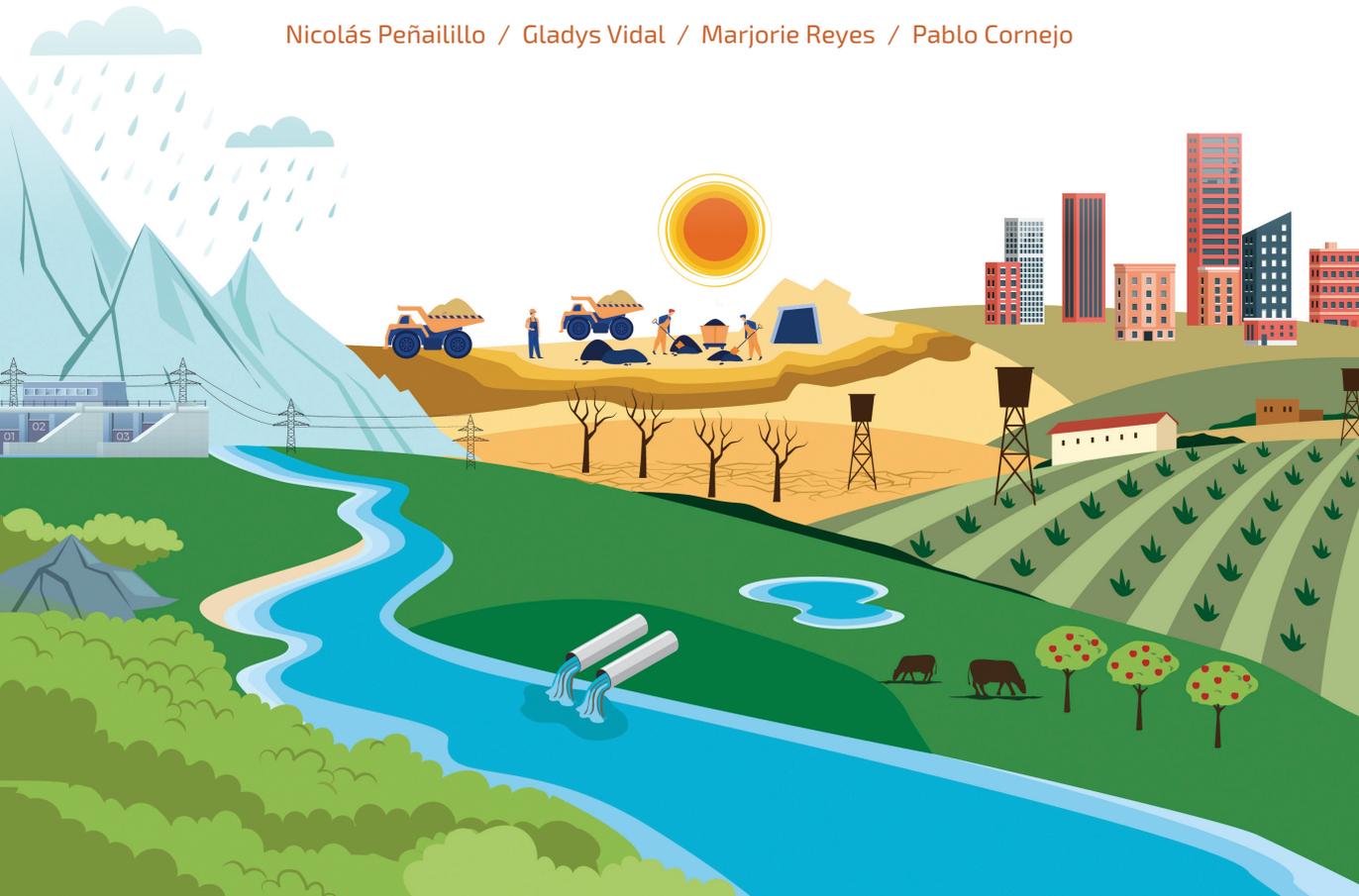
www.crhiam.cl



Universidad de Concepción

USO EFICIENTE DEL AGUA EN AGRICULTURA URBANA

Nicolás Peñailillo / Gladys Vidal / Marjorie Reyes / Pablo Cornejo



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU-Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimiento y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Nicolás Peñailillo

Ingeniero Agrónomo Universidad de Tarapacá.
Magíster (C) en Ciencias Agronómicas
y Ambientales,
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.



Gladys Vidal

Doctora en Ciencias Químicas.
Programa en Biotecnología Ambiental,
Universidad Santiago de Compostela, España.
Profesora Titular Facultad de
Ciencias Ambientales,
Universidad de Concepción.
Directora CRHIAM.



Marjorie Reyes

Bióloga Universidad de Chile.
Doctora en Ciencias Biológicas,
Universidad de Concepción.
Académica Facultad de Ingeniería y Ciencias,
Universidad de La Frontera.
Investigadora Asociada CRHIAM.



Pablo Cornejo

Ingeniero Agrónomo,
Universidad de La Frontera.
Doctor en Biología Agraria y Acuicultura,
Universidad de Granada, España.
Académico Escuela de Agronomía,
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
Investigador Asociado CRHIAM.

RESUMEN

La agricultura urbana se presenta como una herramienta multifuncional para mejorar la calidad de vida en entornos urbanos, al ofrecer seguridad alimentaria y ambiental a las comunidades de manera sostenible y resiliente. Este enfoque integrado puede contribuir significativamente a los Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS), propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), derivados de la creciente urbanización y la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria.

Una correcta gestión y conocimiento sobre la calidad del suelo en el que se desarrollase la agricultura urbana, garantizaría una correcta implementación del sistema, a través de técnicas de mejoramiento del suelo como lo es el compostaje, el cual beneficia la estructura del suelo. Sumado a esto, la remediación fito-, mico- y microbiológica del suelo, ofrecen alternativas innovadoras y sostenibles para abordar los problemas de degradación del suelo, la contaminación ambiental y la eficiencia hídrica. De igual manera, la utilización de aguas residuales es una herramienta útil para colaborar a superar los desafíos de la implementación de la agricultura urbana.

Este tipo de práctica agrícola se presenta como una solución integral y prometedora para abordar los desafíos derivados del crecimiento demográfico, la reciente pandemia y los impactos cada vez más evidentes del cambio climático, al ofrecer no solo la posibilidad de mitigar la escasez de agua, energía y alimentos, sino que también contribuye a la resiliencia de las comunidades urbanas y a la sostenibilidad ambiental a largo plazo, a través de diversas metodologías que afrontan los obstáculos para la implementación de la agricultura urbana.



INTRODUCCIÓN

A lo largo del siglo XXI, la sociedad ha experimentado una serie de cambios orientados hacia el incremento de su comodidad y el bienestar. Sin embargo, como en el pasado fueron las crisis económicas y guerras, hoy en día más que nunca se ha despertado una conciencia social sobre la vulnerabilidad de las cadenas mundiales y locales de suministros de alimentos, sumado a una necesidad crítica de resiliencia en la seguridad alimentaria sobre las poblaciones (Barthel *et al.*, 2019). En consecuencia, tras la pandemia de COVID-19, las comunidades con menor poder adquisitivo para su alimentación sufrieron fuertes repercusiones por el desabastecimiento de suministros, debido a la vulnerabilidad en la cadena de suministros alimenticios (OECD, 2020). Bajo esta mirada, el informe sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) elaborado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Agenda 2030 de Chile, ha promovido directrices sobre las que se debería optar para afrontar los desafíos del futuro, destacando particularmente en este caso los ODS N°2 (hambre cero) y N°11 (ciudades y comunidades sostenibles).

La agricultura urbana ha emergido como un fenómeno político y cultural, así como una práctica popular en el uso del suelo, promoviendo la cohesión social, la educación ambiental y el pasatiempo recreativo en diversas partes del mundo (Camps-Calvet *et al.*, 2015). Esta práctica es un pilar importante para poder garantizar la seguridad alimentaria y la subsistencia de las personas de bajos recursos que viven en áreas urbanas y peri-urbanas (Bellwood-Howard *et al.*, 2018).

Además de colaborar en el cumplimiento de los ODS mencionados, y a pesar del aumento del interés en la agricultura urbana no únicamente por parte de la comunidad científica, la superficie destinada a este fin está disminuyendo en todo el mundo, tanto en los países del cono sur como en los del norte del planeta (Bren d'Amour *et al.*, 2017). Teniendo en cuenta lo anterior, se establece un contrasentido de la implementación de estos tipos de sistemas de cultivo, ya que de igual manera estos colaboran con la sostenibilidad de las comunidades y a la resolución de los desafíos futuros propuestos por la ONU.

En el caso del escenario local, en Chile la agricultura urbana ha ganado notoriedad a raíz de la pandemia de COVID-19, teniendo como resultado la creación de comunidades de huertos urbanos y peri-urbanos en la Región Metropolitana y en el resto del país. Comparado con el 15% de incremento anual de huertos urbanos a nivel latinoamericano, Chile está en camino para alcanzar mejores tasas y por consiguiente mejoras hacia las comunidades, las ciudades y el buen vivir (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

No obstante, los esfuerzos por parte de los organismos gubernamentales no son suficientes frente a la creciente urbanización y pérdida de áreas verdes que han sufrido las ciudades debido a la revalorización de los suelos, los cuáles estarían destinados preferentemente a distintas actividades urbanas y no de carácter agrícola. Por lo tanto, es de relevancia evaluar los desafíos que permiten la aplicabilidad de la agricultura urbana sobre las localidades del país, haciendo énfasis en las problemáticas actuales que se hacen presente a nivel nacional y global, tales como la sequía y la desertificación.

La agricultura urbana también es afectada por la problemática sobre la calidad del suelo y la disponibilidad de agua para saciar las necesidades hídricas de los cultivos. La calidad del suelo en las áreas urbanas puede afectar de manera negativa el crecimiento y desarrollo de cultivos de carácter alimenticio, debido a la contaminación ambiental presente en las ciudades y la compactación (Montanarella *et al.*, 2016). La producción de alimentos en entornos urbanos se ha planteado como un medio para asegurar la disponibilidad de alimentos en un mundo cada vez más urbanizado.

Para materializar esta visión, es imperativo establecer sistemas agrícolas urbanos seguros, productivos y sostenibles, con un enfoque central en la gestión eficiente del recurso hídrico.



AGRICULTURA URBANA

Se entiende como agricultura urbana al conjunto de prácticas que implica el cultivo de hortalizas, frutales, plantas medicinales, ornamentales y/o la cría de animales al interior o en la periferia de los centros urbanos o ciudades (Tornaghi, 2014). De acuerdo a ello, su elemento clave radica en la relación funcional que se establece entre la producción y los mercados urbanos. La agricultura urbana ha sido un componente integral del fenómeno y desarrollo urbano desde el comienzo de la historia, en gran medida debido a la necesidad estratégica sobre la seguridad de los suministros de alimentos para la población en entornos urbanos (Soja, 2008).

Las ciudades han sido concebidas como lugares de comercio y poder, en oposición a las zonas rurales dedicadas a la agricultura, es por ello que el proceso de industrialización ha priorizado lo industrial sobre lo agrícola y lo urbano sobre lo rural. Sin embargo, la agricultura urbana se ha mantenido relacionada tanto en la periferia como en el interior de los centros urbanos o ciudades (Vejre & Simón, 2016). En el siglo XIX, con la Revolución Industrial y las migraciones del campo a la ciudad, la agricultura urbana junto con los parques y jardines urbanos desempeñaron un papel fundamental en la promoción de la salubridad de las áreas urbanas (Geddes, 2009). A medida que llegaba a su fin el siglo XX, estos terrenos productivos empezaron a ser considerados desde una óptica ambiental, como componentes de una matriz ecológica en el que se pueden desempeñar funciones de conectividad ecológica, o para proveer servicios ecosistémicos a la población (Zhan *et al.*, 2007).

En tiempos recientes, este tipo de agricultura ha emergido como un elemento fundamental para promover la sostenibilidad y la capacidad de resiliencia en entornos urbanos (Langemeyer *et al.*, 2021). En este sentido, la llegada de la planificación urbana moderna ha contribuido a intensificar la diferenciación entre los entornos urbanos y rurales, lo que ha resultado en una progresiva separación entre la agricultura y las áreas urbanas (Rajević, 2020). A principios del siglo XX, la agricultura productiva se convirtió en un instrumento de urbanización mediante la implementación de programas de huertos obreros, con el propósito de mitigar los efectos de la crisis económica. Estas iniciativas estaban en sintonía con políticas similares llevadas a cabo en Europa y Estados Unidos (Morán & Hernández, 2011).

En países en vías del desarrollo, la agricultura urbana desempeña un papel crucial al proporcionar alimentos para una significativa parte de la población (Zeza & Tasciotti, 2010). Este fenómeno es de particular importancia en el contexto de la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades urbanas. En los países desarrollados, la agricultura urbana es mayormente practicada por entusiastas de la jardinería y por aquellos que buscan alcanzar la autosuficiencia o adoptar un estilo de vida más sostenible (Trendov, 2018). Este fenómeno va más allá de la mera seguridad alimentaria, abarcando aspectos relacionados con la conexión con la naturaleza, la sostenibilidad ambiental y la promoción de estilos de vida más saludables.

La planificación urbana moderna, en diversas regiones del mundo, está adoptando activamente la infraestructura verde y azul como parte de sus estrategias para promover los servicios ecosistémicos locales. De este modo, la agricultura urbana se ha convertido en una de las implementaciones clave de esta tendencia, con un fuerte enfoque en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental (Valente de Macedo *et al.*, 2021). Es así que, la agricultura urbana podría contribuir de manera sinérgica a fortalecer la resiliencia urbana, la cual se entiende como la capacidad de un sistema urbano para absorber perturbaciones, reorganizarse y mantener sus funciones esenciales a lo largo de su desarrollo (Elmqvist *et al.*, 2019).

Es crucial evaluar por separado y de manera explícita los tres aspectos: resiliencia, sostenibilidad y multifuncionalidad, pero considerarlos de forma integrada en el contexto de este tipo de agricultura. Así pues, se sostiene que la disminución de la agricultura urbana ha ocurrido principalmente debido a la falta de atención en la planificación del uso del suelo urbano (Langemeyer, 2021) (Figura 1).

En primer lugar, la falta de consideración de las vulnerabilidades sociales y ecológicas de las áreas urbanas y sus habitantes, incluida la escasez de alimentos, frente a diversos escenarios de cambio, como el cambio climático a nivel global, eventos pandémicos como el Covid-19 y el aumento de las demandas futuras de alimentos (Barthel *et al.*, 2019). En segundo lugar, la falta de consideración de las externalidades sociales y ambientales negativas asociadas a la producción agrícola y las cadenas de suministro, como pueden ser las interconexiones de tierras urbanas, así como el deterioro del medio ambiente (ejemplo, la deforestación) debido a la expansión de la demanda de espacio y el aumento de la necesidad de fertilizantes en monocultivos en tierras previamente no cultivadas (Bren d'Amour *et al.*, 2017).

Por último, la falta de consideración de la multifuncionalidad de la agricultura urbana y sus diversos beneficios adicionales, que van más allá de la simple producción de alimentos, e incluyen la mitigación de escorrentías, la reducción de los eventos de calor urbano, así como ventajas sociales como el mantenimiento del patrimonio cultural y la cohesión social (Guitart *et al.*, 2012).

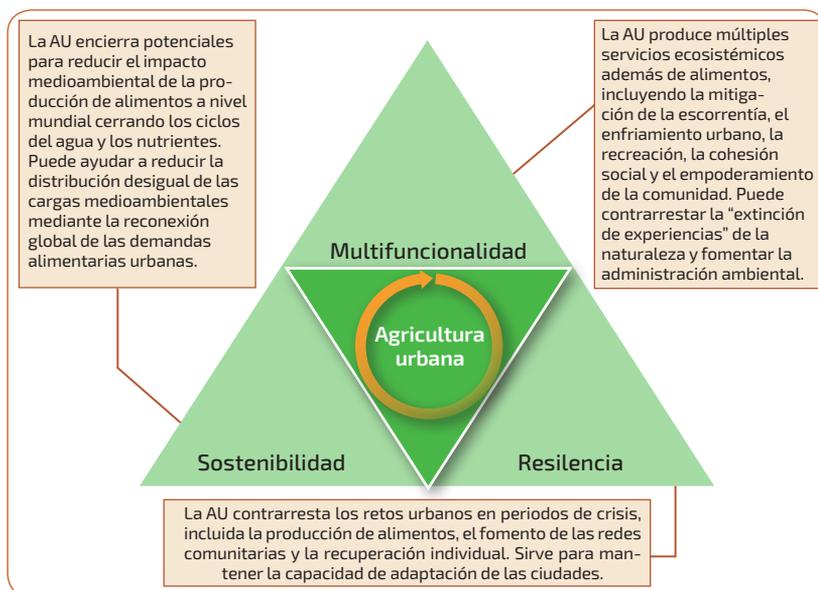


Figura 1.

Tríada de la agricultura urbana: resiliencia, sostenibilidad y multifuncionalidad. Fuente: Langemeyer (2021).

La agricultura urbana también está vinculada a una diversidad de beneficios que trascienden la mera producción de alimentos. Estos beneficios incluyen la mejora de la calidad del aire, la reducción del efecto de isla de calor urbano, la captura de carbono, la promoción de la biodiversidad, la gestión de aguas pluviales, la creación de espacios verdes y la promoción de la salud mental y física de la población. Además, puede fomentar la cohesión social, la educación ambiental y el empoderamiento de las comunidades locales, contribuyendo así, a la creación de entornos urbanos más sostenibles y resilientes a través de aspectos sociales hasta ecológicos y económicos (Figura 2) (Gómez-Villarino *et al.*, 2021; Poulsen *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2018).

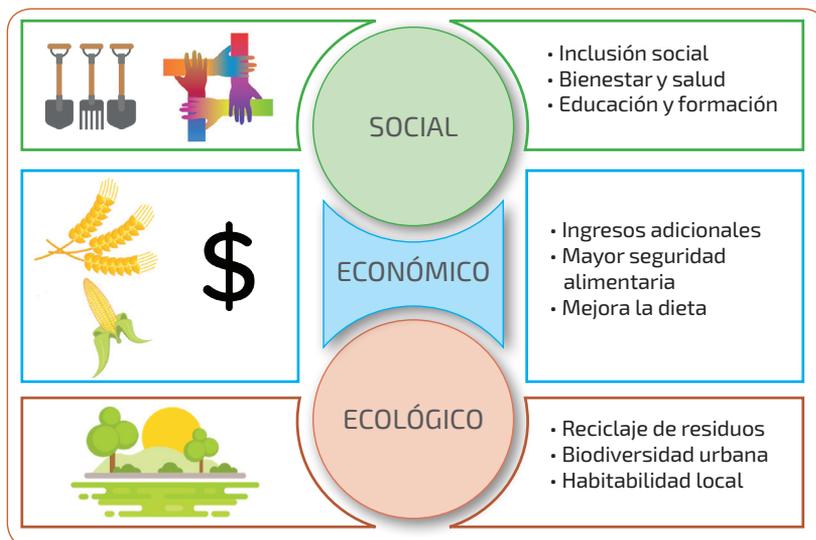


Figura 2.

Beneficios de la agricultura urbana para comunidades resilientes a nivel social, económico y ecológico. Fuente: adaptado de Solomon *et al.* (2022).

Desde una perspectiva económica, quienes participan de la agricultura urbana obtienen ingresos adicionales a través de la venta de productos cultivados, lo que les brinda una mayor estabilidad financiera. Además, al tener un mayor control sobre su suministro de alimentos, fortalecen su seguridad alimentaria al reducir su dependencia de los canales tradicionales de distribución de alimentos. Este aumento en la autonomía alimentaria puede tener efectos positivos en la resiliencia de las comunidades urbanas frente a posibles perturbaciones en el suministro de alimentos (Zezza & Tasciotti, 2010).

A nivel ecológico, la agricultura urbana desempeña un papel significativo al proporcionar servicios ambientales de importancia tanto para las comunidades locales como a escala metropolitana. En este sentido, contribuye de manera relevante al incremento de la biodiversidad urbana y a la provisión de servicios de polinización (Hall *et al.*, 2017). Estos ejemplos ilustran que la urbanización no solo debe ser vista como un factor causal que amenaza nuestros sistemas alimentarios, sino también como un punto focal para la sostenibilidad y la mitigación de los desafíos actuales y emergentes (Grimm *et al.*, 2008).

Un desafío significativo para alcanzar las metas anteriores radica en la limitada comprensión que tienen los participantes en la agricultura urbana sobre cómo llevar a cabo una producción alimentaria que sea segura, eficiente desde el punto de vista productivo y económicamente rentable. Esto puede obstaculizar el desarrollo sostenible y la expansión efectiva como una solución viable para la seguridad alimentaria en entornos urbanos (Salomon *et al.*, 2020).

Uno de los aspectos más desafiantes en este campo es el manejo de la salud del suelo, ya que constituye el fundamento mismo de la producción de alimentos en entornos urbanos. No obstante, al enfocarnos en la producción de alimentos, es necesario abordar la cuestión de la salud del suelo desde una nueva perspectiva, considerándola dentro de un marco más amplio (Salomon *et al.*, 2020). Se debe tener un enfoque holístico para evaluar y gestionar los suelos, considerando una amplia gama de propiedades mensurables, con el fin de mejorar el funcionamiento de los ecosistemas y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la producción de alimentos y otros servicios ambientales (Rinot *et al.*, 2019).

La considerable heterogeneidad espacial y la rápida transformación de los suelos urbanos constituyen razones fundamentales para implementar estrategias de gestión adecuadas para los suelos urbanos, particularmente en el contexto de la agricultura urbana (De Kimpe & Morel, 2000). En un entorno urbano, al igual que en un suelo agrícola convencional, se espera que el suelo proporcione servicios como la creación de hábitats para organismos, la retención de nutrientes y agua, el almacenamiento de carbono, y muy especialmente la producción de biomasa vegetal para suministrar alimentos (Calzolari *et al.*, 2020).

Diversos estudios han demostrado que el manejo adecuado de la salud del suelo no solo promueve la productividad agrícola, sino que también reduce la gravedad de los patógenos transmitidos a través del suelo, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y a la salud pública (Abawi & Widmer, 2000). Además de ello, también se mejoran las propiedades físicas presentes en el suelo agrícola, al igual que su secuestro de carbono (Williams *et al.*, 2020).

Un manejo adecuado de la salud del suelo promueve una realización eficaz ciclo de nutrientes (Nowak *et al.*, 2015), lo cual es fundamental al reutilizar los residuos urbanos (Hernández *et al.*, 2016), como el compost proveniente de desechos municipales, los cuales han sido impulsados mediante distintas organizaciones, en especial a nivel comunal, como es el caso de "La Pintana", en la Región Metropolitana.

Sumado a lo anterior, se puede manipular la comunidad microbiana del suelo para mejorar la eficiencia en un uso eficiente de los recursos hídricos y nutricionales (Bowles *et al.*, 2017). Por tanto, los suelos saludables son fundamentales para garantizar la producción de alimentos seguros y abundantes, por lo que es necesario reconocer que los suelos urbanos presentan desafíos particulares en comparación con otros sistemas agrícolas.

GESTIÓN DE SUELOS EN SISTEMAS DE AGRICULTURA EN ENTORNOS URBANOS

Al evaluar los suelos urbanos, es crucial abordar el riesgo potencial de contaminación, ya que pueden verse afectados por una variedad de contaminantes, incluyendo metales pesados, compuestos orgánicos y microorganismos patógenos, que pueden tener un impacto significativo en su salud y, en última instancia, en la producción de alimentos. Estos contaminantes pueden provenir de diversas fuentes, como la actividad industrial, el tráfico vehicular, la gestión de residuos y otros procesos urbanos (Figura 3).

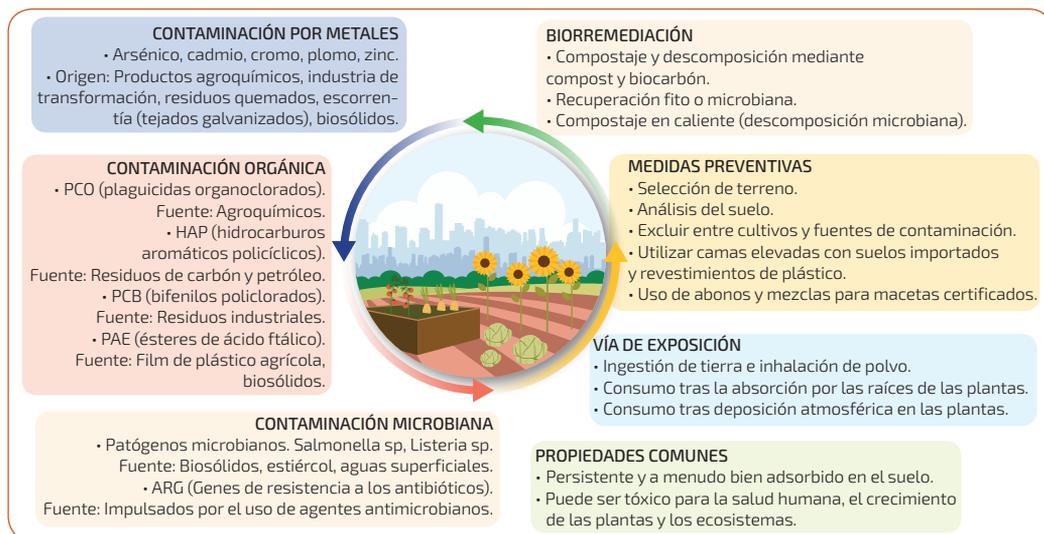


Figura 3.

Visión general de los contaminantes comunes del suelo, sus respectivas fuentes, vías de exposición y opciones de medidas preventivas y biorremediación de suelos. Fuente: adaptado de Solomon *et al.* (2022).

Los suelos, al ser sistemas dinámicos, reflejan una diversidad de características que son moldeadas por las condiciones específicas de su entorno local, al tiempo que están influenciadas por los complejos ciclos biológicos, edafológicos y químicos (Lal, 2015). A continuación, exploraremos estrategias para atenuar los problemas de salud del suelo mediante la implementación de principios de gestión adaptados a la agricultura urbana. Estos principios se enfocan en las particularidades de los entornos urbanos, así como en la optimización de los recursos para promover su salud (Figura 4).

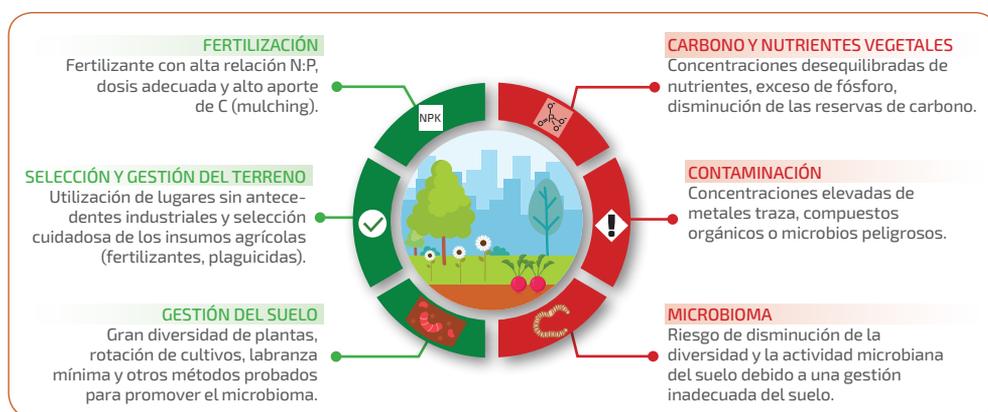


Figura 4.

Limitaciones comunes de la salud del suelo de la agricultura urbana (rojo) y posibles métodos para mitigarlas (verde). N = nitrógeno, P = fósforo, C = carbono. Fuente: adaptado de Solomon *et al.* (2022).

El ingreso y acumulación de contaminantes a través de la deposición atmosférica puede reducirse mediante la implementación de estrategias como la siembra de barreras vegetales o la construcción de estructuras físicas para separar los cultivos de las fuentes de contaminación (Säumel *et al.*, 2012). Las plantas con morfología foliar compleja y vellosa, como ciertas especies de helechos y musgos (p.e. *Crataegus monogyna*, *Cotoneaster franchetii* y *Thuja plicata*), poseen estructuras especializadas en sus hojas que les permiten retener partículas de polvo y otros contaminantes del aire. Estas estructuras, como tricomas y cutículas cerosas, actúan como filtros naturales, capturando partículas en suspensión y reduciendo la presencia de compuestos nocivos en el aire. Este fenómeno se ha observado en entornos urbanos y se ha demostrado que contribuye a mejorar la calidad del aire circundante, lo que puede tener beneficios significativos para la salud humana y el medio ambiente (Blanuša *et al.*, 2020).

La agricultura urbana debe llevarse a cabo en terrenos que hayan sido sometidos a pruebas exhaustivas para detectar la presencia de contaminantes, o en áreas donde sea menos probable que se hayan producido o se estén produciendo o acumulando contaminantes. Se recomienda que este tipo de agricultura se desarrolle en áreas residenciales de reciente urbanización, donde la exposición a contaminantes puede ser menor en comparación con áreas urbanas más consolidadas (Laidlaw *et al.*, 2018).

El compostaje se ha planteado como una herramienta efectiva para la remediación de suelos contaminados con una variedad de contaminantes, ya sean orgánicos o inorgánicos (Medina *et al.*, 2015). El proceso de compostaje implica la descomposición controlada de materia orgánica, lo que puede resultar en la reducción de la concentración de contaminantes en el suelo. Además, puede mejorar la estructura del suelo, aumentar su capacidad de retención de agua y nutrientes, y promover la actividad microbiana beneficiosa, lo que contribuye a la restauración de la salud del suelo.

Otro enfoque similar para inmovilizar contaminantes es la adición de biocarbón al suelo. Este método no solo se ha propuesto para mejorar la calidad del suelo y la inactivación de contaminantes, sino que también se ha identificado como una estrategia para aumentar la fertilidad del suelo, capturar carbono atmosférico y contrarrestar las emisiones de gases de efecto invernadero (Lehmann *et al.*, 2006). El biocarbón se produce a través de la pirólisis de materiales orgánicos, lo que resulta en un producto rico en carbono que puede permanecer en el suelo durante períodos prolongados, contribuyendo así a la mejora de la calidad del suelo y a la mitigación del cambio climático (Kung & Mu, 2019; Medina *et al.*, 2021).

Se han planteado otras estrategias para la restauración del suelo, como la remediación fito-, mico- o microbiológica, que implican el uso de plantas, hongos o microorganismos para mitigar la contaminación del suelo y restaurar su salud (Treu & Falandysz, 2017).



MANEJO DE LOS SUELOS PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA HÍDRICA Y SU CALIDAD MEDIANTE EL MANEJO DE LA RIZOSFERA

La rizosfera, la zona del suelo inmediatamente adyacente a las raíces, regula el ciclo de los nutrientes, la descomposición de la materia orgánica del suelo y la supresión de patógenos. Estos procesos son fundamentales para la salud del suelo y deben mantenerse en equilibrio para preservar las funciones ecosistémicas del suelo (Wagg *et al.*, 2014). Por el contrario, el uso de productos agroquímicos ha sido vinculado con efectos perjudiciales sobre la diversidad y actividad de la biota del suelo, así como con la disminución de la fertilidad y la salud general del suelo (Prashar & Shah, 2016). Los estudios sobre la salud del suelo en entornos de agricultura urbana han revelado que los suelos enriquecidos con abonos orgánicos, en contraposición a los abonos minerales, presentan una mayor diversidad microbiana y una actividad enzimática más robusta (Igalavithana *et al.*, 2017). Este hallazgo sugiere que el uso de abonos orgánicos puede promover un ambiente del suelo más saludable y productivo en contextos urbanos.

También se ha propuesto que la implementación de los principios de la agricultura ecológica, que promueven la diversidad de plantas y la reducción del uso de agroquímicos, contribuye a un aumento significativo en la presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en los sistemas de agricultura urbana. Estos hongos desempeñan un papel crucial en la mejora de la salud del suelo y el crecimiento de las plantas al facilitar la absorción de nutrientes y mejorar la resistencia a enfermedades (Solomon *et al.*, 2020).

Se debe destacar que lo anteriormente nombrado no son las únicas metodologías existentes, de igual manera los microorganismos promotores de crecimiento vegetal y la utilización de agua residual en prácticas de agricultura urbana, hacen más eficiente el recurso hídrico. Esto se debe a que utilizan metodologías que ayudan a subsanar y potenciar los efectos positivos de los cultivos.

Se han llevado a cabo numerosos estudios con el fin de abordar el estrés por sequía y salinidad, empleando enfoques que van desde la exploración de nuevas técnicas en la agricultura convencional hasta el desarrollo de nuevas variedades vegetales, la utilización de la ingeniería genética y la introducción de bioinoculantes. El propósito de estas investigaciones es contrarrestar los efectos adversos de los factores abióticos en el rendimiento de los cultivos.

En particular, el uso de bioinoculantes ha surgido como una alternativa respetuosa con el medio ambiente y ha ganado una amplia aceptación, especialmente en lo que respecta a la utilización de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés).

Las PGPR ofrecen un potencial considerable para su aplicación en la agricultura, ya que han demostrado la capacidad de mejorar la productividad de los cultivos y de conferir protección a las plantas contra diversos tipos de estrés abiótico, como la salinidad, la sequía y la toxicidad por metales pesados (Vidal *et al.*, 2022; González *et al.*, 2023). Su capacidad para promover el crecimiento de las plantas, mejorar la absorción de nutrientes y modular respuestas fisiológicas en las plantas las convierte en una herramienta prometedora para la agricultura sostenible en entornos desafiantes como los presentes en la agricultura urbana.

Los biofertilizantes pueden contribuir de forma muy importante a dar soluciones al problema de alimentar a una creciente población mundial en un momento en que la agricultura se enfrenta a diversas repercusiones medioambientales (Bhardwaj *et al.*, 2014). La búsqueda de microorganismos que mejoren la fertilidad del suelo y potencien la nutrición de las plantas ha atraído gran atención debido al creciente coste de los fertilizantes de síntesis química y a algunas de sus repercusiones negativas sobre el medio ambiente (Adesemoye, 2009).

Recientes estudios han demostrado la capacidad de microorganismos extremófilos presentes en el desierto de Atacama para mejorar la tolerancia hacia los estreses abióticos y bióticos, más específicamente en el ámbito de la sequía y la tolerancia hacia suelos contaminados con metales pesados, salinidad y presencia de enfermedades (Vidal *et al.*, 2022). Por ejemplo González *et al.* (2023), trabajando con plantas de lechuga bajo estrés salino en asociación con actinobacterias (*Streptomyces niveoruber* y *Streptomyces lienomycini*), demostraron que éstas pueden mejorar su tolerancia a la salinidad a través de diversos mecanismos fisiológicos. Estos incluyen la sobreproducción de prolina; además, se observa un aumento en la producción del compuesto fenólico ácido dicafeoilquínico, el cual tiene propiedades antioxidantes y puede proteger a las células vegetales del daño oxidativo causado por el estrés salino.

Sumado a lo anterior, la asociación con estas actinobacterias ha demostrado mejorar la eficiencia en el uso del agua por parte de las plantas de lechuga, lo que es crucial en condiciones de baja disponibilidad de agua. También se ha observado un aumento en el rendimiento fotosintético, lo que contribuye a la capacidad de las plantas para producir energía y biomasa en condiciones adversas. Otro efecto beneficioso es la reducción de la concentración de sodio (Na^+) en las hojas, lo que ayuda a prevenir la toxicidad por salinidad. Además, se ha observado una disminución en la relación sodio/potasio (Na^+/K^+), lo cual se correlaciona con una mayor producción de biomasa y una menor peroxidación lipídica, indicando una menor cantidad de daño celular causado por el estrés salino.

Estos resultados muestran que la asociación con actinobacterias puede ser una estrategia prometedora para mejorar la tolerancia de las plantas de lechuga al estrés salino, al igual que una mejora sobre la eficiencia nutritiva y del recurso hídrico. En este contexto, las actinobacterias obtenidas del desierto de Atacama muestran prometedoras aplicaciones como bioinoculantes para incrementar la productividad de los cultivos y optimizar el aprovechamiento del agua de riego con alto contenido salino.

En otros estudios se logró incrementar la resistencia a la sequía en plantas de lechuga mediante la inoculación con diversos aislados del género *Bacillus* obtenidas desde el desierto de Atacama, destacándose los resultados obtenidos con *Bacillus ginsengihumi* y *Bacillus atrophaeus* (Santander *et al.*, 2024). Estos aislados exhibieron su potencial para fortalecer la tolerancia al estrés hídrico al mejorar la absorción de nitrógeno y agua por parte de las plantas. Los resultados obtenidos, que incluyen una mejora en el rendimiento fotosintético, un aumento en el contenido de clorofila y niveles superiores de contenido relativo de agua, se asocian con una notable producción de biomasa, lo cual puede ser muy beneficioso en la productividad de los cultivos.

Lo anterior sugiere que aislados de *Bacillus* del desierto de Atacama presentan un gran potencial como bioinoculantes para mejorar la producción de cultivos en condiciones de sequía (Vidal *et al.*, 2022).

MANEJO DE AGUA RESIDUAL PARA LA AGRICULTURA URBANA

Las plantas de tratamiento de recursos hídricos forman parte de una solución hacia los desafíos que enfrenta la agricultura urbana, la cual puede beneficiarse del reciclaje y reutilización de residuos urbanos para promover la sostenibilidad y la eficiencia de los sistemas alimentarios locales (Figura 5).

Dentro de un contexto urbano, los recursos hídricos, los nutrientes y la energía son fundamentales para respaldar las actividades agrícolas. Los recursos hídricos son especialmente críticos, y en este sentido, las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden desempeñar un papel crucial al proporcionar un suministro de agua que favorezca la tolerancia a la sequía, y además al aprovechar la infraestructura existente para promover el concepto de agricultura urbana (Tian *et al.*, 2018).

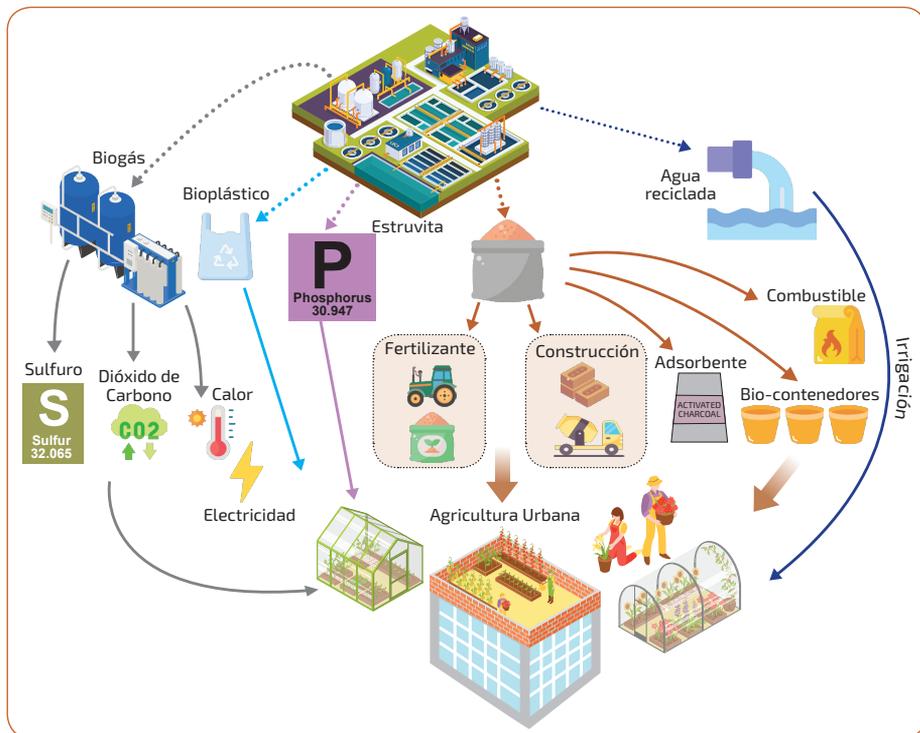


Figura 5.

Ilustración esquemática de las funciones fundamentales de las instalaciones de recuperación de recursos hídricos (WRRF) en apoyo de la agricultura urbana. Fuente: adaptado de Wang *et al.* (2022).

Adicionalmente, la agricultura urbana puede contribuir a la reducción de la carga de los sistemas de tratamiento de aguas residuales al implementar un sistema combinado que permita la captación y reutilización de la escorrentía de las aguas pluviales. Además, el compost derivado de residuos orgánicos urbanos, como restos de alimentos, hojas y cortes de césped pueden ser utilizados como fertilizantes en la agricultura urbana, promoviendo así la sostenibilidad y la eficiencia en el ciclo de nutrientes dentro de entornos urbanos (Brown *et al.*, 2003).

La agricultura urbana regenera y revitaliza entornos urbanos al convertir áreas desocupadas en espacios verdes que proporcionan alimento y bienestar tanto físico como emocional a los habitantes de la ciudad (Brown *et al.*, 2003). Un claro ejemplo de una correcta implementación de manera sostenible, ha sido el caso de un proyecto de agricultura urbana en las zonas urbanas y suburbanas de Boston, donde el personal y voluntarios colaboran para recolectar anualmente más de 120.000 libras de hortalizas frescas y 12.000 libras de otros alimentos en terrenos baldíos situados a menos de 2 millas del centro de Boston.

En este proyecto, los huertos urbanos logran una productividad hasta trece veces mayor por hectárea en comparación con las explotaciones rurales del país, gracias a la implementación de técnicas como bancales elevados, enmiendas del suelo y sistemas que extienden la temporada de cultivo, tales como cubiertas en hileras y gallineros (Washington, 2000). De esta forma, no solo demuestra el potencial de la agricultura urbana para la producción de alimentos a nivel local, sino que también resalta su capacidad para revitalizar espacios urbanos subutilizados y promover la seguridad alimentaria en entornos urbanos densamente poblados.

El recurso hídrico regenerado por las plantas de tratamiento de agua se está convirtiendo en una opción cada vez más atractiva como fuente alternativa al agua superficial y subterránea para el riego de la agricultura urbana, debido a su alta calidad, suministro estable y potencial de ahorro. Esta agua suele tener una calidad superior a la de las aguas superficiales en comparación a los cuerpos de agua donde se descargan.

Los principales componentes químicos que deben ser considerados en el riego de áreas urbanas incluyen la salinidad, el contenido de sodio, los microelementos, el cloro residual y los nutrientes. Concentraciones excesivas de estos componentes pueden tener efectos negativos en el crecimiento de los cultivos, así como en la salud humana (EPA, 2012). Por lo anterior, es

crucial monitorear y controlar cuidadosamente la calidad química del agua utilizada en la agricultura urbana para garantizar la seguridad alimentaria, la salud pública y una correcta implementación hacia las comunidades.

Durante los periodos de sequía, la generación de aguas residuales no experimenta una reducción significativa (EPA, 2012). Esto sugiere que el agua recuperada de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales representa esencialmente un suministro de agua resistente a las sequías, lo que la convierte en un recurso valioso para la seguridad hídrica en entornos urbanos. La reutilización del agua municipal generada y recuperada localmente dentro de un área geográfica limitada requiere menos recursos para su bombeo y transporte a los sitios de agricultura urbana. Esto se debe a que la generación de aguas residuales municipales es relativamente constante a lo largo del año y tiende a aumentar con el crecimiento de la población en áreas urbanas (EPA, 2012).

Las tecnologías de tratamiento de agua, combinadas con procesos de desinfección, ofrecen un enfoque escalonado para mejorar la calidad del agua recuperada (Council, 2012). La elección del nivel óptimo de tratamiento debe ser determinada por la aplicación final del agua recuperada, con el objetivo de garantizar tanto la eficiencia económica como la sostenibilidad ambiental. Este enfoque permite adaptar el tratamiento del agua a las necesidades específicas de su uso final, maximizando así su utilidad y minimizando el impacto ambiental.

TIPOS DE AGRICULTURA URBANA

Granja urbana comercial: Estas granjas comercializan sus productos de forma directa en los mercados de agricultores, estableciendo así una conexión cercana entre los productores y los consumidores locales. Este modelo de venta directa, fomenta la transparencia en la cadena de suministro y promueve la sostenibilidad al reducir la distancia que los alimentos deben recorrer antes de llegar al consumidor final. Algunos agricultores urbanos incluso realizan ventas puerta a puerta con sus productos, lo que no solo facilita a los residentes de los centros urbanos el acceso a alimentos frescos y de calidad, sino que también les permite a los agricultores aumentar sus ingresos y establecer relaciones directas con sus clientes (Brown *et al.*, 2003).

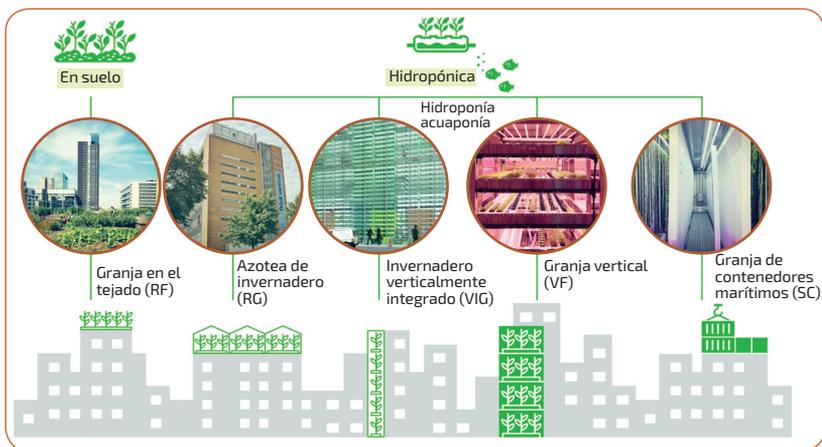


Figura 6.

Tipos de granjas urbanas comercial. Fuente: Benis & Ferrao (2018).

Jardines comunitarios: Los huertos comunitarios son espacios designados dentro de una comunidad, donde se lleva a cabo el cultivo de plantas y alimentos de manera colaborativa (Agustina & Beilin, 2012). Estos lugares no solo sirven como fuentes de alimentos frescos y saludables, sino que también promueven la interacción social, el aprendizaje colectivo y el fortalecimiento de los lazos comunitarios. En la mayoría de los casos, los huertos comunitarios son grandes terrenos divididos en parcelas más pequeñas para uso de cada hogar y pueden ser propiedad de un municipio, una institución, un grupo comunitario, un fondo de tierras o propiedad privada (Brown *et al.*, 2003).



Figura 7.

Collective Kąpielisko Community Garden, Poznań. Fuente: Antonowicz, A. (2014).

Jardín trasero o huertos de traspatio: Los huertos urbanos de traspatio son áreas de cultivo que se encuentran en las proximidades de las viviendas, abarcando espacios como balcones, terrazas y patios, pudiendo producir y cultivar en espacios comunes y a la vez compactos (Brown *et al.*, 2003). Estos espacios permiten a los residentes urbanos participar en la producción de alimentos de manera sostenible, fomentando la conexión con la naturaleza y promoviendo la autosuficiencia alimentaria a nivel local. Además, ofrecen la oportunidad de cultivar plantas medicinales, aromáticas y ornamentales, contribuyendo así a la biodiversidad y al bienestar general de la comunidad. Estos huertos están motivados por diferentes factores, como cocinar con ingredientes frescos, enseñar a los niños la naturaleza, la sostenibilidad medioambiental, la conexión con la identidad cultural o pasada, la estética, la afición personal y el intercambio vecinal (Kortright & Wakefield, 2011).

Huerto comunitario: Un huerto es un área que se divide en parcelas más pequeñas que se alquilan a través de un contrato de arrendamiento. Estos huertos suelen surgir de iniciativas municipales en terrenos públicos y su regulación está altamente formalizada, a veces en conformidad con leyes regionales o nacionales específicas. Este enfoque reglamentario busca garantizar la gestión sostenible de los huertos, promover la equidad en el acceso a la tierra y fomentar la participación comunitaria en actividades agrícolas dentro de un marco legal establecido.

Los huertos arrendados tuvieron su origen en el siglo XVIII como respuesta a la pobreza urbana, y experimentaron un notable crecimiento durante la Primera Guerra Mundial (Lohrberg *et al.*, 2016). En la actualidad, su propósito ha evolucionado más allá del autoabastecimiento para incluir la provisión complementaria de alimentos, la promoción de la educación y el fomento del entretenimiento social y físico.

Techos verdes: Techados cubiertos de vegetación y sustrato, ofrecen una serie de servicios ecosistémicos en entornos urbanos. Estos incluyen una gestión mejorada de las aguas pluviales, lo que contribuye a reducir el riesgo de inundaciones y a mejorar la calidad del agua. Además, ayudan a regular la temperatura de los edificios, lo que puede disminuir la necesidad de aire acondicionado en verano y calefacción en invierno y, por consiguiente, un menor nivel de emisiones por contaminación urbana. También, ofrecen la posibilidad de aumentar la producción de alimentos, lo que puede contribuir a la seguridad alimentaria local y a la promoción de prácticas agrícolas sostenibles en entornos urbanos.



Figura 8.

Las terrazas de tejado verde en la azotea del edificio principal de la biblioteca de la Universidad de Hong Kong. Fuente: Sysadmin, (2017).

Agricultura vertical: También conocida como agricultura del cielo, se fundamenta en la idea de que es posible crear condiciones de crecimiento óptimas para los cultivos, en lugar de depender exclusivamente de las condiciones del entorno natural (Mok *et al.*, 2014). Este enfoque busca maximizar la eficiencia de la producción agrícola al controlar cuidadosamente factores como la luz, la temperatura, la humedad y los nutrientes, con el fin de crear un entorno de cultivo altamente productivo y sostenible.

Las plantas se organizan en múltiples capas verticales dentro de ambientes interiores controlados, permitiendo el cultivo en espacios reducidos. Además, se ha implementado en una variedad de estructuras, que van desde almacenes abandonados en áreas urbanas hasta edificios construidos en terrenos degradados, e incluso contenedores de transporte marítimo reacondicionados (Birkby, 2016). Las granjas verticales presentan una variedad de formas y tamaños, pero comparten la característica de emplear uno de los tres sistemas sin suelo para proporcionar nutrientes a las plantas: sistemas hidropónicos, aeropónicos o acuapónicos (Birkby, 2016).



Figura 9.

Producción de lechuga mediante un sistema hidropónico vertical en Yucatán, México. Fuente: De anda & Shear (2017).

Invernadero en la azotea: Los invernaderos sobre cubierta representan una innovadora modalidad de agricultura urbana, en la que se instalan invernaderos en la parte superior de edificios para cultivar productos utilizando sistemas de cultivo sin suelo (Cerón-Palma *et al.*, 2012). Esta técnica permite aprovechar el espacio en las zonas urbanas, contribuyendo a la producción de alimentos frescos en entornos urbanos. Además, al estar integrados en la estructura de los edificios, estos invernaderos pueden ofrecer beneficios adicionales, como la mejora del aislamiento térmico y la reducción del impacto ambiental.

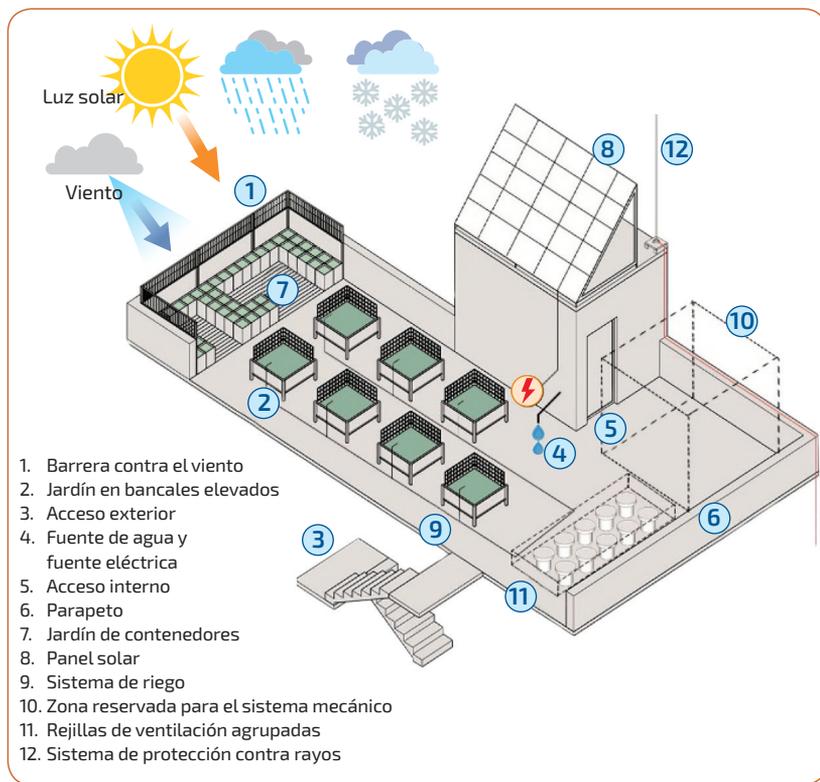


Figura 10.

Diseño de una granja en la azotea. Fuente: Daneshyar (2024).

Jardín educativo y terapéutico: Los huertos educativos, localizados en instituciones educativas o centros medioambientales y sociales, ofrecen programas de aprendizaje basados en la agricultura a su comunidad, que incluye escuelas, guarderías, entre otros. Estos huertos no solo sirven como lugares de producción de alimentos, sino que también funcionan como herramientas educativas para fomentar la conciencia ambiental y la sostenibilidad. Los huertos escolares, en particular, son una forma común de difundir conocimientos y prácticas relacionadas con la jardinería respetuosa con el medio ambiente y el clima, brindando a los estudiantes la oportunidad de aprender sobre la naturaleza, la agricultura y la importancia de la alimentación saludable (Lohrber *et al.*, 2016).

Los jardines terapéuticos, que suelen encontrarse en entornos urbanos, como instituciones de salud física y mental, aplican principios curativos a través de la interacción con la naturaleza. Al seleccionar cuidadosamente una amplia variedad de plantas y flores, estos jardines están diseñados para estimular los sentidos, evocar recuerdos y emociones, y proporcionar un entorno que fomente la relajación y el bienestar emocional (Wang *et al.*, 2022).



Figura 11.

Ejemplo de composición del programa por centro de actividades terapéuticas. Fuente: Baik *et al.* (2024).

CONCLUSIONES

La agricultura urbana se perfila como una solución integral y prometedora para afrontar los desafíos derivados del crecimiento demográfico, la urbanización acelerada y los impactos cada vez más evidentes del cambio climático de origen antrópico. Todo aquello, teniendo en cuenta el contexto de mayor conciencia social y ambiental en el que se encuentra la sociedad en el siglo XXI.

De este modo, corresponde a una práctica cada vez más popular, que hace que al día de hoy existan una serie de huertos urbanos en la ciudad, que son mantenidos por individuos, organizaciones comunitarias e incluso empresas. Estos huertos proporcionan alimentos frescos a las comunidades locales y ayudan a reducir la huella de carbono de la ciudad.

Esta práctica no ofrece únicamente la posibilidad de mitigar la escasez de agua, energía y alimentos, sino que también contribuye a la resiliencia de las comunidades urbanas y a la sostenibilidad ambiental a largo plazo a través de distintas metodologías, que disminuyan los desafíos sobre la agricultura urbana, destacando la formación de una rizosfera dedicada a subsanar y mejorar la productividad de los cultivos, a través de los distintos mecanismos que estas nuevas biotecnologías aportan.

De igual manera, la utilización del agua residual de las zonas urbanas puede satisfacer y complementar las necesidades hídricas que posea la agricultura urbana, de la mano con un manejo sostenible y un buen futuro agroalimentario en esta área. También es importante mencionar, que la agricultura urbana aporta positivamente a la educación y el desarrollo de una mayor conciencia ambiental, además de brindar oportunidades para una mayor conexión con la naturaleza, mejorando así, la salud física y mental de las personas.

En otras palabras, puede ser una herramienta importante para abordar una variedad de desafíos urbanos, como la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano. Por lo anterior, la agricultura urbana tiene el potencial de hacer una gran diferencia en las ciudades a nivel global. Al proporcionar alimentos frescos, reciclar desechos, mejorar la calidad del aire y el agua y promover la salud y el bienestar, la agricultura urbana puede ayudar a crear ciudades más sostenibles y saludables.

REFERENCIAS

- A. Zezza, L. T. 2010. Urban agriculture, poverty, and food security: empirical evidence from a sample of developing countries. *Food Pol.* 35, 265-273.
- A.D. Igalavithana, S. L. H. 2017. Assessment of soil health in urban agriculture: soil enzymes and microbial properties. *Sustainability* 9, 310.
- Adesemoye, A. 2009. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Allow Reduced Application Rates. *Microbiology Ecology.* 58, 921-929.
- Agustina, I. 2012. Community gardens: Space for interactions and adaptations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 36, 439-448.
- B. Nowak, T. N. 2015. Nutrient recycling in organic farming is related to diversity in farm types at the local level. *Agric. Ecosyst. Environ.* 204, 17-26.
- Baik, H., Choi, S., An, M., Jin, H., Kang, I., Yoon, W., & Yoo, Y. 2024. Effect of Therapeutic Gardening Program in Urban Gardens on the Mental Health of Children and Their Caregivers with Atopic Dermatitis. *Health-care* 12, 919.
- Bellwood-Howard, I. S. 2018. The role of backyard farms in two West African urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 170, 34-47.
- Bhardwaj, D. A. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microb Cell Fact.* 13, 66.
- Birkby, J. 2016. Vertical farming. *Sustainable Agriculture* 12, IP386.
- Brown, K. H. 2003. *Urban Agriculture and Community Food Security in the United States: Farming from the City Center to the Urban Fringe.* Urban agriculture Committee of the Community Food Security Coalition (CFSC).
- C. Bren d'Amour, F. R. 2017. Future urban land expansion and implications for global croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (34) , 8939-8944.

- C. Calzolari, P. T. 2020. Assessing soil ecosystem services in urban and peri-urban areas: from urban soils survey to providing support tool for urban planning. *Land Use Pol.* 99, 105037.
- C. Wagg, S. B. 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.* 111, 5266-5270.
- C.-C. Kung, J. M. 2019. Prospect of China's renewable energy development from pyrolysis and biochar applications under climate change. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 114, 109343.
- C.R. De Kimpe, J.-L. M. 2000. Urban soil management: a growing concern. *Soil Sci.* 165, 31-40.
- Camps-Calvet, M. L.-M.-B. 2015. Sowing resilience and contestation in times of crises: The case of urban gardening movements in Barcelona. *Partecipazione e Conflitto* 8(2), 417-442.
- Cerón-Palma, I. S.-M.-S.-I. 2012. Barriers and opportunities regarding the implementation of rooftop eco. Greenhouses (RTEG) in Mediterranean cities of Europe. *Journal of Urban Technology* 19(4), 87-103.
- Council, N. 2012. *Water reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*. National Academies Press.
- D. Guitart, C. P. 2012. Past results and future directions in urban community gardens research. *Urban Forestry & Urban Greening* 11, 364-373.
- D.M. Hall, G. C. 2017. The city as a refuge for insect pollinators. *Conserv. Biol.* 31, 24-29.
- Daneshyar, E. 2024. Residential Rooftop Urban Agriculture: Architectural Design Recommendations. *Sustainability* 16, 1881.
- De Anda, J., & Shear, H. 2017. Potential of Vertical Hydroponic Agriculture in Mexico. *Sustainability* 9, 140.
- EPA. 2012. *2012 Guidelines for Water Reuse*. US Agency for International Development.

- G. Li, G.-X. S.-S.-G. 2018. Urban soil and human health: a review. *Eur. J. Soil Sci.* 69, 196-215.
- G.S. Abawi, T. W. 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Appl. Soil Ecol.* 15, 37-47.
- González, F., Santander, C., Ruiz, A., Pérez, R., Moreira, J., Vidal, G., . . . Cornejo, P. 2023. Inoculation with Actinobacteria spp. Isolated from a Hyper-Arid Environment Enhances Tolerance to Salinity in Lettuce *Plants* (Lactuca sativa L.). *Plants* 12, 2018.
- H. Williams, T. C. 2020. The influence of soil management on soil health: an on-farm study in southern Sweden. *Geoderma* 360, 114010.
- I. Säumel, I. K. 2012. How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Environ. Pollut.* 165, 124-132.
- J. Lehmann, J. G. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitig. Adapt. Strategies Glob. Change* 11, 403-427.
- Jiefu Wang, Y. S.-W. 2022. Pivotal role of municipal wastewater resource recovery facilities in urban agriculture: A review. *Water Environmental Research* 94(6), e10743.
- Kortright, R. &. 2011. Edible backyards: A qualitative study of household food growing and its contributions to food security. *Agriculture and Human Values* 28(1), 39-53.
- L. Montanarella, D. P. 2016. World's soils are under threat. *Soil* 2, 79-82.
- L.S. Valente de Macedo, M. B.-Y. 2021. Urban green and blue infrastructure: a critical analysis of research on developing countries. *J. Clean. Prod.* 313, 127898.
- Lal, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability* 7, 5875-5895.
- Langemeyer, J. M.-L. 2021. Urban agriculture – A necessary pathway towards urban resilience and global sustainability? *Landscape and Urban Planning* 210, 104055.

- Lohrberg, F. L. 2016. *Urban agriculture Europe*. Jovis.
- M.A.S. Laidlaw, D. A. 2018. Assessment of soil metal concentrations in residential and community vegetable gardens in Melbourne, Australia. *Chemosphere* 199, 303-311.
- M.J. Salomon, S. W.-W. 2020. Urban soil health: a city-wide survey of chemical and biological properties of urban agriculture soils. *J. Clean. Prod* 275, 122900.
- M.J. Salomon, T. C. 2022. Healthy soils: The backbone of productive, safe and sustainable urban agriculture. *Journal of Cleaner Production* 341, 130808.
- M.N. Poulsen, R. N. 2017. The multifunctionality of urban farming: perceived benefits for neighbourhood improvement. *Local Environ.* 22, 1411-1427.
- M.T. Gómez-Villarino, J. u. 2021. Key insights of urban agriculture for sustainable urban development. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 45, 1441-1469.
- Medina, J.F. 2021. Utilization of inorganic nanoparticles and biochar as additives of agricultural waste composting: Effects of end-products on plant growth, C and nutrient stock in soils from a Mediterranean region. *Agronomy* 11, 767.
- Medina, J. M. 2015. Crop Residue Stabilization and Application to Agricultural and Degraded Soils: A review. *Waste Management* 42, 41-54.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2022. Crean la 1era Comunidad de Huertos Urbanos y Rurales para el Buen Vivir en la RM. *Santiago Recicla*.
- Mok, H.-F. W. 2014. Strawberry fields forever? Urban agriculture in developed countries: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34(1), 21-43.
- Morán, A. &. 2011. Historia de los huertos urbanos. De los huertos para pobres a los programas de agricultura urbana ecológica. *I Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana*. Elche, España.

- N.B. Grimm, S. F. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319, 756-760.
- O. Rinot, G. L. 2019. Soil health assessment: a critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Sci. Total Environ.* 648, 1484-1491.
- OECD. 2020. *Food Supply Chains and Covid-19: Impacts and Policy Lessons*. Disponible en: <https://www.oecd.org/>; https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=134_134305-ybqvdf0kg9&title=Food-Supply-Chains-and-COVID-19-Impacts-and-policy-lessons.
- P. Prashar, S. S. 2016. Impact of fertilizers and pesticides on soil microflora in agriculture. *Reviews: Springer International Publishing, Cham Vol. 19*, 331-361.
- P., G. 2009. *Ciudades en evolución*. KrK Ediciones.
- R. Treu, J. F. 2017. Mycoremediation of hydrocarbons with basidiomycetes—a review. *J. Environ. Sci. Health* 52, 148-155.
- Rajevic, E. 2020. La frágil regulación del suelo rural a cuatro décadas de su liberalización. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad]* 28, 54-60.
- Soja, E. W. 2008. *Postmetrópolis: estudios críticos sobre las ciudades y las regiones (1ª ed. 2000)*. Traficantes de Sueños.
- Sysadmin. (2017). HKU Rooftop Farm (Fotografía). Urban Rooftop Farming. <https://app04.teli.hku.hk/urf/2017/06/14/hku-rooftop-farm/>
- T. Blanuša, Z. Q. 2020. Evaluating the effectiveness of urban hedges as air pollution barriers: importance of sampling method, species characteristics and site location. *Environments* 7, 81.
- T. Elmqvist, E. A. 2019. Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nature Sustainability* 2 (4), 267-273.
- T. Hernández, C. C.-L. 2016. Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops—effects on soil and plant. *Soil Tillage Res.* 160, 14-22.
- T.M. Bowles, L. J. 2017. Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. *J. Appl. Ecol.* 54, 1785-1793.

- Tian, H. L.-F. 2018. Optimizing resource use efficiencies in the food–energy–water nexus for sustainable agriculture: From conceptual model to decision support system. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 33, 104-113.
- Tornaghi, C. 2014. Critical geography of urban agriculture. *Progress in Human Geography* 38(4), 551-567.
- Trendov, N. 2018. Comparative study on the motivations that drive urban community gardens in Central Eastern Europe. *Ann. Agrarian Sci.* 16 , 85-89.
- Vejre, H. &. 2016. Introduction. En F. Lohrberg L. Licka, L. Scazzori & A. Timple (Eds.). *Urban Agriculture Europe Jovis*.
- Vidal, C., González, F., Santander, C., Pérez, R., Gallardo, V., Santos, C., Cornejo, P. 2022. Management of Rhizosphere Microbiota and Plant Production under Drought Stress: A Comprehensive Review. . *Plants* 11, 2437.
- Washington, K. 2000. *Growing Food in Cities: Urban Agriculture in North America*. Community Food Security News.
- Zhan, W. R. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics* 64(2), 253-260.



CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

USO EFICIENTE DEL AGUA EN AGRICULTURA URBANA



Universidad de Concepción



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia



Serie Comunicacional CRHIAM