

# Cultivo de hortalizas en agricultura urbana. Invernaderos integrados en edificios



MINISTERIO  
DE CIENCIA, INNOVACIÓN  
Y UNIVERSIDADES



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



AGENCIA  
ESTATAL DE  
INVESTIGACIÓN

BINAFET: Building Integrated Agriculture for an Effective Ecological Transition

Project TED2021-130047B-C22

Funded by CIN/AEI/10.13039/501100011033 and the European Union "NextGenerationEU" / PRTR

Research team

**UAB** Universitat Autònoma  
de Barcelona

**sostenipra**  
Sostenibilitat | Prevenció Ambiental



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



Fundació  
Miquel Agustí

**GRIC** GROUP OF CONSTRUCTION  
RESEARCH AND INNOVATION  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# Sumario

Introducción	04
ICTA y BINA FET: espacios de investigación en agricultura urbana	06
Invernaderos integrados al edificio en el ICTA-UAB	06
Invernaderos BINA FET conectados al edificio en la UPC	07
El cultivo de hortalizas en invernaderos urbanos	08
El sustrato	09
Sustratos orgánicos en tiestos	09
Sustratos para cultivo hidropónico	10
Variedades adaptadas a la agricultura urbana	11
El tomate	12
La lechuga	13
La judía	13
Manejo y automatización del clima	14
Temperatura y humedad relativa	14
Enriquecimiento con CO <sub>2</sub>	14
Iluminación artificial y espectro lumínico	15
Bibliografía	15
Caso práctico ICTA-UAB	16
Necrosis apical de frutos	16
Araña roja	17
Ácaro del bronceado	17

## Introducción

La agricultura urbana está ganando protagonismo en la promoción de la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria y la cohesión social en las ciudades de todo el mundo. En un contexto donde más de la mitad de la población global ya vive en entornos urbanos, cultivar alimentos dentro de la ciudad representa una oportunidad para fortalecer los sistemas alimentarios locales y aumentar la resiliencia comunitaria. El valor de la agricultura urbana varía según el contexto: en países en vías de desarrollo, suele contribuir directamente a la alimentación de los hogares, mientras que en los países desarrollados, su papel se vincula frecuentemente con funciones educativas, sociales y ambientales. Sin embargo, en ambos casos, la agricultura urbana permite construir una mejor relación entre las personas, los alimentos y el entorno urbano. Aunque cultivar en la ciudad no es una idea nueva, existiendo una fuerte experiencia en muchas regiones de América del Sur y Asia, en las últimas décadas ha surgido un enfoque más innovador: integrar la agricultura en las propias infraestructuras urbanas. En especial, las cubiertas de edificios han despertado interés como espacios infratilizados con gran potencial. Existen dos estrategias principales para cultivar en azoteas: los jardines verdes (green roofs) y los invernaderos (rooftop greenhouses). Estos últimos permiten una producción más intensiva y sostenida a lo largo del año, gracias a un mayor control sobre las condiciones de cultivo.

Las terrazas ofrecen ventajas singulares: buena exposición solar, cercanía al punto de consumo y potencial para integrarse con el edificio en un sistema de intercambio de recursos como calor, agua de lluvia o CO<sub>2</sub>. En los climas templados o fríos, los invernaderos instalados en terrazas per-

miten el cultivo durante todo el año, protegiendo las plantas de las inclemencias del tiempo y optimizando el uso de recursos mediante estrategias de economía circular. La instalación de invernaderos en terrazas plantea así una nueva manera de concebir los techos de nuestras ciudades: no solo como barreras frente al clima, sino como espacios productivos, sostenibles y vivos. Este tipo de agricultura integrada en los edificios ofrece una respuesta concreta a desafíos actuales como el acceso a alimentos frescos, el uso eficiente de recursos y la regeneración de vínculos comunitarios en entornos densamente urbanizados. Existen experiencias destacadas a nivel internacional. En Montreal (Canadá), Lufa Farms gestiona más de 15.000 m<sup>2</sup> de invernaderos sobre cubiertas, que abastecen semanalmente a miles de hogares con verduras frescas y cultivadas localmente. En Nueva York, empresas como Gotham Greens han instalado invernaderos sobre edificios industriales y comerciales, aprovechando el calor residual de los inmuebles y reduciendo significativamente los costes energéticos. También en Europa existen varias experiencias en agricultura urbana integrada en edificios como son la Ferme Ouverte en Sanit Denis donde cultivan un invernadero de 360 m<sup>2</sup> instalado sobre un edificio de servicios, el invernadero FRESH instalado sobre la cantina del IFSB en Luxemburgo o la Serre'ure, un invernadero de 198 m<sup>2</sup> en la universidad de Liège (Bélgica) todos ellos promovidos por el proyecto GROOF (Groof Project 2018). Así mismo, en Bélgica, el proyecto Ferme Abattoir de Bruselas integra producción vegetal y acuicultura en un mismo sistema en la azotea de un antiguo matadero reconvertido, sirviendo como modelo de economía circular urbana. Estos casos demuestran que la agricultura en terrazas no es solo una visión futurista, sino una realidad en expansión. No obstante, su implementación conlleva retos técnicos, estructurales y normativos que deben ser considerados. Desde la carga que puede soportar un techo hasta el acceso a agua, energía o las normativas urbanísticas, cada proyecto requiere planificación cuidadosa y soluciones adaptadas al entorno.



**Figura 1.** La agricultura urbana, en terrazas de edificios, representa una alternativa para aprovechar los espacios en las ciudades.

En Cataluña existen diversas experiencias de cultivo en azoteas que reflejan una tradición creciente en el ámbito de la agricultura urbana. Destaca el programa "[Hort al Terrat](#)", impulsado por el Ayuntamiento de Barcelona desde 2016, que promueve el cultivo en cubiertas de edificios municipales con la participación activa de personas con diversidad funcional. Esta iniciativa no solo produce alimentos, sino que también genera inclusión social y espacios de aprendizaje. Otro ejemplo relevante es el proyecto ubicado en el mercado de la Vall d'Hebron, donde se han habilitado 1.750 m<sup>2</sup> de cultivo urbano en la azotea del equipamiento. En este espacio se culti-

van parcelas hortícolas gestionadas por escuelas y entidades sociales del barrio, combinando educación ambiental, producción local y dinamización comunitaria. Estas experiencias demuestran que la agricultura en azoteas está ganando terreno en las ciudades catalanas, ofreciendo soluciones innovadoras para reverdecer los entornos urbanos, fomentar la participación social y acercar la producción alimentaria al corazón de la vida cotidiana.

## ICTA y BINAFFET: espacios de investigación en agricultura urbana

El Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la Universidad Autònoma de Barcelona (UAB) y el Grup d'Investigació i Innovació en Construcció (GRIC), en colaboración con la Fundació Miquel Agustí (FMA), de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC) han diseñado dos laboratorios agrourbanos para investigar sistemas de producción hortícola en invernaderos integrados en edificios (Tabla1).

### Invernaderos integrados al edificio en el ICTA-UAB

El edificio del ICTA-UAB (2014) alberga dos invernaderos integrados de 120 m<sup>2</sup> cada uno, ubicados en la cubierta del edificio, diseñado con criterios de alta eficiencia energética. Cada invernadero está equipado con más de 70 sensores en línea (temperatura, humedad relativa, humedad del sustrato, radiación PAR y solar, viento, etc.) y cuatro registradores de datos, lo que permite un control climático detallado en tiempo real. El sistema de riego funciona mediante el aprovechamiento de agua de lluvia, distribuida por goteo y permite ges-

tionar seis sectores de cultivo con dos circuitos independientes. Esta estructura facilita la experimentación con distintos manejos hídricos y nutricionales, en condiciones reales. En estos invernaderos se cultivan principalmente judías, lechugas y tomates. Además, el sistema está estrechamente vinculado con las infraestructuras del edificio, que utiliza geotermia, materiales reciclados y tecnología LED, y permite el aprovechamiento energético, hídrico y ambiental a través de un enfoque integral.



**Figura 2.** El Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA-UAB) dispone de un invernadero para cultivos urbanos en la azotea del edificio, siendo uno de los laboratorios pioneros en Cataluña para estudiar la agricultura urbana integrada en edificios.

### Invernaderos BINAFFET conectados al edificio en la UPC

El proyecto BINAFFET (2022–2024), financiado por la Agencia Estatal de Investigación y fondos Next Generation EU, tiene por objetivo desarrollar prototipos de invernaderos integrados en edificios que sean capaces de reutilizar flujos residuales del propio inmueble, como el calor, el CO<sub>2</sub> y el agua, para alimentar los cultivos hortícolas de manera controlada. El proyecto combina inteligencia artificial y técnicas de control predictivo para optimizar tanto la producción como el impacto energético y ambiental del sistema. Su visión es contribuir al desarrollo de ciudades más circulares, resilientes e inteligentes. En el marco del proyecto, se ha diseñado Airgilab, un living lab de agricultura urbana pionero ubicado en el edificio TR5 de la Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT-UPC). Consta de dos invernaderos de 15 m<sup>2</sup>, conectados directamente con un aula y un despacho adyacente a través del sistema de ventilación del edificio. En este sistema, los cultivos absorben el CO<sub>2</sub> producido por las personas usuarias del aula, lo transforman en oxígeno mediante la fotosíntesis y, si las

condiciones lo permiten, devuelven aire limpio al interior del edificio. Los invernaderos están equipados con sensores, vidrios fotovoltaicos y sistemas de monitorización avanzada, y permiten evaluar una alternativa de ventilación más sostenible, saludable y eficiente energéticamente.



**Figura 3.** El invernadero Airgilab construido en el edificio de la ESEIAAT está conectado a las aulas, permitiendo el intercambio de calor y gases para favorecer el crecimiento de las plantas.

Laboratorio	Superficie	Tecnología clave	Función principal
ICTA-UAB	2 x 120 m <sup>2</sup>	Cultivo hidropónico, sensórica avanzada, uso de agua de lluvia	Experimentación agrourbana en condiciones reales de cubierta
Airgilab-UPC	2 x 15 m <sup>2</sup>	Integración con ventilación, sensores, vidrio fotovoltaico	Prototipo para mejorar la calidad del aire y eficiencia energética

**Tabla 1.** Laboratorios de agricultura urbana: características principales.

## El cultivo de hortalizas en invernaderos urbanos

El cultivo de hortalizas en invernaderos urbanos puede adoptar diferentes formas según el espacio disponible, los recursos energéticos y hídricos, y los objetivos del proyecto (producción, investigación, educación, sostenibilidad). Los sistemas más utilizados son el cultivo fuera suelo en sustrato orgánico en tiestos y el cultivo hidropónico. Ambos sistemas presentan ventajas e inconvenientes que deben valorarse en función del contexto y de los recursos dis-

ponibles (Tabla2). Cada uno de estos sistemas puede adaptarse a distintas realidades urbanas y objetivos. En proyectos comunitarios o educativos, los tiestos con sustrato orgánico pueden ser una excelente opción por su simplicidad. En cambio, para iniciativas orientadas a una producción intensiva y tecnificada, la hidroponía ofrece mayores niveles de eficiencia y control.

	Ventajas	Inconvenientes
Cultivo en tiestos con sustrato orgánico	Bajo coste inicial Requiere poco equipamiento técnico Fácil de manejar para actividades educativas o comunitarias	Menor control sobre la fertilización Requiere mayor cantidad de sustrato y puede aumentar la carga estructural del edificio
Cultivo hidropónico	Elevada eficiencia en el uso de recursos Mayor control sobre la nutrición de las plantas Mayor rendimiento	Requiere conocimientos técnicos elevados Depende del suministro eléctrico (bombas, sensores)

Tabla 2. Ventajas e inconvenientes del cultivo en tiestos y el cultivo hidropónico.



Figura 4. El cultivo en tiestos en invernaderos urbanos es la mejor estrategia si te estás iniciando en la agricultura urbana. Utiliza tiestos de un volumen superior a 8 L para facilitarte el manejo, y una buena mezcla de sustratos para fomentar la retención de agua y aporte de nutrientes.

## El sustrato

El sustrato es un elemento clave en el cultivo de hortalizas, ya que actúa como soporte para las raíces y medio para la retención de agua y nutrientes. En los invernaderos urbanos, el tipo de sustrato empleado dependerá del sistema de cultivo utilizado, siendo los más comunes el cultivo en tiestos con sustrato orgánico y el cultivo hidropónico en medios inertes.

### Sustratos orgánicos en tiestos

- Los cultivos en tiestos suelen emplear mezclas de sustratos orgánicos. Entre los sustratos más utilizados destacan:
- Turba de Sphagnum: alta capacidad de retención de agua, ideal para la germinación, pero propensa al encharcamiento si no se mezcla con materiales más aireados.
- Fibra de coco: excelente capacidad de retención de agua y nutrientes, muy estable estructuralmente; puede mezclarse con perlita para mejorar el drenaje.
- Vermiculita y perlita: materiales ligeros que mejoran la aireación del sustrato y retienen nutrientes.
- Sustrato hortícola: consiste en la mezcla de diferentes materiales inorgánicos, tales como arena y arcilla, y orgánicos, tales como turba, compost, corteza de pino y fibra de coco.

Existentes diferentes tipos de mezclas recomendadas en la literatura, como por ejemplo una mezcla de turba de Sphagnum (50%) y vermiculita (50%) o una mezcla de sustrato hortícola (50%), turba de Sphagnum (25%) y perlita (25%). La elección de la mezcla dependerá del cultivo a implantar y el volumen del tiesto.

Con el fin de mantener un buen nivel de nutrientes en el sustrato, es importante gestionar bien la fertilidad. Acorde con la literatura, y en general para cultivos hortícolas, las concentraciones óptimas y rangos aceptables de nutrientes en los sustratos se presentan en la Tabla 3.

Elemento	Óptimo (mg/L)	Rango aceptable (mg/L)
Bicarbonato	<60	0-60
Nitrato	560	370-930
Amonio	<10	0-10
Fósforo	30	15-45
Potasio	200	160-270
Calcio	200	160-280
Magnesio	50	25-70
Sulfato	200	100-500
Boro	0.4	0.2-0.8
Cobre	0.04	0.02-0.1
Hierro	0.8	0.4-1.1
Manganeso	0.4	0.2-0.8
Zinc	0.3	0.2-0.7

Tabla 3. Concentraciones óptimas y rangos aceptables de nutrientes en sustratos.

Sustratos para cultivo hidropónico

En los sistemas hidropónicos, el sustrato no proporciona nutrientes, por lo que su función principal es física: dar soporte y permitir un entorno adecuado para el desarrollo radicular. Entre los medios más comunes se encuentran:

- ✓ Lana de roca: muy común en cultivo comercial de tomates. Permite un control preciso de la humedad, aunque requiere monitoreo para evitar acumulación de sales.
- ✓ Perlita o arena volcánica: buenos para drenaje y reutilizables, aunque deben ser lavados entre ciclos de cultivo.
- ✓ Grava o arcilla expandida: más pesados, pero útiles en sistemas con recirculación de solución nutritiva.

El control del pH y la conductividad eléctrica (EC) del sustrato es esencial en ambos siste-

mas, y en el caso del cultivo hidropónico se debe evitar la acumulación de sales disueltas mediante un manejo adecuado de la solución nutritiva y el lavado periódico del medio inerte. En los sistemas hidropónicos, la planta obtiene todos sus nutrientes esenciales a través de una solución nutritiva disuelta en el agua. A diferencia del cultivo en suelo, donde los nutrientes pueden ser liberados gradualmente por el sustrato, en la hidroponía es fundamental proporcionar una mezcla balanceada y controlada.

Una de las formulaciones más utilizadas en el cultivo hidropónico de hortalizas, especialmente en tomate, es la desarrollada por Hoagland y Arnon (1950). Esta solución, validada ampliamente en investigación y producción, contiene los macro y micronutrientes necesarios para un desarrollo óptimo (Tabla 4).

a) Macronutrientes

Elemento	Forma iónica	Rango típico (mg/L)	Solución Hoagland (mg/L)
Nitrógeno	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	100–200	242 (nitrato)
Fósforo	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> / HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	30–50	31
Potasio	K <sup>+</sup>	100–200	232
Calcio	Ca <sup>2+</sup>	100–200	224
Magnesio	Mg <sup>2+</sup>	30–70	160-270
Azufre	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	—	113

Tabla 4. Composición estándar de la solución nutritiva de Hoagland y Arnon (1950).

b) Micronutrientes

Elemento	Rango típico (mg/L)	Solución Hoagland (mg/L)
Boro (B)	0.2 – 0.4	0.45
Cobre (Cu)	0.01 – 0.1	0.02
Hierro (Fe)	2 – 12	7.0 (quelado)
Manganeso (Mn)	0.5 – 2.0	0.50
Molibdeno (Mo)	0.05 – 0.2	—
Zinc (Zn)	0.05 – 0.10	0.45

Variedades adaptadas a la agricultura urbana

En cada especie cultivada, la diversidad varietal que podemos encontrar es muy grande, y la elección de la variedad dependerá de las características que estemos buscando, tanto a nivel de comportamiento agronómico como de características de calidad. En el contexto de la agricultura urbana, especialmente en cultivos realizados en terrazas e invernaderos integrados en edificios, es crucial considerar la capacidad de adaptación de las variedades a ambientes controlados, limitaciones de espacio y condiciones lumínicas específicas. Podemos clasificar las variedades según su origen histórico, existiendo las variedades tradicionales y las variedades mejoradas. Las variedades tradicionales son aquellas que han sido seleccionadas por los agricultores generación tras generación, y en muchos casos presentan adaptación a las condiciones agroclimáticas de la zona en las que fueron selecciona-

das. Por ello, es posible que estas variedades no muestren una buena adaptación a un sistema de cultivo nuevo como es la agricultura urbana integrada en terrazas de edificios. Las variedades mejoradas, por el contrario, son el resultado de la selección realizada por mejoradores de plantas, utilizando los conocimientos científicos de la mejora genética vegetal. Son variedades que presentan, en muchos casos, un alto rendimiento, y buena adaptación a condiciones de cultivo fuera suelo. No obstante, como en el caso de las variedades tradicionales, la mayoría de ellas han sido seleccionadas para cultivo al aire libre o en invernaderos convencionales, por lo que es posible que no presenten buena adaptación a las nuevas condiciones de cultivo. Según Teo et al. (2024), los cultivos en entornos urbanos e invernaderos verticales requieren variedades adaptadas específicamente a ambientes controlados.

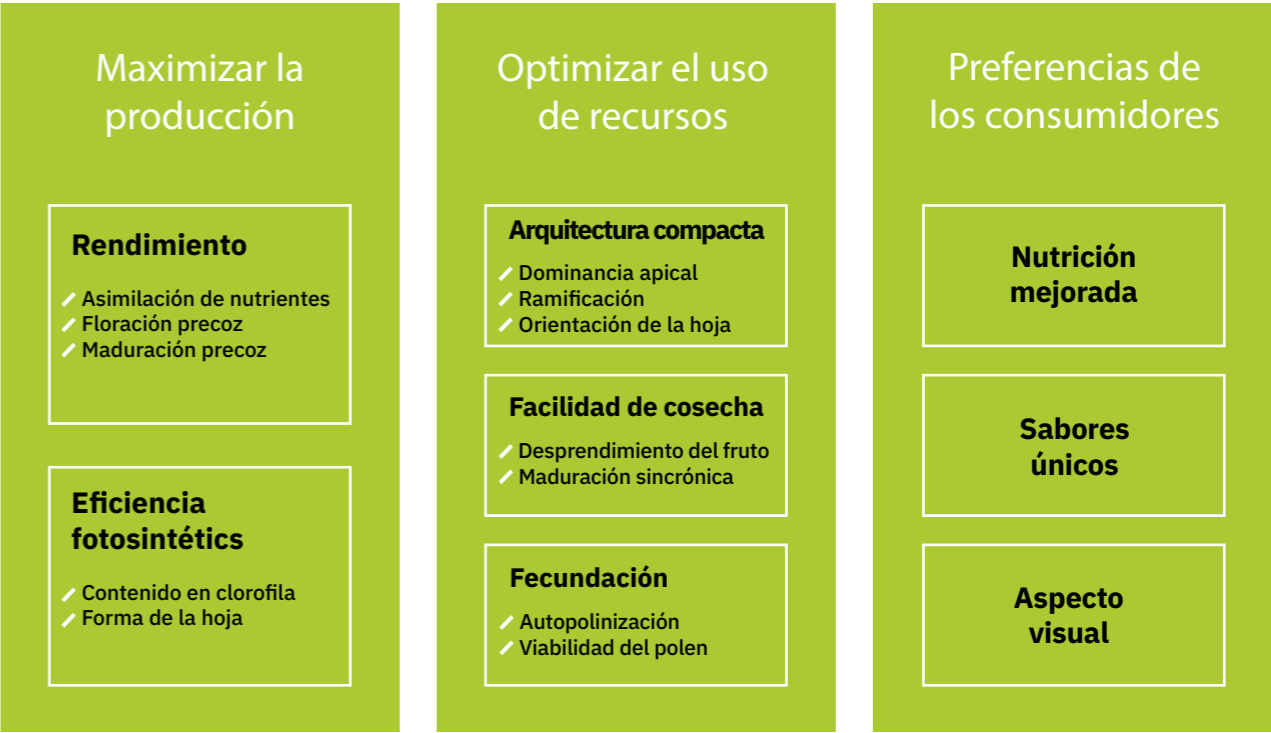


Figura 5. Optimización de caracteres para cultivos adaptados a la agricultura urbana (adaptado de Teo et al. (2024)).

## El tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las especies más cultivadas en agricultura urbana. Existen muchas variedades de tomate, tanto tradicionales como mejoradas. Los equipos de investigación del ICTA y la UPC han utilizado en sus ensayos las variedades Montgrí (variedad tradicional) y Aurea (variedad mejorada, De Ruiter Seeds). Ambas variedades han mostrado una buena adaptación a las condiciones de cultivo de los invernaderos integrados en edificios, tanto en cultivo en macetas como en cultivo hidropónico.

Debido a la falta de espacio típica de los entornos de la agricultura urbana, una recomendación para personas que se estén iniciando

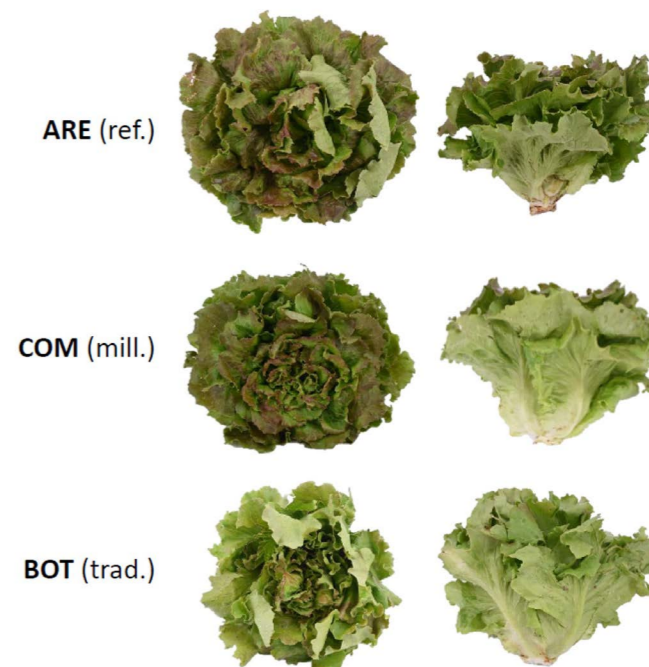
en el cultivo urbano, es empezar por cultivar variedades de tipo Cherry. Estas variedades son más fáciles de cultivar, dado que el cuajado del fruto es mayor que en variedades de tomate de ensalada. Aparte de las variedades comerciales que podrás encontrar en el mercado, existe una variedad experimental que está muy adaptada al cultivo en espacios reducidos: MicroTom. Como su nombre indica, se trata de una planta muy compacta y con un crecimiento reducido. Puedes encontrar semillas en tiendas de jardinería.



**Figura 6.** La tomatera es una de las especies más cultivadas en agricultura urbana. Su cultivo no es fácil, especialmente en la etapa de floración, que es la más crítica del cultivo.

## La lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa*), por su facilidad de cultivo y adaptación a condiciones frías, es otra especie muy cultivada en agricultura urbana. Su facilidad de cultivo y precocidad para llegar al estado de cosecha la hacen una especie bien adaptada a los requerimientos de los sistemas de cultivo urbanos. En los estudios realizados por los equipos del ICTA y la UPC se ha evaluado la adaptación de tres variedades de lechuga tipo maravilla: Commodore (variedad mejorada, Rijk Zwaan), Arena (variedad mejorada, Vilmorin), Bot (variedad tradicional). Las tres variedades han presentado una buena adaptación al cultivo en invernaderos urbanos, siendo buenas candidatas para iniciarse en el cultivo en invernaderos integrados en edificios.



## La judía

La judía (*Phaseolus vulgaris*) es una especie que conlleva mayor dificultad, dada su sensibilidad a condiciones climáticas de baja o altas temperaturas y la longitud del ciclo. No obstante, el ICTA y la UPC han realizado, con éxito, pruebas para cultivar judías en invernaderos integrados en edificios. Las variedades evaluadas han sido Manresa (variedad tradicional), Nassau (variedad mejorada, Semillas Batlle) i Romano (variedad mejorada, Semillas Fitó). Las tres variedades han manifestado buena adaptación al ambiente de cultivo de los invernaderos integrados en edificios, por lo que son buenas candidatas. No obstante, se recomienda su cultivo para personas con experiencia en la gestión de cultivos urbanos.



**Figura 7.** El cultivo de la judía es de los más difíciles en agricultura urbana. Lleva las plantas hasta la fructificación y cosecha las vainas cuando estén verdes. Si quieres cosechar la judía seca deberás esperar a que la vaina madure y se seque (izquierda de la imagen).

## Manejo y automatización del clima

El control climático en invernaderos urbanos integrados en edificios es uno de los factores más determinantes para el éxito del cultivo, ya que permite optimizar el crecimiento vegetal, mejorar la calidad de la producción y minimizar los riesgos asociados a enfermedades o estrés ambiental (Gómez et al., 2019). En estos sistemas, el manejo automatizado de variables como la temperatura, el déficit de presión de vapor, la concentración de CO<sub>2</sub> y la iluminación artificial resulta fundamental para asegurar una producción eficiente y sostenible a lo largo del año.

### Temperatura y humedad relativa

La temperatura afecta directamente el desarrollo fenológico de las plantas, la velocidad de crecimiento y la transpiración. En climas templados, mantener temperaturas de entre 18 °C y 25 °C durante el día, y entre 15 °C y 18 °C durante la noche, se considera óptimo para cultivos como tomate o lechuga.

El déficit de presión de vapor (DPV) es un mejor indicador que la humedad relativa para gestionar el ambiente de cultivo en un invernadero. Un DPV entre 0,5 y 1,0 kPa es ideal para cultivos en ambientes controlados, ya que maximiza la transpiración sin inducir deshidratación ni enfermedades fúngicas. Valores de DPV muy bajos (<0,3 kPa) pueden favorecer la aparición de pudriciones como la necrosis apical en tomate, mientras que valores demasiado altos (>1,2 kPa) dificultan la apertura estomática. El manejo del DPV puede automatizarse mediante sensores de temperatura y humedad, combinados con sistemas de ventilación, calefacción o deshumidificación. En regiones frías, se recomienda el uso de bombas de calor con función de deshumidificación para evitar pérdidas energéticas por ventilación nocturna.

### Enriquecimiento con CO<sub>2</sub>

En ambientes cerrados o semicerrados, como los invernaderos urbanos en azoteas, la concentración de CO<sub>2</sub> puede caer por debajo del nivel atmosférico (~400 ppm) debido a la alta densidad de plantas. Esto limita la fotosíntesis y, por ende, la productividad. Diversos estudios han demostrado que elevar la concentración de CO<sub>2</sub> hasta 800–1000 ppm puede incrementar el rendimiento de cultivos hortícolas entre un 25% y un 60%, especialmente en especies de hoja como lechuga (Pérez-López et al., 2015). En invernaderos integrados en edificios, el CO<sub>2</sub> puede proceder de fuentes externas (inyección directa de gas) o ser recuperado del propio edificio. Este último enfoque está siendo evaluado, por ejemplo, en el laboratorio Airgilab (UPC), donde se conecta el invernadero al sistema de ventilación de aulas para captar el CO<sub>2</sub> exhalado por las personas usuarias.

## Iluminación artificial y espectro lumínico

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) es esencial para el crecimiento vegetal. La necesidad diaria de luz de la mayoría de cultivos hortícolas se sitúa entre 12 y 30 mol·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>. En muchas ciudades, especialmente en invierno, los niveles de radiación solar no son suficientes, por lo que es necesario el uso de iluminación artificial suplementaria. Los LEDs se han convertido en la tecnología de elección, gracias a su eficiencia energética, su bajo calor radiante y su capacidad para modular el espectro de luz. Los espectros más utilizados combinan luz roja (600–700 nm) y azul (400–500 nm). Además, se están desarrollando técnicas de iluminación dinámica o inteligente (como el uso intracanopial o intermitente), que permiten reducir el consumo energético sin afectar negativamente la producción.



**Figura 8.** El uso de iluminación artificial mediante LEDs es una estrategia útil para incrementar el rendimiento en cultivos dentro de invernaderos urbanos, especialmente en períodos de baja radiación solar como el invierno.

### Bibliografía

- Benton J. 2008.** *Tomato plant culture. In the field, greenhouse and home garden.* Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gómez C, Currey CJ, Dickson RW, Kim H-J, Hernández R, Sabeh NC, Raudales RE, Brumfield RG, Laury-Shaw A, Wilke AK, et al. 2019.** Controlled environment food production for urban agriculture. *HortScience* **54**: 1448–1458.
- Hoagland DR, Arnon DI. 1950.** *The water-culture method for growing plants without soil.*
- Pérez-López U, Miranda-Apodaca J, Lacuesta M, Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A. 2015.** Growth and nutritional quality improvement in two differently pigmented lettuce cultivars grown under elevated CO<sub>2</sub> and/or salinity. *Scientia Horticulturae* **195**: 56–66.
- Teo ZWN, Yu H. 2024.** Genetic breeding for indoor vertical farming. *npj Sustainable Agriculture* **2**: 13.
- GROOF Project 2018.** <https://www.urbanfarming-greenhouse.eu/feedbacks>

## Caso práctico ICTA-UAB

En la experiencia del grupo de investigación Sostenipra en el cultivo de tomate en el invernadero integrado en el edificio ICTA se han observado algunos problemas recurrentes. A continuación, se detallan algunos de estos y se aportan las soluciones adoptadas en el invernadero.

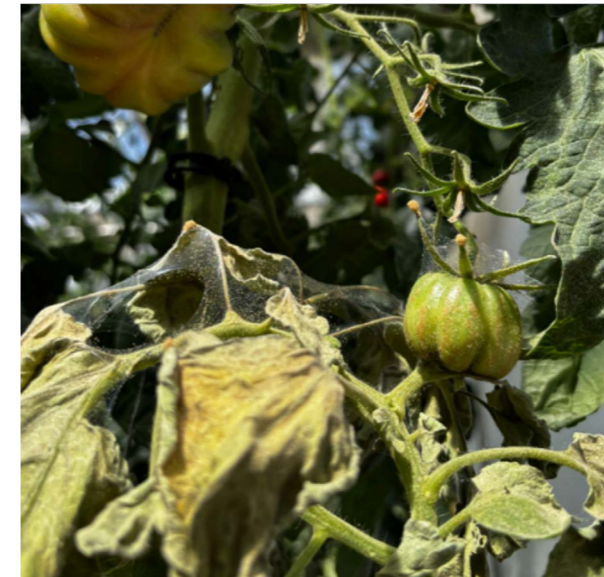
### Necrosis apical de frutos

Se trata de una fisiopatía causada por el transporte deficiente del calcio en el interior de la planta. En los frutos afectados aparece una mancha oscura y hundida en la parte inferior, que primeramente es blanda y después se seca. Esta mancha deprecia el fruto comercialmente.



El aumento del calcio en la solución nutritiva o la aplicación de calcio foliar puede ayudar, pero normalmente no soluciona el problema. Por otro lado, el manejo del riego es la principal herramienta para evitar la aparición de esta fisiopatía. Se debe tratar de realizar riegos regulares y nunca en las horas de máxima insolación. También ayuda la instalación de mallas de sombreo en las horas de máxima radiación y elevada temperatura, elevar la humedad relativa con nebulizadores y la estimulación del crecimiento radicular separando los emisores de riego del pie de la planta.

### Araña roja



Este ácaro (*Tetranychus urticae*) se alimenta absorbiendo el contenido de las células epidérmicas de la planta. Decolora las hojas y, cuando hay poblaciones elevadas del ácaro, estas se desecan defoliando la planta. Se puede observar a simple vista como pequeños puntos de color rojizo entre sus hilos de seda en la superficie de la hoja.

### Ácaro del bronceado



Es un ácaro (*Aculops lycopersici*) con capacidad para extenderse a gran velocidad por la planta y que se alimenta del contenido de las células de la epidermis. Los individuos no son observables a simple vista, pero si los daños causados por estos. La plaga empieza a extenderse por la planta oscureciendo el tallo desde la parte inferior hacia arriba; en fases más avanzadas se secan las hojas y en los frutos se agrieta y endurece la piel.

Estos dos ácaros pertenecen al mismo orden taxonómico por lo que las acciones para prevenirlos coinciden para ambas plagas. Les favorecen las altas temperaturas y el ambiente seco, por lo que la instalación de riegos por aspersión, nebulizadores o mallas de sombreo para refrescar y humedecer el ambiente es una buena medida preventiva. También hay que tener en cuenta no transportar la plaga a través de la ropa de trabajo y levantar el cultivo correctamente al final del ciclo para evitar que se instale permanentemente en el invernadero.

Research team

**UAB** Universitat Autònoma  
de Barcelona

**sostenipra**  
Sostenibilitat i Prevenció Ambiental

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

 Fundació  
Miquel Agustí

**GRIC**   
GROUP OF CONSTRUCTION  
RESEARCH AND INNOVATION  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



## BINAFET: Building Integrated Agriculture for an Effective Ecological Transition

Project TED2021-130047B-C22

Funded by CIN/AEI/10.13039/501100011033 and the European Union "NextGenerationEU" / PRTR