

Aspectos técnicos de la Agricultura Urbana

Table of contents

Información general sobre el capítulo	3
Resultados del aprendizaje	4
Contenidos y recursos	5
Subcapítulo 1: Sistemas tradicionales de Agricultura Urbana (UA)	5
1.1. Proyectos de Agricultura Urbana apoyada por la comunidad	5
SUBCAPÍTULO 2: Sistemas innovadores de AU.	12
2.1. Huerto en azotea	12
2.2. Acuaponía urbana	20
2.3. Agricultura vertical	26
SUBCAPÍTULO 3: Residuos y ciclos del agua en el contexto urbano.	31
3.1. Compostaje urbano	32
3.2. Ciclo del agua en el contexto urbano	32
Conceptos clave y vocabulario	33
Sección de evaluación	34
Actividades / ejercicios	39
Recursos útiles	40
Bibliografía, referencias y links para ampliar conocimientos.	41

Capítulo nº2

TITULO: Aspectos técnicos de la Agricultura Urbana

Autores: Giuseppina Pennisi, Elisa Appolloni, Ivan Paucek, Alessandro Pistillo

Introducción

En este capítulo se presentan e ilustran diversas tipologías de agricultura urbana que se pueden encontrar en ciudades de todo el mundo. Se distingue entre sistemas tradicionales e innovadores. Entre los sistemas tradicionales, se toma como ejemplo la agricultura urbana apoyada por la comunidad y se describe con más detalle. Entre los sistemas innovadores, se describen y detallan los huertos en azoteas, la acuaponía urbana y las explotaciones verticales. Cada sistema será analizado en términos de sus características, ubicación, funciones, aspectos técnicos, retos de desarrollo y necesidades de apoyo.

El objetivo del módulo es responder a la pregunta: "¿Qué debo tener en cuenta, desde el punto de vista técnico, si decido iniciar un proyecto de agricultura urbana?"

Duración: 12 horas – La duración de este módulo es de ocho horas de clase y cuatro horas de práctica de los ejercicios junto con recursos adicionales.

Información general sobre el capítulo

Resultados del aprendizaje

Al finalizar el Capítulo 2, los participantes deberán ser capaces de...

Conocimientos	Habilidades técnicas	Habilidades sociales
<ul style="list-style-type: none"> ● Conocer las diferentes tipologías de iniciativas de AU orientadas al negocio ● Conocer las características específicas de la Agricultura Sostenida por la Comunidad (Community Supported Agriculture- CSA), la agricultura en azoteas, la agricultura vertical y la acuaponía ● Conocer el ciclo y la gestión de los residuos en contextos urbanos ● Comprender el ciclo del agua en un contexto urbano y saber cómo se puede reciclar el agua mediante iniciativas de AU 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ser capaz de identificar los principales pasos para construir una CSA ● Ser capaz de saber cuáles son los retos relacionados con un emplazamiento donde establecer una CSA urbana ● Ser capaz de distinguir los propósitos agrícolas de un huerto en azotea. ● Ser capaz de elegir un emplazamiento utilizable para un huerto en azotea ● Ser capaz de determinar un sistema acuapónico 	<ul style="list-style-type: none"> ● Comunicar sobre las tipologías de agricultura urbana, y sus ventajas y desventajas ● Crear una iniciativa de agricultura urbana, y relacionarla con un contexto local; ● Conocer los problemas más comunes a la hora de desarrollar una iniciativa de agricultura urbana, y desarrollar la capacidad de resolución de problemas

Contenidos y recursos

Subcapítulo 1: Sistemas tradicionales de Agricultura Urbana (UA)

La agricultura puede adoptar diversas formas en contextos urbanos, contribuyendo al abastecimiento de alimentos y a la sostenibilidad medioambiental urbana (**Taylor y Taylor Lovell, 2014**). Los huertos familiares y los huertos comunitarios son las formas más antiguas y conocidas de los sistemas agrícolas urbanos tradicionales. La primera tipología se dedica principalmente a la autoproducción, la segunda al compromiso social y a la creación de comunidades (**Orsini et al., 2020a**). Por otro lado, la agricultura urbana sostenida por la comunidad (en lo sucesivo CSA) se dedica principalmente al negocio y a la generación de ingresos. En esta sección, hemos decidido describir con mayor profundidad sólo la CSA urbana, como tipología de AU orientada a los negocios. Sin embargo, en la sección Recursos útiles, al final del módulo, se indican varios recursos externos relacionados principalmente con el desarrollo y la gestión de huertos comunitarios.

1.1. Proyectos de Agricultura Urbana apoyada por la comunidad

El concepto que subyace a la agricultura apoyada por la comunidad (CSA) es encontrar una forma de sostener la agricultura y a los agricultores asegurando que un agricultor (o un grupo de agricultores) tenga un mercado para sus cosechas. La idea principal es que un grupo de consumidores se reúna con los agricultores de su entorno. Juntos, comparten los costes de la campaña agrícola, incluyendo el alquiler de la tierra, las semillas, las herramientas y los salarios de los agricultores. Y luego, comparten los productos de la explotación.

Pueden existir distintas tipologías de CSA urbanas o periurbanas, cada una de ellas caracterizada por determinadas características y métodos de gestión.



Tipología de CSA urbana



Figura 1. Tipologías de CSA Urbana (rediseñado de **Pilley, 2001**).

Una CSA bien diseñada en una comunidad urbana o periurbana puede producir alimentos, pero también puede servir como motor económico que dé empleo a un agricultor y al resto del personal. Aunque el desarrollo y las características de cada CSA vienen determinados por la ubicación, las circunstancias y la comunidad, hay algunos pasos fundamentales que se debe tener en cuenta quien desee emprender esta actividad. En los siguientes apartados describiremos con más detalle los pasos que consideramos fundamentales.



Ocho pasos a tener en cuenta para su CSA



Figura 2. Ocho pasos a tener en cuenta para el desarrollo de un CSA urbano.

Grupos de interés.

Para desarrollar una CSA urbana, es necesario crear dos grupos de personas, además de los agricultores.

El primero está compuesto por los consumidores, miembros que se comprometen con la CSA y perpetúan el compromiso durante el tiempo. Normalmente, se guían por diferentes razones: alimentarse mejor, formar parte de un movimiento de alimentos producidos localmente, ayudar al medio ambiente, apoyar a los productores. Este grupo de personas puede ponerse en contacto utilizando diversas estrategias: publicando el CSA urbano a través del periódico local, mediante material gráfico (trípticos), presentándose en centros cívicos o vecinales, participando en la radio local.

El segundo es el grupo central, que se encargará de todas las actividades de gestión de la CSA más allá del cultivo, por ejemplo, la captación de miembros, la comunicación, la distribución de alimentos, las finanzas y la organización de eventos. Los agricultores pueden formar parte del grupo central, pero si no es así, el grupo central es la conexión entre los agricultores y los consumidores. Normalmente, el grupo central está formado por miembros de la CSA pertenecientes al grupo de consumidores, elegidos por una asamblea general.

La localización

Para facilitar la gestión de una CSA urbana, al principio de la actividad se necesitan unas 0,5 ha de terreno para 30 inscritos a la CSA, aunque esto también puede depender de los

cultivos que se realicen (por ejemplo, se necesita más terreno para cultivar calabazas, patatas o árboles frutales). Además, si se dispone de un invernadero, se necesita menos terreno porque los agricultores podrán realizar sucesivas plantaciones durante el año. Sin embargo, es necesario ser previsor, porque si se va a construir un invernadero será necesario mucho tiempo y (en algunos casos) dinero y, en un contexto urbano, pueden requerirse permisos de construcción (**Schenk y Hotchkiss, 2014**).

Además, cuando se empiece a cosechar los productos, será necesario un lugar para almacenar y distribuir la mercancía. Dependiendo del espacio disponible, el tiempo de distribución puede organizarse de diferentes maneras. Si el espacio es pequeño, se organizan los horarios de recogida de forma escalonada. Si no se dispone de suficiente personal, se organiza el espacio para que los socios puedan acceder y seleccionar sus productos de forma independiente. Por último, si se dispone de un espacio reducido pero varios miembros del personal disponibles, se organizan las cajas con productos para que los miembros pueda recogerlas rápidamente.



Figura 3. Etapas para encontrar una localización adecuada para una CSA urbana.

Una vez seleccionado la localización adecuada se podrá comenzar la actividad de la CSA. Pero todavía hay algunos desafíos relacionados con el emplazamiento que deben tenerse en cuenta.



Desafíos de la localización



ZONIFICACIÓN

- Busca las normas de zonificación existentes en la ciudad;
- La prohibición de la venta in situ es un problema potencial en una zona residencial/no comercial;
- Si incluye animales, puede encontrar tanto cuestiones de zonificación como de sanidad a tener en cuenta;
- Puede haber restricciones al compostaje.



CONTAMINACIÓN

- Analizar el suelo en busca de metales pesados u otros contaminantes;
- Puede recurrir a laboratorios privados o universitarios para los análisis;
- Si el suelo necesita ser mejorado, su agricultor podrá orientarle sobre lo que hay que hacer para que la tierra sea cultivable;
- también puede cultivar fuera del terreno



DISPONIBILIDAD DE AGUA

- Las plantas y los animales necesitan agua y no se puede contar sólo con la lluvia;
- Condiciones diferentes si se cultiva en patios de vecinos, en terrenos baldíos o en propiedad pública;
- Considera la posibilidad de recoger el agua de lluvia en barriles u otros recipientes grandes.

Figura 4. Otros desafíos relacionados con la localización para una CSA urbana.

Establecer el importe de la cuota y los precios.

En una CSA urbana, cada miembro recibe una parte de la producción total, pero es fundamental intentar cuantificar y establecer el precio de la cuota. El coste de una cuota debe reflejar los costes totales de producción y considerar también un salario para el agricultor o productor. Normalmente, hay dos formas de establecer el importe de la cuota. La primera consiste en considerar lo que un ciudadano gasta normalmente en productos frescos cada semana, y ofrecer el equivalente en productos de la CSA a precios de mercado.

La segunda, más sofisticada, es preparar un presupuesto estimado al principio de la temporada, y fijar un precio en base al número de miembros y a los costes que se deben afrontar durante esta temporada. El presupuesto debe tener en cuenta los gastos, como las semillas, el equipo, los salarios del personal (al menos un agricultor, y posiblemente un ayudante de agricultor y un gestor de la explotación o coordinador de la CSA), los costes de la tierra, los costes del agua y otros gastos (por ejemplo, seguros, reparaciones y mantenimiento, impuestos). De este modo, al final de la temporada pueden cobrarse los déficits, o devolverse los fondos sobrantes, o guardarlos para la temporada siguiente.

También hay que tener en cuenta la economía de escala: con el aumento del número de socios los costes fijos se reparten entre más personas. Por lo tanto, tiene sentido fijar el precio de la cuota teniendo en cuenta la rentabilidad del menor número de miembros que la CSA puede alcanzar. Y luego bajar el precio, si más personas se unen a la CSA.

En una CSA urbana, los costes de cultivo pueden reducirse implicando a los miembros en las actividades de trabajo. En este caso, es necesario evaluar cuántas horas de trabajo se necesitan para cada participación. El trabajo puede estar directamente relacionado con el cultivo, con las actividades de compostaje o con las actividades relacionadas con la gestión de la parte comercial de la CSA. En este caso, fijando el precio de una hora de trabajo, conociendo el número de horas de trabajo "incluidas" en la participación, la gente puede pagar en lugar de trabajar.

Actividades agrícolas.

Una buena organización y planificación son fundamentales para el éxito de las actividades y del negocio. La cuantificación de la producción para cubrir las necesidades de los miembros depende de varios factores:

- el número de miembros de la CSA urbana, que ayuda a definir el tamaño de la cuota
- la variedad de productos que la CSA quiere ofrecer
- la importancia de unos productos en comparación con otros (por ejemplo, tomates frente a apio)
- los posibles daños de las cosechas.

Las actividades agrícolas pueden gestionarse utilizando un software específico disponible on line, o creando una especie de plan de cultivos que informe de lo que se siembra, cuándo se trasplanta, la duración del ciclo de cultivo, cuándo se cosecha, qué se planta y qué se cosecha en cada semana de la temporada, con rendimientos estimados para cada cultivo.

Algunas publicaciones sugieren que veinte tipos diferentes de verduras y hortalizas, con varias variedades de algunos cultivos como el tomate y la lechuga, es un buen punto de partida para una CSA de tamaño moderado. Al principio, elegir especies que se adapten bien al clima es una opción óptima y menos arriesgada. Una opción interesante podría ser establecer también algunos cultivos perennes (por ejemplo, espárragos o bayas) desde el principio.

Algunos cultivos se pueden cultivar directamente a partir de semillas, pero para muchos otros tipos de productos, se plantarán plántulas iniciadas en interior o en camas frías, en aros de cultivo o algún otro espacio protegido. Por ello, puede ser muy útil encontrar un espacio que se pueda utilizar para esta operación durante el año.

En una CSA, hay que suministrar alimentos a los asociados durante toda la temporada (la duración depende principalmente de las condiciones meteorológicas y de la disponibilidad de un invernadero), por lo que la planificación es esencial. Para satisfacer las necesidades de los asociados, debe planificarse una siembra sucesiva de varios cultivos (por ejemplo, lechuga y otras verduras, tubérculos y judías). En este caso, es muy importante elaborar un calendario de plantación.

Las principales actividades para iniciar y gestionar la producción en una CSA urbana son:

- Preparación del suelo/fertilización: en esta fase es necesario el análisis del suelo para conocer las características físicas y químicas del sustrato de cultivo.
- Compostaje: se deben tener en cuenta la normativa municipal al respecto.
- Preparación del terreno: en un entorno urbano, si se trabaja en el emplazamiento de un antiguo edificio industrial o público, es posible que se considere la posibilidad de construir emplazamientos elevados, ya que el terreno del lugar podría estar contaminado.
- Vivero: si tienes un invernadero, puedes dedicar un lugar dentro de él; otras opciones para sembrar con antelación son las camas frías de construcción sencilla.

- Control de plagas; investiga qué cultivos deberías cultivar juntos para ahuyentar a ciertos insectos (siembra conjunta), y ten en cuenta la rotación de cultivos y los hábitats de los insectos cuando hagas tus planes de plantación.
- Riego; debe ser automatizado y basado en las características del suelo, las condiciones climáticas y la tasa de transpiración de los cultivos.
- Cosecha.

Distribución de la producción.

La solución más sencilla es disponer de un espacio dedicado a la distribución (con una cámara frigorífica) en el mismo lugar donde se cultiva, para evitar transportar los productos cosechados. Las opciones más habituales son las siguientes:

- Cajas compartidas: las ventajas son que cada miembro tiene la misma participación, y supone un ahorro de tiempo para los miembros que sólo tienen que coger su caja e irse. Por otro lado, los miembros no pueden elegir, y la fase de "empaquetado" requiere mucho tiempo.
- Empaquetar por uno mismo: los miembros pueden elegir sus productos y conocer los de los demás, los trabajadores no pierden tiempo en empaquetar los productos; por otro lado, se necesita más espacio y un miembro tarda más en su parte que en recoger una caja.

CSA urbana: un ejemplo en Bolonia (Italia)

Un ejemplo interesante de CSA periurbana es [Arvaia](#), situada en Bolonia (Italia). Arvaia nació en 2013, cultivando vegetales en un terreno de 3 hectáreas. En 2015, Arvaia ganó la licitación del municipio de Bolonia que le asignó toda la superficie, de unas 47 ha, para su gestión con un contrato de 25 años. Pagando el alquiler al Ayuntamiento, Arvaia empezó a cultivar legumbres y cereales en 2016 y a principios de 2017 plantó el primer módulo del futuro huerto, que también proporcionó fruta a sus socios durante unos seis meses al año.



Figura 5. Imágenes de Arvaia CSA.

Arvaia cultiva de forma ecológica, practicando una agricultura sin productos químicos, sostenible para el terreno, intensiva en mano de obra y no en capital, y con un bajo impacto ambiental. Produce verduras y frutas de temporada, sin envases ni pasos intermedios, proporcionándolas directamente a los socios que contribuyen de diferentes maneras a producirlas. Garantiza ingresos para los que trabajan y alimentos sanos accesibles para todos a través del mecanismo de solidaridad de la comunidad que apoya la agricultura.

En la actualidad, Arvaia cuenta con 476 miembros y cultiva 75 variedades, entre hortalizas, frutas y cereales. El precio de las hortalizas es de unos 750 euros al año por "ración". La

ración se distribuye durante 50 semanas al año y se compone de unos 7 kg de verduras por semana.

SUBCAPÍTULO 2: Sistemas innovadores de AU.

Se han desarrollado nuevas tecnologías para hacer frente a la baja fertilidad del suelo y/o la disponibilidad de agua, optimizar el cultivo en espacios limitados y minimizar el impacto de la producción agrícola en el medio ambiente y la salud humana. Dichas tecnologías han demostrado ser eficientes para hacer frente a estas limitaciones, pero deben integrarse en los sistemas agrícolas y alimentarios locales. Para que tengan posibilidades de ser adaptadas, deben ir asociadas a la transferencia de conocimientos y a la asistencia técnica. Algunos de ellos utilizan sustratos naturales y diversos tipos de compost, otros se refieren a sistemas simplificados sin suelo. Estos sistemas de cultivo altamente intensivos encuentran su aplicación en zonas urbanas y periurbanas donde el espacio de cultivo es muy escaso y su uso muy competitivo. En las siguientes secciones se describen los sistemas innovadores de AU más comunes.

2.1. Huerto en azotea

Las explotaciones agrícolas en azoteas es (huertos en azoteas) son una forma de AU innovadora basada en la utilización de la superficie superior de los edificios, que permite superar el problema del espacio cultivable limitado en las ciudades, aprovechando las azoteas de diferentes tipologías de edificios (por ejemplo, oficinas, hospitales, escuelas, supermercados, hoteles, edificios residenciales, etc.). Las tecnologías modernas en azotea se desarrollaron por primera vez en Alemania, Suiza y Escandinavia, como una forma de aumentar la eficiencia ambiental de los edificios, disminuir la escorrentía, aumentar la biodiversidad urbana y contrarrestar el efecto isla de calor urbano (**Caputo et al., 2017**). Los huertos en azoteas pueden desarrollarse tanto en condiciones protegidas (invernaderos en azoteas) como no protegidas (granjas/huertos en azoteas al aire libre), aplicando tecnologías agrícolas avanzadas o domésticas, cultivando en suelo (por ejemplo, contenedores rellenos de tierra, tierra aplicada directamente en la superficie de la azotea) o utilizando sistemas de cultivo sin suelo (por ejemplo, hidroponía, acuaponía) (**Appolloni et al., 2020**).

La realización de un huerto en la azotea debe comenzar por la definición del proyecto, teniendo en cuenta los objetivos de cultivo, las características del lugar, la tipología del huerto, las personas implicadas y la disponibilidad de recursos. La fase de definición será fundamental para tener una idea clara de los retos que se pueden encontrar a lo largo de la realización y el funcionamiento del proyecto.

Finalidad de la explotación.

La definición de los objetivos o finalidades de la explotación es el primer paso que hay que dar al iniciar un proyecto de huerto en azotea. En función del objetivo de la explotación, las experiencias de agricultura en cubierta pueden clasificarse en cinco categorías diferentes: comercial, social, de imagen, de innovación o de calidad de vida urbana (**Thomaier et al., 2015**).



Propósitos de la agricultura en azotea

 Imagen	Cultivo con fines estéticos y de marketing, especialmente aplicado en hoteles, restaurantes y cafeterías que procesan la producción.
 Calidad de la vida urbana	Proyectos para mejorar la calidad de vida de los residentes y empleados urbanos, ofreciendo un espacio verde donde producir sus propios alimentos y recrearse. Suele aplicarse en edificios de viviendas u oficinas
 Comercial	Producción de alimentos con fines lucrativos, a menudo realizada por empresas de nueva creación o empresas agrícolas
 Social y Educativo	Proyectos destinados a la enseñanza de valores sociales y ecológicos, a menudo aplicados en escuelas o instituciones sin ánimo de lucro
 Innovación	Cultivo con fines de investigación e innovación, a menudo aplicado en universidades o centros de investigación

Figura 6. Lista de finalidades de la explotación de un huerto en azotea.

La finalidad del proyecto afectará inevitablemente a la selección de técnicas y tecnologías y al enfoque para diseñar la explotación de huerto en azotea. **Sanyè-Mengual et al. (2015)**, en un estudio que aborda un proyecto experimental en la azotea de una vivienda social en Bolonia (Italia), afirmaron que, teniendo en cuenta el impacto ambiental, el cultivo convencional en tierra en contenedores es más ventajoso en comparación con la hidroponía convencional en los meses de invierno. Por el contrario, si el objetivo es maximizar la productividad, los sistemas hidropónicos pueden permitir un mayor rendimiento en comparación con las técnicas agrícolas convencionales con la misma superficie de cultivo (**Grewal y Grewal, 2012**).

Emplazamiento del proyecto.

Debido a la peculiar ubicación en una azotea, las características del emplazamiento son un aspecto fundamental a tener en cuenta para el desarrollo de un proyecto de explotación eficaz de huerto en azotea. La elección del emplazamiento puede influir en la duración (temporal o permanente), la accesibilidad de los recursos de cultivo, la dimensión de la producción y la propia seguridad del usuario. Por lo tanto, los agricultores de huertos en azotea deben tener en cuenta varios factores antes de poner en marcha su proyecto, adaptando eventualmente el emplazamiento para mantener las mejores condiciones durante el desarrollo de la actividad hortícola (**Germain et al., 2008**).

Uno de los factores que más influyen en la implantación de la agricultura en azotea es la disponibilidad de edificios, que se refiere a la necesidad de que el edificio soporte mayores cargas debido al peso de la tierra y otros equipos. Teniendo en cuenta las cargas estructurales, una clasificación común de las cubiertas verdes considera tres categorías principales en función de la profundidad del sustrato, como se indica en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Principales características del sustrato de las cubiertas verdes extensivas, semiextensivas e intensivas (**Caputo et al., 2017**).

	Extensivo	Semi-extensivo	Intensivo
--	-----------	----------------	-----------

Profundidad del sustrato	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm
Carga estructural	60-150 kg m ⁻²	120-200 kg m ⁻²	180-500 kg m ⁻²
Coste	bajo	periodico	alto

Las cargas asociadas a la profundidad mínima para el cultivo en azotea y el peso pueden no constituir un problema importante si la explotación se integra en un edificio nuevo y si se tienen en cuenta desde el inicio del proceso de diseño. En los edificios existentes, estos pesos pueden no ser compatibles con la capacidad de carga de la cubierta.

Esto también sucede en el caso de los invernaderos sobre cubierta, que no tienen por qué tener un gran peso en términos de estructura y revestimiento exterior, debido a que la construcción consiste en elementos de aluminio con una envoltura de paneles de policarbonato. Sin embargo, dependiendo del equipo utilizado para el método de cultivo, la carga total puede aumentar de forma crítica. Como informan **Caputo et al. (2017)**, otro factor clave a la hora de planificar un invernadero en cubierta es la carga de viento, que se hace mayor con la altura del edificio, por lo que se requiere una atención especial a la robustez de la conexión del invernadero con la estructura del edificio existente y del propio invernadero. Por último, hay que tener muy en cuenta los depósitos de agua, que representan una carga importante en algunas partes de la cubierta.



Factores a tener en cuenta

1.

Carga estructural

- Considerar el peso del sustrato de cultivo, el equipo y las personas en la azotea
- Solicitar la evaluación estructural por un técnico.

2.

Regulación municipal

- Compruebe los códigos de construcción relativos a la seguridad y el uso de materiales (por ejemplo, incendios)
- Comprobar las normas de zonificación que limitan el uso del espacio y la altura de los edificios
- Evaluar las limitaciones históricas

3.

Exposición a la luz del sol y al viento

- Valorar la exposición diaria al sol de los tejados, creando eventualmente estructuras de sombreado
- Crear rompevientos (muros vegetales, estructuras, lonas)
- Asegúrese de tener estructuras sólidas y fijas

4.

Accesos y seguridad

- Garantizar un fácil acceso a las personas (por ejemplo, ascensor), al agua, a la electricidad y a una zona de almacenamiento
- Instalar barandillas de seguridad de 1 m como mínimo

Figura 7. Factores que deben tenerse en cuenta para elegir el emplazamiento explotación para un huerto en azotea

Si no es independiente, el acceso a la azotea puede ser un problema. Es necesario un acuerdo formalizado con los habitantes del edificio para permitir una circulación vertical de personas. Como alternativa, se pueden construir escaleras exteriores y añadirlas a los edificios existentes.

La seguridad es otro punto crucial, ya que en los edificios existentes la azotea no suele estar diseñada para albergar personas. Deben construirse barandillas adecuadas, si todavía no existen.

Diseño y realización.

Una vez definido el proyecto y elegido el emplazamiento, puede comenzar la realización del huerto en la azotea. Un agricultor de azotea puede decidir si pide ayuda para diseñar el proyecto, contratando a un profesional experto como un arquitecto paisajista. Sin embargo, la realización del proyecto también puede llevarse a cabo de forma autónoma. En este caso, hay que tener en cuenta 3 pasos fundamentales para evitar errores.

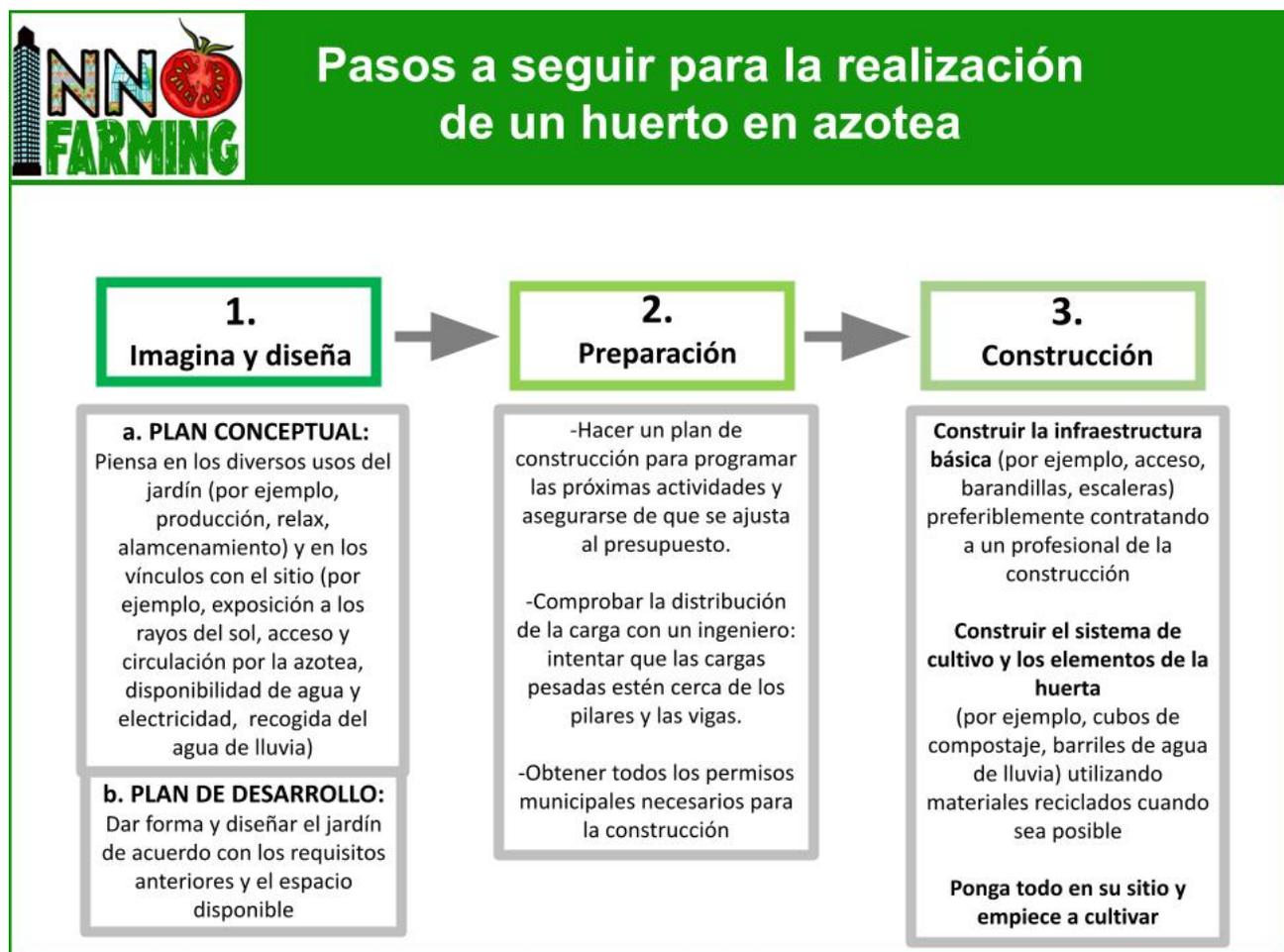


Figura 8. Pasos para la realización de la explotación de huerto en azotea.

Huertos en azotea con base de suelo e hidroponía simplificada.

Los sistemas más utilizados para la producción de cultivos en azoteas están basados en el suelo, en el agua o en el sustrato. Los dos últimos sistemas se conocen comúnmente como sistemas hidropónicos o cultivos sin suelo. Las ventajas de la agricultura hidropónica en azotea son (**Rodríguez-Delfín et al., 2017**):

- Se aprovechan lugares no aptos para la agricultura tradicional;
- Los rendimientos obtenidos con los sistemas hidropónicos son generalmente mayores en comparación con la solución tradicional en suelo (debido a un crecimiento más rápido y vigoroso de las plantas, así como a un mayor número de cosechas al año);

- Bajo consumo de agua y fertilizantes;
- No hay fugas de fertilizantes;
- La agricultura hidropónica en azotea también puede utilizarse con fines sociales para mejorar los ingresos de las poblaciones desfavorecidas y generar autoempleo en sus propios hogares.

En cuanto a los sistemas de cultivo basados en el suelo, suelen integrar lechos de cultivo (constituidos por tierra procedente de campos agrícolas, mezclada con materia orgánica y otros sustratos) y caminos. La profundidad del suelo dependerá de los límites estructurales del edificio, la capacidad de retención de agua del suelo y las necesidades del cultivo. Cuando está saturado de agua, un metro cúbico de tierra puede pesar hasta 1,6 toneladas (Fairholm, 1999), lo que supera la capacidad de carga de la cubierta. Por lo tanto, se pueden utilizar sustratos ligeros o medios de cultivo como alternativa a la tierra. En los contenedores se suelen utilizar medios de cultivo orgánicos y otros, como la perlita y la piedra pómez.

En cuanto a los cultivos sin suelo, los más adoptados son la técnica de película nutritiva (NFT), o la hidroponía flotante.

Se pueden encontrar más detalles sobre los medios de cultivo y los cultivos sin suelo para la agricultura en cubierta en Rodríguez-Delfín et al. (2017), Gruda et al. (2013) y Savvas et al. (2013).

Tecnología para el invernadero en la azotea.

Normalmente, los agricultores deciden utilizar un invernadero para proteger los cultivos de condiciones hostiles, como temperaturas desfavorables, lluvia, viento, enfermedades y plagas.

El factor clave de un invernadero es la transferencia de la luz, que puede depender de la orientación del invernadero, la inclinación del techo, el material de la cubierta y las partes estructurales.

En cuanto a la orientación del invernadero, es preferible la orientación este-oeste (E-O) a la orientación norte-sur (N-S), según diferentes estudios realizados en invernaderos convencionales. En cuanto a la inclinación de la cubierta, una inclinación de 30° es un buen compromiso entre la transmisión de luz y los costes de construcción (Montero et al., 2017).

La mayor pérdida de transmisión de luz en un invernadero se debe a las partes estructurales, que en los invernaderos sobre cubierta son más abundantes, debido a los códigos de construcción locales, que son más exigentes en comparación con los rurales en términos de coeficientes de seguridad contra la carga de viento y la carga de nieve, combinación de cargas, permisos de desplazamiento, etc.

En cuanto a los materiales de cubierta, la **tabla 2** contiene las propiedades ópticas deseadas de los invernaderos.

Tabla 2. Principales características del sustrato de las cubiertas verdes extensivas, semiextensivas e intensivas (Montero et al., 2017).

Propiedades	Comportamiento óptimo
Absorbancia	Absorbancia mínima a la radiación solar
Color	No debe actuar como filtro de luz

Fotosensibilidad	Resistencia UV para evitar la degradación
Reflectividad	Reflección mínima a PAR, reflexión máxima a IR
Transmitancia	Transmitancia máxima a PAR, transmitancia mínima a FIR
Difusión solar	La mayor posible, sin limitación de la transmission PAR

Los invernaderos en azotea tienen los mismos objetivos y requisitos que un invernadero convencional sobre tierra, pero también tienen algunas características específicas, principalmente relacionadas con las partes estructurales para cumplir con los códigos de construcción de edificios, que son más estrictos que los códigos agrícolas. Por ejemplo, el edificio del ICTA-ICP en Bellaterra (España) tuvo que adaptar las estructuras comunes de los invernaderos: se sobredimensionó la estructura de acero para garantizar la resistencia al viento y se utilizó policarbonato como material de cubierta, ya que el polietileno de densidad ligera (LDPE) estaba prohibido. De hecho, los materiales del invernadero de la azotea deben respetar las leyes de seguridad contra incendios y ser más resistentes.

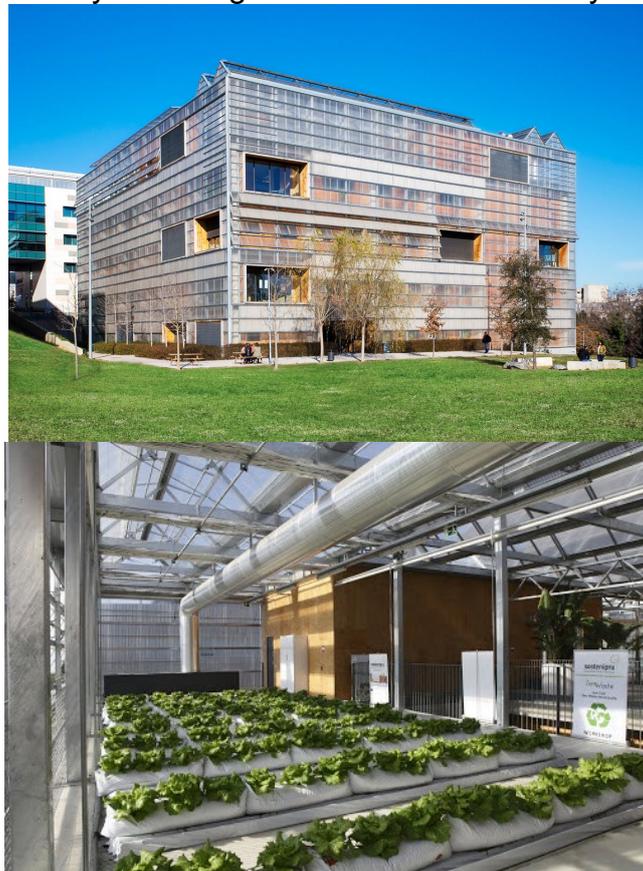


Figura 9. Invernadero en azotea en el edificio ICTA-ICP en Bellaterra (Spain).

También el coste, el mantenimiento y el peso se consideran factores limitantes en la selección de los materiales. El policarbonato y el polimetilmetacrilato (PMM) pueden utilizarse como paneles de una sola capa (mayor transmisión de luz) o de doble capa (mayor ahorro de energía térmica).

Se puede encontrar información general sobre los invernaderos en las [Buenas Prácticas Agrícolas para los cultivos en invernadero](#).

Gestión sostenible

Una vez que el huerto en azotea está preparado para comenzar su producción, el agricultor debe empezar a pensar en la selección y gestión de las plantas. Una gestión sostenible es un aspecto importante a tener en cuenta en el caso de los cultivos en azoteas, con el fin de evitar riesgos para la salud de las personas que viven cerca y la competencia de recursos para otros usos urbanos (Orsini et al., 2017).

En cuanto a los riesgos para la salud, debe evitarse el uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes químicos, utilizando recursos alternativos no perjudiciales para la salud humana. El compost puede utilizarse como abono, mientras que la asociación de plantas sinérgicas o pesticidas naturales podría ayudar a controlar de forma natural el desarrollo de insectos y enfermedades. Además, dado que el compost es un abono obtenido de la descomposición de los residuos orgánicos, su aplicación puede ayudar a cerrar el ciclo alimentario con consecuencias positivas para el medio ambiente, así como a reducir los costes de nutrición de las plantas. Un sustrato de cultivo óptimo está representado por una mezcla de tierra, 50-30% de compost para la nutrición y 5-10% de perlita para el drenaje.

El agua es el recurso por el que más se compete en el entorno urbano. El uso del agua municipal para fines agrícolas puede determinar una presión excesiva debido al uso actual por parte de los habitantes urbanos y las actividades industriales. Por esta razón, una explotación agrícola o jardín en la azotea debe considerar la integración de un sistema de recogida de agua de lluvia. Esta fuente de agua es la mejor opción para el riego de las plantas, ya que tiene una temperatura naturalmente cálida que no perjudica a las plantas y está libre de cloro que puede limitar su crecimiento. Sin embargo, el agua de lluvia debe recogerse y almacenarse adecuadamente, evitando la entrada de mosquitos y la formación de algas mediante el uso de redes y bidones oscuros.



Como crear un depósito de agua de lluvia: un ejemplo fácil

Materiales:

- 1 o más barriles (200L) **(1)**
- Tela mosquitera **(2)**
- 2 cascos pasantes (3), 4 ojales de goma (4), 1 tubo Carlon (5), 2 bridas de sujeción (6) (para cada barril adicional)
- Artículos para cortar y diseñar

- Encuentre el caño del casco y planifique la conexión con el depósito.
- Realice una abertura en el depósito o utilice la tapa como abertura
- Cubrir la abertura con una red
- Conecte la abertura del barril con la boca del canalón



Cómo conectar varios barriles:

- Coloque varios barriles uno al lado del otro.
- Poner los cascos en dos de los lados opuestos de los depósitos a 10-30 cm de la tapa
- Conecte los depósitos con un tubo Carlon utilizando bridas.
- Utilice ojales para evitar fugas de agua

Figura 10. Pasos para crear un depósito para almacenar agua de lluvia.

Brooklyn Grange: la explotación en azotea más famosa del corazón de Nueva York.

Brooklyn Grange es una explotación agrícola urbana comercial. Hasta la fecha, se cultiva tres azoteas en la ciudad de Nueva York. La explotación de Long Island City, de un acre (43.000 m²), se construyó en 2010 y está formada por unas 540 toneladas de tierra en 43.000 m² de lechos de cultivo. La explotación de Navy Yard, construida en 2012, consta de 1360 toneladas de tierra sobre un edificio de 65.000 m². La explotación de Sunset Park, terminada en 2019, tiene 140.000 m² en total, incluyendo un invernadero de 4.800 m². En conjunto, la superficie total de la azotea, incluidos los invernaderos, los patios y las pasarelas, es de 22 hectáreas.



Figura 11. Explotaciones agrícolas Brooklyn Grange (Fuente de la imagen: <https://www.brooklyngrangefarm.com/about-brooklyn-grange-1>)

Brooklyn Grange es la mayor explotación agrícola en azotea de todo el mundo y produce 45 toneladas de vegetales de cultivo ecológico al año. La explotación vende los productos directamente a la comunidad en cinco mercados semanales, así como a varios restaurantes y tiendas locales. Durante el verano, también tienen un próspero programa de CSA a través del cual distribuyen raciones.

Para ampliar información técnica relacionada con la agricultura en azotea:

Descargar [Rooftop Agriculture](#) o leer [Rooftop Urban Agriculture](#)

2.2. Acuaponía urbana

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos biointegrado, resultante de la combinación entre la actividad piscícola (acuicultura) y el sistema de producción de plantas sin suelo (hidroponía) (Palm et al., 2018).

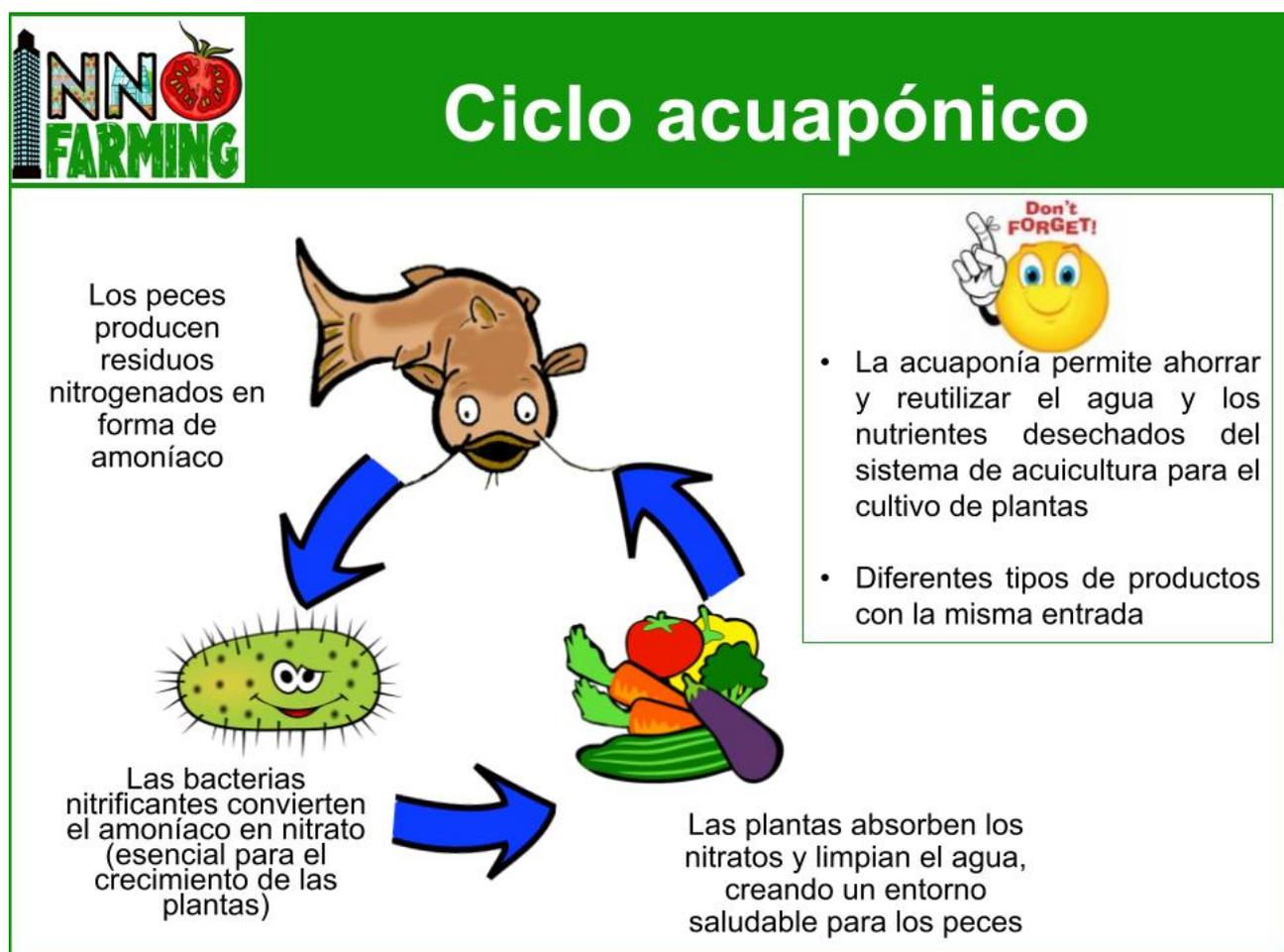


Figura 12. Cierre del ciclo del agua y los nutrientes con la acuaponía.

El sistema.

Un sistema acuapónico se compone de

- **Tanque para peces:** los tanques para criar y alimentar a los peces; el tamaño depende de la densidad y la biomasa de peces que se desee; se recomienda una forma redonda con fondos planos para la circulación del agua y los movimientos de los desechos sólidos; se recomienda el material plástico (por ejemplo, polietileno de baja densidad) o de fibra de vidrio debido a su durabilidad y larga vida útil; se aconsejan los tanques blancos para facilitar la visualización de los peces a fin de comprobar fácilmente el comportamiento y la cantidad de desechos depositados en el fondo del tanque, y también para mantener el agua fresca; el tanque debe estar cubierto para evitar pérdidas accidentales.
- **Filtro mecánico:** una unidad para atrapar el alimento no consumido y las biopelículas desprendidas, y para sedimentar las partículas finas; en los sistemas con una densidad de población más baja ($<10 \text{ kg/m}^3$) dispositivos basados en la sedimentación para la eliminación de partículas (para un tamaño de partícula $\geq 100 \mu\text{m}$), mientras que los sistemas con una densidad de población más alta ($>10 \text{ kg/m}^3$) pueden necesitar filtros de tambor rotativo (para un tamaño de partícula $\geq 30 \mu\text{m}$) y fraccionadores de espuma (para un tamaño de partícula $\leq 30 \mu\text{m}$).
- **Biofiltro:** lugar donde las bacterias nitrificantes pueden crecer y convertir el amoníaco en nitratos; si las plantas se cultivan en un lecho o medio de crecimiento (por lo que se utiliza un sustrato) y la densidad de población de peces es baja, no se necesita un biofiltro; en todas las demás condiciones posibles, el biofiltro más utilizado es el reactor de biofiltro de lecho móvil (MBBR), compuesto por pequeñas estructuras de plástico con alta superficie específica, mantenidas en constante movimiento y constantemente aireadas (por ejemplo, Bioballs®).
- **Subsistema hidropónico:** la parte del sistema en la que se cultivan las plantas; suele consistir en lechos rellenos de varios sustratos, o en sistemas hidropónicos (por ejemplo, la técnica de la película nutritiva o el cultivo en aguas profundas).
- **Sumidero:** el punto más bajo del sistema hacia el que fluye el agua y desde el que se bombea de vuelta a los tanques de cría.

Cómo empezar a diseñar un sistema de acuaponía.

El diseño de un nuevo sistema acuapónico debe centrarse en sus objetivos y requisitos y debe tener en cuenta:

- la finalidad del sistema (por ejemplo, comercial, de autoproducción, educativo, estético);
- el emplazamiento y el espacio disponible (por ejemplo, para un sistema comercial se necesitan al menos 1.000 m^2);
- la ubicación (por ejemplo, si el sistema es interior, será necesaria la iluminación, y si exterior será necesaria calefacción, pero probablemente los costes de construcción serán menores);
- la gestión del sistema (por ejemplo, la automatización es cara, pero el trabajo manual requiere mucho tiempo);

El diseño y la construcción de un sistema acuapónico sigue una serie de pasos secuenciales: estudio de viabilidad y selección del emplazamiento, diseño básico, diseño detallado, preparación del emplazamiento y construcción.

Estudio de viabilidad: ubicación e infraestructura.

Las necesidades básicas que requiere el emplazamiento para albergar un sistema acuapónico son

- **estabilidad del emplazamiento**; debido al peso del agua, debe comprobarse la capacidad de carga del suelo
- **control de las condiciones climáticas**; durante los periodos de baja temperatura y poca luz diurna, detener la producción es una opción, para volver a empezar en primavera; la otra posibilidad es calentar el agua y el aire y proporcionar iluminación artificial (pero, atención a los costes). Por otro lado, hay que evitar las temperaturas extremadamente altas durante el verano. Es posible instalar redes de sombreado o, en caso de producción en invernadero, pintar el exterior del invernadero con pintura blanca;
- **servicios públicos**; se necesitan tomas eléctricas para las bombas un generador de oxígeno (o aire) y una fuente de agua para los cambios de agua o para la limpieza de los filtros. También es importante tener en cuenta a dónde deben ir los efluentes.
- **accesibilidad**; el lugar debe ser accesible para trasladar los materiales, las plantas cosechadas, los peces en caso de emergencia; por otro lado, debe estar protegido de personas no autorizadas debido al riesgo de infecciones y enfermedades.
- **espacios de trabajo**; en esta fase del estudio de viabilidad, deben considerarse los lugares para el almacenamiento de los alimentos para peces, el material y las herramientas de limpieza, el equipo de control y la ropa de trabajo.

Equilibrio del sistema acuapónico.

Un sistema acuapónico es el resultado de un equilibrio entre plantas, peces y bacterias (**Sallenave, 2016**). Los peces deben suministrar los nutrientes adecuados para las plantas y las plantas deben filtrar el agua para los peces. El biofiltro debe ser lo suficientemente grande como para procesar todos los desechos de los peces, y se necesita un volumen de agua suficiente para hacer circular este sistema.

En primer lugar, es fundamental considerar que los peces, las plantas y las bacterias tienen diferentes rangos óptimos de parámetros fisicoquímicos del agua:

- Peces de aguas cálidas: 22-32°C, pH = 6-8,5, 4-6 mg L⁻¹ DO (oxígeno disuelto)
- Peces de aguas frías: 10-18°C, pH = 6-8,5, 6-8 mg L⁻¹ DO
- Plantas: 16-30°C, pH = 5,5-6,5, ≥3 mg L⁻¹ DO
- Bacterias: 14-34°C, pH = 6-8,5, 4-8 mg L⁻¹ DO

Por lo general, el uso del índice de conversión alimenticia es la forma más eficaz de equilibrar un sistema acuapónico. Evalúa la cantidad de alimento para peces que debe añadirse cada día al sistema, teniendo en cuenta la **superficie disponible para el crecimiento de las plantas**. Cambia en función del tipo de plantas que se cultivan (40-50 g m² día⁻¹ o 50-80 g m² día⁻¹, respectivamente por verduras de hoja u hortalizas), y del tipo de alimento utilizado.

El primer paso consiste en calcular el número de plantas que se desea cultivar (considerando que, en general, la **densidad de plantación** es de 20-25 plantas m⁻² para las hortalizas de hoja y de 4-8 plantas m⁻² para las hortalizas) y, en consecuencia, la superficie de cultivo necesaria.

Una vez conocida la superficie de cultivo, es posible calcular la cantidad de alimento para peces que puede añadirse al sistema cada día y, en consecuencia, la biomasa de peces necesaria para consumir este alimento, teniendo en cuenta que los peces de distinto tamaño tienen necesidades y regímenes de alimentación diferentes (lo que significa que muchos peces pequeños comen tanto como unos pocos peces grandes), pero, por término medio, los peces consumen entre el 1% y el 2% de su peso corporal al día durante la fase

de crecimiento. Para finalizar el sistema, hay que añadir que la densidad de población de peces máxima recomendada es de 20 kg de peces para 1.000 L de agua (pecera). Por último, también se debe calcular el volumen del biofiltro teniendo en cuenta la cantidad de alimento que entra en el sistema diariamente y considerando un volumen mínimo de 0,5 L por cada gramo de alimento diario.

En la **Imagen 13** se muestra un ejemplo de cálculo para equilibrar el sistema acuapónico.



Ejemplo de cálculos para equilibrar el sistema acuapónico

- Se dispone de un sistema de 100 m² para el cultivo de hortalizas de hoja, lo que supone 2.500 plantas en el sistema.
- Teniendo en cuenta índice de conversión alimenticia de las hortalizas de hoja:

$$100 \text{ m}^2 \times \frac{50 \text{ g comida/día}}{1 \text{ m}^2} = 5.000 \text{ g comida/día}$$
- Los peces (biomasa) en un sistema ingieren entre el 1 y el 2% de su peso corporal al día, por lo tanto:

$$500 \text{ g de comida/día} \times \frac{100 \text{ g pescado}}{1-2 \text{ g pescado/día}} = 250 - 500 \text{ Kg biomasa de peces}$$
- Considerando una densidad de población de peces de 20 Kg/m², se necesitarán entre 13 y 25 tanques de 1000L para equilibrar el sistema (o entre 4 y 8 tanques de 3000L).
- Por último, teniendo en cuenta que la cantidad diaria de alimento que entra en el sistema es de 5.000 g, habría que añadir al sistema un biofiltro de 2.500 L.

Imagen 13. Ejemplo de cálculos para equilibrar un sistema acuapónico en función del índice de conversión.

Prácticas de manejo.

Para gestionar adecuadamente el sistema acuapónico, hay algunas actividades que deben realizarse de forma diaria, semanal o mensual (**Somerville et al., 2014; Junge et al., 2020**).

Actividades diarias.

- Alimentar a los peces (1 ó 2 veces al día si es posible), comprobar cuánto alimento han ingerido y, en caso de que sea necesario, ajustar las tasas de alimentación.
- Cada vez que capture peces, compruebe el comportamiento y el aspecto de los peces, y retire los peces muertos, teniendo cuidado de anotar cualquier comentario importante.
- Compruebe que el agua fluye correctamente.
- Compruebe el nivel del agua, y añada agua adicional para compensar la evaporación, si es necesario.
- Compruebe la temperatura del agua.

- Compruebe que las bombas de agua y aire funcionan bien, y limpie sus entradas de obstrucciones.
- Compruebe la pecera, en la que no debe haber lodos.
- Compruebe si existen fugas.
- Compruebe la aireación en el biofiltro y cúbralo para protegerlo de la luz (prevención del crecimiento de algas)
- Compruebe si hay plagas en las plantas y controlelas si es necesario. Retirar las hojas con signos de enfermedad o infestación de plagas.

Actividades semanales.

- Realice pruebas de calidad del agua para comprobar la temperatura, el pH, el amoníaco, el nitrito y el nitrato antes de alimentar a los peces. Si los niveles superan los valores umbral, tome las medidas oportunas:
 - Si el NH_4^+ o el NO_2 son demasiado altos, detenga/reduzca la alimentación
 - Si el O_2 es demasiado bajo, o el NH_3 o la temperatura demasiado alta, aumentar la aireación y reducir la temperatura utilizando un intercambiador de calor de placas.
- Ajustar el pH, según sea necesario.
- Revise las plantas en busca de deficiencias. Añada abono orgánico, según sea necesario.
- Limpiar los desechos de los peces del fondo de las peceras y del biofiltro.
- Retire los lodos del colector. No debe haber lodos en las tuberías.
- Plantar y cosechar las hortalizas, según sea necesario.
- Recoger los peces, si es necesario.
- Comprobar que las raíces de las plantas no obstruyen ninguna tubería ni el flujo de agua.

Actividades mensuales.

- Colocar nuevos peces en los tanques, si es necesario.
- Limpiar el biofiltro, el clarificador y todos los filtros.
- Limpiar el fondo de la pecera con redes para peces.
- Pesar una muestra de peces, ajustar la cantidad de alimento según la tasa de alimentación adecuada al tamaño de los peces y comprobar a fondo si hay alguna enfermedad.

Plantas y peces adecuados para la acuaponía.

Los peces y las plantas que se cultivan en un sistema acuapónico deben tener necesidades similares en cuanto a temperatura y pH.

Los peces que más habituales para criar en acuaponía son:

- Tilapia;
- Carpa;
- Siluro;
- Pez sol;
- Pez luna;
- Crappies
- Carpas Koi
- Carpas doradas
- Pacús;
- Varios peces ornamentales como escalares, guppys, tetras, peces espada, mollies.

Los vegetales que pueden cultivarse fácilmente en una unidad de acuaponía son:

- Verduras de hoja verde (por ejemplo, lechuga, pak choi, col rizada, acelga, rúcula);
- Hierbas (por ejemplo, albahaca, menta, cebollino);
- Hortalizas (por ejemplo, tomate, pimiento, pepino).

ECF FARM Berlín: una granja acuapónica en Berlín (Alemania).

Situada en el barrio berlinés de Schöneberg, ECF Farm Berlin es una de las instalaciones acuapónicas urbanas más modernas del mundo. Los productos de la granja son peces perca y plantas de albahaca. La superficie total de la granja es de 1800 m², con una superficie de invernadero de 1000 m². Los trabajadores de la granja son 8 personas en total: 2 piscicultores, 3 agricultores para el invernadero y 3 personas para la planificación y gestión. Normalmente, el pescado se comercializa al vacío y se mantiene a 2°C, y se vende como pescado congelado a través de una empresa intermediaria (que tiene canales de comercialización certificados para productos de pescado fresco). En ocasiones, se vende como pescado fresco, con un esfuerzo logístico mucho mayor. El precio del pescado es de unos 7 € kg⁻¹ en la ECF, y posteriormente la empresa intermediaria vende el producto a 9 € kg⁻¹. Las plantas de albahaca se producen en el invernadero mediante un sistema hidropónico (llamado sistema de flujo y reflujo), en el que cada día se recirculan 2000-4000 L de agua de los tanques de pescado al invernadero. Por lo general, se producen 400.000 macetas al año, que se venden en envases sin plástico. La cadena de supermercados (Rewe) paga de 1 a 1,5 euros por planta a la piscifactoría, y vende a 2,5 euros al público.



Imagen 14. Instalaciones de la ECF FARM Berlin (fuente: Pinterest) e invernaderos (fuente: <https://greencardgardener.com/2017/03/27/urban-farming-berlin-style/>).

Para ampliar información técnica sobre acuaponía urbana:

Descargar [Small-scale aquaponic food production](#) o leer [Aquaponics Food Production Systems](#)

2.3. Agricultura vertical

Un cultivo vertical es un sistema en el que los cultivos se realizan en entornos interiores controlados con la temperatura, la luz y los nutrientes adecuados.

Estas explotaciones suelen estar situadas en comunidades urbanas o cerca de ellas. Las construcciones de edificios abandonados o nuevos pueden ser lugares adecuados para desarrollar este sistema de cultivo. Otra opción que está ganando atención para colocar una cultivo vertical son los contenedores de transporte, que pueden ser transformados en contenedores verticales autónomos para el crecimiento de las plantas.

Un **cultivo vertical** consta de seis elementos estructurales principales (Kozai y Niu, 2016)

- Una estructura tipo almacén bien aislada y casi hermética, cubierta con paredes opacas;
- Un sistema de varios niveles (en su mayoría de 4 a 16 niveles o capas; unos 40 cm en vertical entre niveles) equipado con dispositivos de iluminación sobre los lechos de cultivo.
- Aire acondicionado (también conocidos como bombas de calor), utilizados principalmente para la refrigeración y la deshumidificación con el fin de eliminar el calor generado por las lámparas y el vapor de agua transpirado por las plantas en la sala de cultivo, y ventiladores para hacer circular el aire con el fin de mejorar la fotosíntesis y la transpiración y lograr una distribución espacial uniforme del aire;
- Una unidad de suministro de CO₂ para mantener la concentración de CO₂ en la sala en torno a 1000 ppm durante el fotoperiodo, para mejorar la fotosíntesis de las plantas.
- Una unidad de suministro de solución nutritiva;
- Una unidad de control ambiental que incluye controladores de conductividad eléctrica (CE) y de pH para la solución nutritiva

Las ventajas de la agricultura vertical, en comparación con los sistemas de cultivo más tradicionales, son las siguientes:

- Es posible obtener un rendimiento constante y elevado durante todo el año.
- No se utilizan plaguicidas, y se aumenta la eficiencia en el uso de la tierra, el agua y los nutrientes
- Son independientes de la radiación solar y de la fertilidad del suelo.
- Cadena logística más sencilla que los canales habituales;
- Mayor selección de variedades y mayor frescura;
- Menor desperdicio de alimentos, calidad más uniforme, ausencia de suciedad, y alto índice de cosecha.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que los invernaderos también se adaptan a condiciones climáticas adversas, los costes de inversión de los cultivos verticales son de 4 a 10 veces superiores a los de un invernadero de alta tecnología, y la luz artificial requiere electricidad mientras que un invernadero se beneficia de la radiación solar. En

consecuencia, los costes de electricidad representan el 30% del total de los costes de producción en una agricultura vertical, y entre ellos, el 50% está relacionado con la iluminación artificial.

Sin embargo, para tener mayores posibilidades de éxito, hay que tener en cuenta varios factores importantes a la hora de diseñar un cultivo vertical. En estos términos, el agricultor vertical debe buscar producir el mejor producto. Esto se debe a que el cultivo en interior permite optimizar y controlar muchos parámetros del entorno de cultivo de las plantas, logrando así un correcto desarrollo del cultivo.

Pero, en primer lugar, la primera decisión que deben tomar los agricultores es qué cultivar. La segunda es cómo cultivarlo. Por ello, se ha prestado especial atención a los factores que podrían considerarse cruciales a la hora de iniciar un cultivo vertical. La información relativa a estas consideraciones principales se presenta en secuencia.

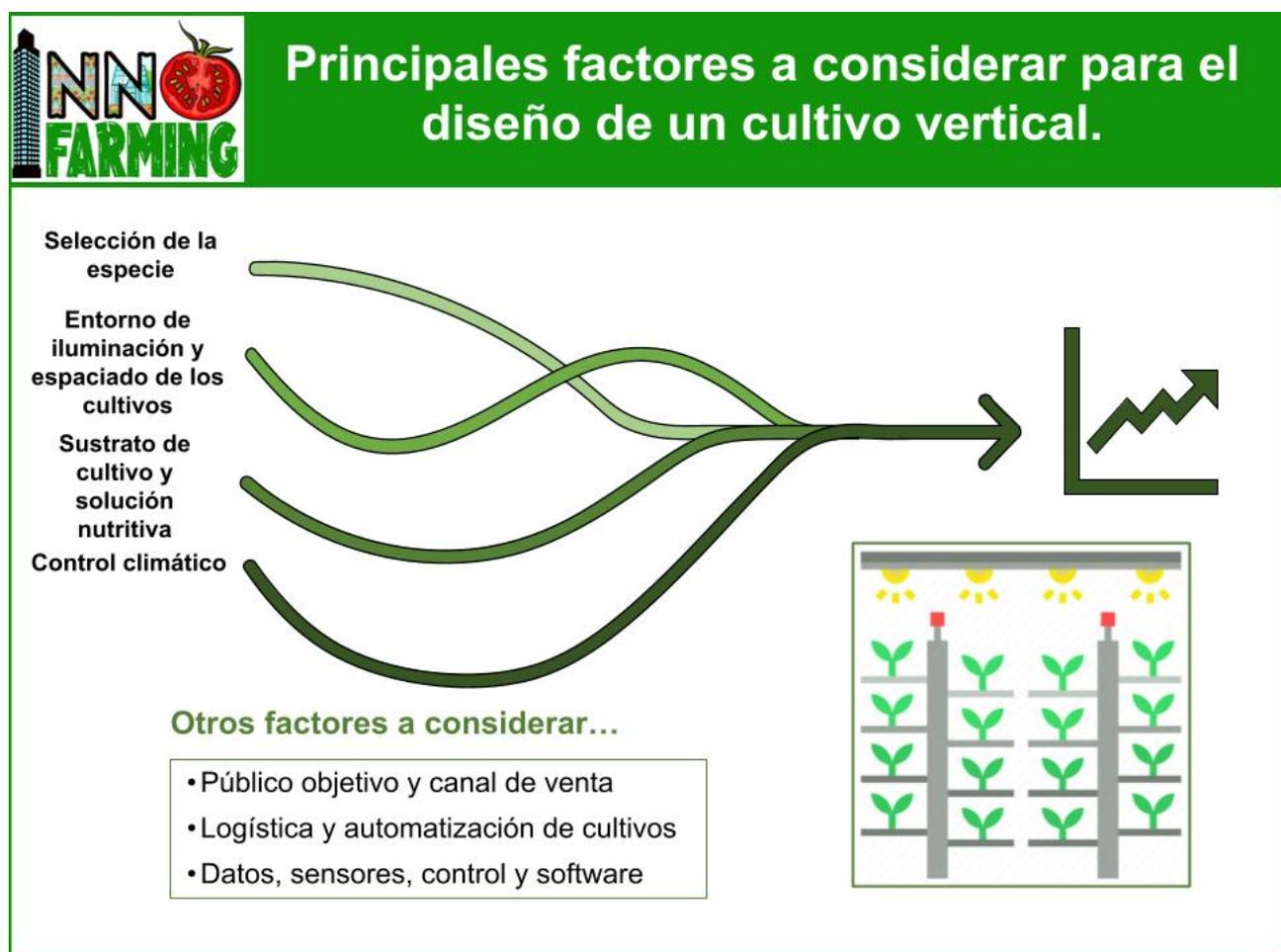


Imagen 15. Principales factores a considerar cuando se planifica construir un cultivo vertical.

Selección de cultivos.

Hoy en día, las verduras de hoja verde y las hierbas aromáticas son los cultivos más comunes de la industria de la agricultura vertical. Estas plantas son una buena elección si el objetivo es ser económicamente eficiente. Dado que las plantas de hoja verde y las hierbas se caracterizan por un crecimiento rápido, se pueden realizar varias cosechas al año y se necesitan menos costes, especialmente de energía, debido a los bajos requisitos

de iluminación. Por ejemplo, los cultivos de crecimiento rápido como la lechuga, la col, la menta, el cilantro, el perejil, la albahaca, etc., suelen tardar hasta seis semanas en producirse. Estudios recientes abordan la posibilidad de cultivar plantas medicinales en agricultura vertical. El entorno totalmente controlado de un cultivo vertical permite obtener productos finales con las mismas características morfológicas y nutracéuticas durante todo el año. Este aspecto, para este tipo de plantas comúnmente utilizadas para la transformación industrial, es de crucial importancia. Además, los microhuertos y los germinados pueden adaptarse al cultivo en vertical, pero también los cultivos comerciales de alto valor (por ejemplo, el Cannabis).

Iluminación y espaciado de los cultivos.

Uno de los componentes esenciales para el éxito de la agricultura vertical es proporcionar una luz adecuada en función de las necesidades del cultivo. En cada nivel en el que las plantas crecen verticalmente se debe disponer de una fuente de iluminación artificial capaz de proporcionar una cantidad de luz suficiente de las plantas durante un determinado periodo de tiempo y a lo largo del día para asegurar el crecimiento. La finalidad de esta iluminación es simular la luz del día en función de las necesidades del cultivo. Si tenemos en cuenta las fuentes de iluminación del mercado actual, el desarrollo de los diodos emisores de luz (Light Emitting Diode - LED) se ha convertido en la solución más interesante para el cultivo de plantas y hortalizas, caracterizándose por un bajo consumo energético. Además, la luz LED puede configurarse para proporcionar sólo aquellas frecuencias de luz de acuerdo con los requerimientos de cada planta, y no liberan un calor excesivo que podría causar quemaduras en los cultivos. Ya se han realizado varias investigaciones sobre la gestión de la luz en instalaciones de agricultura vertical (**Pennisi et al., 2019a; Pennisi et al., 2019b; Pennisi et al., 2020a; Pennisi et al., 2020b**).

Además, se puede realizar una estrategia de espaciado adecuado de las plantas para aumentar la producción en función de la cantidad de luz aportada. El solapamiento de las plantas o, por el contrario, el exceso de espacio entre ellas, puede conducir a una pérdida de productividad y a un uso no eficiente de la luz. Una distribución adecuada de las plantas de forma que cada una de ellas reciba la cantidad óptima de luz evitará que se desperdicie luz al iluminar zonas sin plantas.

Sistema de cultivo y sus soluciones nutricionales.

En los cultivos verticales se suele utilizar la hidroponía, que se basa en el concepto de cultivar plantas en una solución rica en nutrientes. Como ya se ha dicho en el apartado de huertos en azoteas, esta práctica funciona de forma que las raíces de las plantas están suspendidas en un contenedor de agua rica en nutrientes con agua recirculada (por ejemplo, en sistemas flotantes o en la “técnica de película nutritiva”) o, en su defecto, mediante raíces apoyadas en un medio sin tierra (por ejemplo, musgo de turba, cáscaras de coco y lana de roca) al que se le proporciona la solución nutritiva.

Otro sistema hidropónico interesante para las explotaciones verticales es el aeropónico, un método en el que las raíces de las plantas se alimentan y riegan en el aire, mediante la pulverización de la solución nutritiva. La solución nutritiva que no es absorbida por las raíces se devuelve al depósito y se recicla. La aeroponía se considera la tecnología más eficiente en cuanto a capacidad de ahorro de agua. Un inconveniente de los sistemas aeropónicos actuales es el mantenimiento de la salud de las raíces en caso de mal funcionamiento de

la bomba o de pérdida de energía. Sin la pulverización de agua enriquecida con nutrientes, los sistemas radiculares no se mantendrán sanos durante mucho tiempo. Se secarán rápidamente y morirán.

La agricultura vertical requiere prestar especial atención y conocimiento a la solución nutritiva que se proporciona a las plantas. Dependiendo del tipo de cultivo y de su fase de crecimiento, la composición de la solución nutritiva puede modificarse con el fin de favorecer un desarrollo óptimo de la planta a lo largo de su ciclo de crecimiento.

Control de los parámetros climáticos.

Un aspecto importante al que deben prestar atención los nuevos agricultores de agricultura vertical es proporcionar a sus cultivos las mejores condiciones climáticas. Parámetros como la temperatura o la humedad adecuada deben combinarse con una buena ventilación y una gestión adecuada del sistema de aire. Los sistemas de refrigeración, deshumidificación y calefacción deben ser considerados para una correcta gestión del clima. Un control inadecuado de estos parámetros ambientales que rodean al cultivo, puede llevar a una disminución del rendimiento final con consecuencias que generen mayores costes.

Por otro lado, los agricultores verticales deben considerar todos los factores posibles para una correcta planificación. Se debe desarrollar una estrategia de marketing para darse a conocer en la comunidad. Una adecuada promoción de los productos finales es esencial para llegar a los clientes. Además, los agricultores pueden aprovechar la era tecnológica que estamos viviendo para monitorizar y automatizar su producción gracias al uso de sensores, programas informáticos y otros dispositivos de control.

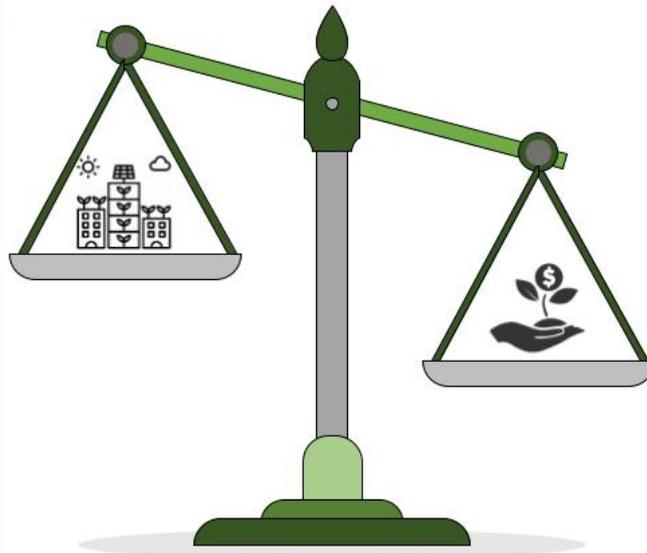
En este contexto, la agricultura vertical puede sonar como un prometedor sistema de cultivo del futuro, sin embargo, antes de iniciar un proyecto de este tipo hay que tener en cuenta los pros y los contras de esta agricultura. En la siguiente imagen se muestran las grandes oportunidades de esta industria, pero también algunos de los retos que hay que afrontar.



Oportunidades y retos de la agricultura vertical

OPORTUNIDADES

- Reducir el kilometraje de los alimentos (distancia de viaje)
- Reducir el consumo de agua (con sistemas de riego de alta tecnología y métodos de reciclaje)
- Creación de puestos de trabajo
- Reducción de fertilizantes, herbicidas y pesticidas
- Mejora de la productividad
- Evitar las pérdidas de cosechas debidas a fenómenos meteorológicos o cambios estacionales
- Reutilización de edificios en ruinas



RETOS

- Alto coste de inversión inicial
- Elevadas necesidades energéticas
- Mano de obra cualificada
- Elevada dependencia de la tecnología
- Necesidad de regulación para la agricultura urbana.

Imagen 16. Oportunidades y retos de la agricultura vertical.

El principal obstáculo de la agricultura vertical es la gran inversión necesaria. Por lo tanto, hay que estudiar una estrategia de fondos y de financiación. En particular, si se quiere establecer cultivos verticales con fines lucrativos, hay que considerar un estudio sobre su viabilidad económica y la economía de las especies que se van a cultivar. La decisión de empezar a producir puede ser estableciendo un cultivo vertical a pequeña o gran escala, dependiendo de los objetivos y las necesidades del agricultor. Además, el hecho de que esta agricultura sea una industria recientemente creada, significa que la normativa y las políticas aún están en desarrollo. En este contexto, los nuevos agricultores deben estudiar la legislación y la política actuales para evitar confusiones y problemas.

No obstante, los agricultores verticales y su industria están tratando de encontrar soluciones en fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, como forma de generar electricidad y reducir los costes energéticos de la estructura. Los tanques de agua de lluvia también podrían ser útiles para el agua potable, aunque la agricultura de interior utiliza mucha menos agua que las prácticas agrícolas convencionales. La granja vertical tiene el potencial de desempeñar un papel importante en la sostenibilidad de los alimentos en las zonas urbanas. El avance de la tecnología puede conducir a la producción de sistemas de producción más eficientes. Tal vez, en un futuro lejano, la agricultura vertical sea capaz de proporcionar alimentos a toda la población urbana de forma totalmente automatizada y sostenible.

[AeroFarms: la empresa de agricultura vertical más importante del mundo.](#)

[AeroFarms](#) es una empresa de agricultura de interior sostenible con sede en Newark, Nueva Jersey, que utiliza un sistema de cultivo aeropónico patentado para cultivar productos. En 2015, AeroFarms puso en marcha un espacio de cultivo en un antiguo estadio de paintball, de 30000 m² en Newark. En septiembre de 2016, la sede mundial de AeroFarms abrió en una instalación de 70000 m² en Newark la mayor granja vertical interior del mundo en base a la capacidad de cultivo anual (907 toneladas al año de verduras de hoja verde).

La innovación de AeroFarms es el medio de tejido patentado y reutilizable que han desarrollado para sembrar, germinar, cultivar y cosechar. Este tejido está realizado con plástico reciclado libre de BPA, que puede ser totalmente desinfectado después de la cosecha y resembrado sin riesgo de contaminación.



Imagen 17. Sistema de crecimiento de AeroFarms (fuente: <https://aerofarms.com/technology/>).

Para ampliar información técnica sobre agricultura vertical:

Descargar [The future of farming is vertical](#) o leer [Plant Factory](#)

SUBCAPÍTULO 3: Residuos y ciclos del agua en el contexto urbano.

Una de las ventajas de practicar la agricultura en el contexto urbano es la posibilidad de formar parte de los ciclos de los materiales urbanos y crear nuevos usos, potenciando así la reutilización de residuos y subproductos. Esto se aplica principalmente a los residuos verdes de la ciudad (que pueden utilizarse como fertilizantes) y al agua.

3.1. Compostaje urbano

El compostaje urbano está actualmente en auge en relación con los programas de agricultura urbana, ya que los residuos orgánicos compostados pueden utilizarse como abono para el crecimiento de las plantas. Los residuos orgánicos son los residuos verdes del jardín (hojas muertas, recortes de setos o flores y plantas de interior marchitas), los residuos animales (estiércol y abono) y los residuos de cocina degradables. El compostaje es la fermentación de los residuos orgánicos y comprende 4 fases

- Fase mesofílica: se libera dióxido de carbono y se consume oxígeno, la temperatura aumenta;
- Fase termófila: la energía contenida en la materia orgánica se transforma en calor, y la temperatura puede alcanzar hasta 50-60°
- Fase de enfriamiento: la temperatura desciende y los hongos colonizan el sustrato; la temperatura desciende por debajo de los 30°C y la actividad microbiana disminuye al llegar organismos más grandes (por ejemplo, gusanos del compost, escarabajos, ciempiés);
- Fase de curado: se forma el humus.

Son varios los beneficios relacionados con el proceso de compostaje en el contexto urbano:

- Beneficios agronómicos: el compost mejora la estructura del suelo, su retención de agua, su plasticidad y su densidad; el uso de compost aumenta el contenido de N, P y K del suelo, necesarios para la fertilidad del mismo;
- Beneficios económicos: la agricultura urbana puede considerarse un mercado potencial para el compost producido en el entorno urbano, reduciendo las dificultades y los costes asociados al transporte;
- Beneficios medioambientales: la producción de compost reduce los costes de incineración y de vertido; por otro lado, reduce la dependencia de los pesticidas y los fertilizantes químicos; el uso de compost en suelos contaminados puede reducir considerablemente el contenido de contaminantes, incluidos el plomo, el cobre y los productos derivados del petróleo en el suelo enriquecido;
- Beneficios sociales: el uso del compost mejora la educación y la concienciación sobre la producción de residuos.

Obstáculos al compostaje.

El compostaje puede estar asociado a impactos medioambientales y sanitarios. Éstos están relacionados principalmente con el hecho de que la biomasa del compostaje produce varios gases (por ejemplo, N_2O , CH_4 , NO_3) que también pueden tener un efecto no despreciable sobre la salud o el medio ambiente. Además, los microorganismos que favorecen el proceso de compostaje pueden provocar enfermedades. También pueden encontrarse contaminantes orgánicos en los residuos orgánicos a partir de los cuales se produce el compost, que pueden causar enfermedades y transmitirse por inhalación o ingestión de partículas de polvo orgánico.

3.2. Ciclo del agua en el contexto urbano

La AU en una ciudad circular debe satisfacer sus necesidades de agua mediante recursos hídricos que se originen dentro de la cuenca hidrográfica urbana, sin utilizar los recursos hídricos disponibles del grifo. Los recursos hídricos óptimos para las iniciativas de AU comprenden la lluvia natural, el uso de agua de lluvia almacenada temporalmente en cisternas o el uso de aguas residuales urbanas. El uso de “aguas grises” tratadas o sin tratar está recibiendo cada vez más atención, ya que también recupera recursos de

fertilizantes como el nitrógeno, el potasio, el calcio, el magnesio, el sodio y el fósforo. Las “aguas grises” se definen como las aguas residuales domésticas exceptuando las procedentes del inodoro. Los principales problemas de la reutilización de las aguas grises han sido los problemas de percepción de la salud pública y la tecnología inadecuada para la opción de reutilización. La cantidad de aguas grises producidas en un hogar puede variar enormemente, desde 15 litros por persona y día en zonas pobres hasta varios cientos por persona y día. Los factores que explican estas enormes disparidades se atribuyen principalmente a la ubicación geográfica, el estilo de vida, las condiciones climáticas, el tipo de infraestructura, la cultura y los hábitos, entre otros. Las aguas grises representan hasta el 75% del volumen de aguas residuales producidas por los hogares, y esto puede aumentar hasta cerca del 90% si se utilizan inodoros químicos (Oteng-Peprah et al., 2018). Algunos estudios han demostrado que las aguas residuales ricas en nutrientes pueden reutilizarse de forma productiva en los sistemas agrícolas urbanos y periurbanos, contribuyendo al rendimiento de los cultivos y mejorando la fertilidad del suelo, lo que aumenta la resiliencia de las zonas urbanas.

Conceptos clave y vocabulario

Agricultura sostenida por la comunidad (Community Supported Agriculture- CSA): es un sistema que conecta más estrechamente al productor y al consumidor dentro del sistema alimentario al permitirle suscribirse a la cosecha de una determinada explotación o grupo de explotaciones. Es un modelo socioeconómico alternativo de agricultura y distribución de alimentos que permite al productor y al consumidor compartir los riesgos de la producción.

Biofiltro: El componente de las unidades de tratamiento de un sistema de acuicultura en el que los contaminantes orgánicos se descomponen (principalmente se oxidan), como resultado de la actividad microbiológica. Los procesos más importantes son la degradación de los metabolitos del nitrógeno por parte de las bacterias heterótrofas, y la oxidación del amoníaco a través del nitrito a nitrato.

Compost: materia orgánica que se ha descompuesto en un proceso llamado compostaje. Este proceso recicla diversos materiales orgánicos que, de otro modo, se consideran productos de desecho y produce un fertilizante para el suelo (el compost).

Cultivo en aguas profundas: método hidropónico de producción de plantas mediante la suspensión de las raíces de las plantas en una solución de agua oxigenada y rica en nutrientes. También conocido como sistemas de balsa/estanque o de flotación, este método utiliza balsas flotantes para suspender las raíces de las plantas en un estanque de agua que suele tener entre 10 y 20 cm de profundidad.

Densidad de población: expresión del número de peces por unidad de superficie o del peso de los peces por unidad de volumen de agua en el momento de la siembra.

Hidroponía: El cultivo de plantas sin tierra. Las plantas se alimentan con una solución porosa de nutrientes y las raíces se apoyan en una matriz inerte o flotan libremente en la solución nutritiva.

Índice de conversión alimentaria: La proporción que ayuda a equilibrar un sistema de acuaponía, relacionando la de alimentación con la superficie de crecimiento de las plantas.

Técnica de la película nutritiva: técnica hidropónica en la que en una corriente muy poco profunda de agua que contiene todos los nutrientes disueltos necesarios para el crecimiento de las plantas se hace recircular a través de las raíces desnudas de las plantas en un conducto hermético, también conocido como canales.

Zonificación: método de planificación urbana en el que un municipio u otro nivel administrativo divide el terreno en áreas denominadas zonas, dentro de las cuales se permiten o prohíben determinados usos del suelo.

Sección de evaluación

1. Una CSA urbana es
 - **Un sistema que pone en contacto al productor y al consumidor, compartiendo los costes y los riesgos de la actividad agrícola, y los productos**
 - Un sistema de distribución de productos agrícolas
 - Un sistema de producción agrícola
2. Para iniciar una actividad de CSA urbana con 30 suscriptores, ¿cuántas hectáreas de terreno se necesitan?
 - **0,5 ha como mínimo**
 - 15 ha como mínimo
 - 50 ha como mínimo
3. Para iniciar una CSA urbana, los principales retos relacionados con la ubicación son
 - **Zonificación, contaminación del suelo y disponibilidad de agua**
 - Altitud del lugar, condiciones climáticas y disponibilidad de agua
 - Aceptación del vecindario, altitud y contaminación del suelo
4. ¿Qué es lo que permite que los huertos en azoteas sean innovadores en comparación con los sistemas tradicionales de agricultura urbana?
 - **Utilizan espacios urbanos poco explorados evitando la competencia del suelo**
 - Puede utilizarse con fines socioeducativos
 - Se puede realizar en condiciones protegidas (invernaderos en azoteas)
5. Seleccione la afirmación correcta:
 - Los huertos en azoteas no puede realizarse en condiciones al aire libre
 - **Los huertos en azoteas puede crecer con sistemas de suelo o sin suelo**

- Los huertos en azoteas no puede aplicar tecnologías domésticas (por ejemplo, contenedores reciclados rellenos de tierra)
6. Antes de iniciar una explotación agrícola en la azotea hay que definir
- Acceso a la azotea
 - Cultivos
 - **Objetivo del cultivo**
7. El objetivo de los huertos en azotea lo llevan a cabo principalmente...
- Empresas agrícolas
 - **Hoteles y restaurantes**
 - Organizaciones sin ánimo de lucro
8. Los huertos en azotea para la innovación tiene como objetivo...
- **Evolucionar y mejorar el sector de la agricultura en azotea**
 - Ofrecer un lugar agradable donde recrearse
 - Enseñar valores sociales y ecológicos
9. Los huertos urbanos en azotea se llevan a cabo principalmente en...
- Centros de investigación
 - **Edificios residenciales**
 - Cafeterías
10. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es incorrecta?
- La excesiva exposición al viento puede representar un límite para la elección del emplazamiento
 - Hay que comprobar los códigos de zonificación antes de realizar una explotación agrícola en la azotea
 - **Una explotación agrícola en la azotea puede realizarse en cualquier tipo de tejado plano**
11. Para elegir el emplazamiento adecuado para una explotación agrícola en la azotea hay que comprobar...
- **La capacidad de carga de la azotea**
 - Fachada del edificio
 - Aislamiento acústico del edificio
12. El primer paso que hay que dar para la realización de una explotación agrícola en la azotea es
- Construir la infraestructura principal
 - **Realizar un plan conceptual**
 - Desarrollar un plan de construcción
13. En una explotación agrícola en la azotea hay que evitar utilizar...
- Agua de lluvia recogida
 - **Fertilizantes y pesticidas químicos**
 - Compost

14. La acuaponía es la combinación de:

- Agricultura y acuicultura
- **Acuicultura e hidroponía**
- La aeroponía y la agricultura

15. La acuaponía se considera un sistema de producción circular porque:

- El agua y los nutrientes que se liberan del sistema de acuicultura se pierden en el medio ambiente
- **El agua y los nutrientes que se liberan del sistema de acuicultura pueden utilizarse para regar y alimentar las plantas de un sistema hidropónico productivo**
- El agua y los nutrientes que se liberan del sistema de acuicultura pueden utilizarse para cultivar otros peces en otra unidad de acuicultura

16. Un biofiltro se utiliza para

- **Albergar bacterias que transforman el amoníaco en nitrato**
- Purificar el agua de los residuos procedentes del cultivo de plantas
- Purificar el agua que recircula dentro del sistema por la contaminación ambiental

17. Las características óptimas de una pecera para un sistema acuapónico son:

- **De forma redonda, de plástico y de color blanco**
- De forma rectangular, de plástico y de color negro
- De forma redonda, metálica y de color negro

18. Un biofiltro no es necesario en un sistema acuapónico...

- **Cuando las plantas se cultivan en un lecho de cultivo de medios y la densidad de población de peces es baja**
- Cuando las plantas se cultivan en una unidad hidropónica con una baja densidad de población
- Cuando hay un filtro mecánico en el sistema

19. En un sistema acuapónico, los rangos óptimos de pH:

- 2 y 4
- 4 y 6
- **6 y 8**

20. En un sistema acuapónico, los rangos óptimos de concentración de oxígeno disuelto son:

- 0 - 3 mg L⁻¹
- **4 - 8 mg L⁻¹**
- 8 - 10 mg L⁻¹

21. El ratio de alimentación es:

- **La proporción evalúa la cantidad de alimento para peces que debe añadirse cada día al sistema teniendo en cuenta la superficie disponible para el crecimiento de las plantas**
 - La proporción evalúa la cantidad de alimento diaria asimilada por los peces
 - La proporción evalúa la cantidad de plantas que crecen en el sistema
22. El ratio de alimentación para las hortalizas de hoja verde varía:
- **40-50 g m²/día**
 - 10-30 g m²/día
 - 100-150 g m²/día
23. El volumen del biofiltro debe calcularse teniendo en cuenta
- **La cantidad de alimento que entra en el sistema diariamente**
 - La cantidad de plantas cultivadas
 - La cantidad de peces cultivados
24. Las especies más comunes que se cultivan en un sistema acuapónico son
- **Lechuga y tilapia**
 - Tomate y tiburón
 - Calabacín y pez gato
25. Dentro de un sistema acuapónico, alimentar a los peces es una
- **Actividad diaria**
 - Actividad semanal
 - Actividad mensual
26. Dentro de un sistema acuapónico, las pruebas de calidad del agua deben realizarse
- Diariamente
 - **Semanalmente**
 - Mensualmente
27. ¿Qué es una granja vertical?
- **El cultivo de plantas en estructuras de soporte o estantes en dirección ascendente.**
 - El cultivo especializado de plantas trepadoras en sistemas de formación vertical.
 - Tipo de agricultura en la que los agricultores cultivan productos agrícolas ya sea con fines domésticos, industriales o comerciales.
28. ¿Dónde se ubican normalmente las explotaciones verticales?
- En zonas rurales.
 - **Zonas urbanas y periurbanas.**
 - En tierras fértiles.
29. ¿Dónde se ubican normalmente las granjas verticales?
- En parques urbanos y contenedores de transporte.
 - En supermercados y contenedores de transporte.

- **En estructuras de edificios y contenedores de transporte.**
30. ¿Cuáles son los principales factores a tener en cuenta a la hora de diseñar una granja vertical?
- La selección de los cultivos, el medio de cultivo y su solución nutritiva, el control climático y el envasado de los alimentos.
 - **Selección de cultivos, entorno de iluminación y espaciado de los cultivos, medio de cultivo y su solución nutritiva, control climático.**
 - Selección de cultivos, medio de cultivo y su solución nutritiva, transporte de alimentos, envasado de alimentos.
31. ¿Qué tipo de cultivos son adecuados para una granja vertical?
- Cereales.
 - **Hierbas y verduras de hoja verde.**
 - Cultivos de raíces y tubérculos.
32. ¿Cuál es la solución de iluminación más interesante del mercado actual de la agricultura vertical?
- Lámparas fluorescentes.
 - Lámparas de sodio de alta presión.
 - **Lámparas de diodos emisores de luz.**
33. La composición de la solución nutritiva aportada a las plantas debe ser la misma para todas las especies de cultivo.
- Verdadero.
 - **Falso, puede alterarse en función de las necesidades de cada cultivo.**
 - Falso, se puede alterar en función de las condiciones climáticas.
34. La principal barrera para poner en funcionamiento una granja vertical es...
- La necesidad de trabajadores experimentados.
 - **El alto coste de inversión inicial.**
 - La alta gestión tecnológica.
35. ¿Cuál de estas es una oportunidad que ofrece una granja vertical frente a la tradicional?
- Menor necesidad de energía.
 - **Evitar pérdidas de cultivos por fenómenos meteorológicos o cambios estacionales.**
 - Gran variabilidad de los cultivos.
36. ¿Cómo puede ser más sostenible la agricultura vertical?
- **Incorporando soluciones renovables al sistema.**
 - Reduciendo el consumo de agua.
 - Desarrollando una estrategia de comercialización adecuada.
37. ¿Cuál es la última fuente de agua que debería utilizarse en un contexto urbano?
- Aguas grises

- Aguas pluviales
- **Agua del grifo**

38. La carga estructural de una cubierta verde intensiva es

- **180-500 kg/m²**
- 60-150 kg/m²
- 120-200 kg/m²

39. La profundidad del sustrato de una cubierta verde extensiva es:

- **60-200 mm**
- 120-250 mm
- 150-400 mm

40. El material de cubierta de un invernadero en la azotea debe tener:

- **Mínima absorción de la radiación solar**
- Máxima absorbencia de la radiación solar
- Debe filtrar la luz

Actividades / ejercicios

- 1) Mediante el uso de Google Earth, mapee las azoteas de su vecindario y trate de cuantificar la productividad potencial como esta superficie (siga la metodología reportada en **Orsini et al., 2014**).
- 2) Trate de dimensionar una explotación acuapónica (siguiendo el ejemplo de la Imagen 13), evaluando su productividad potencial. Intente también diseñar una posible estrategia de mercado para vender su producto.

Recursos útiles

[Allotment Holders Handbook - A guide to allotment gardening](#)

[A guide to designing and implementing allotment gardens](#)

[How to organize an allotment community garden](#)

[The HORTIS project outputs](#)

[Seeds's gardening toolkit: building community gardens](#)

[Community garden best practices toolkit](#)

[Overview of community supported agriculture in Europe](#)

[Local Harvest: a multifarm CSA handbook](#)

[Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops](#)

[There's something growing in the roof](#)

[Small-scale aquaponic food production](#)

[Rooftop Agriculture](#)

[The future of farming is vertical](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=HHDgsK09-1k>

<https://www.youtube.com/watch?v=AmAGgb66lDw>

https://www.youtube.com/watch?v=ME_rprRImMM

Bibliografía, referencias y links para ampliar conocimientos.

Appolloni, E., Orsini, F., Specht, K., Thomaier, S., Sanyé-Mengual, E., Pennisi, G., Gianquinto, G. (2020). The global rise of Urban Rooftop Agriculture: a meta-analysis. *Nature food*. Under review.

Caputo, S., Iglesias, P., & Rumble, H. (2017). Elements of Rooftop Agriculture Design. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 39-59). Springer, Cham.

Fairholm J (1999) Urban agriculture and food security initiatives in Canada: a survey of Canadian non-governmental organizations, (IDRC). [Online] Available at: <https://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/8568/24/117781.pdf>.

Germain, A., Grégoire, B., Hautecoeur, I., Ayalon, R., & Bergeron, A. (2008). Guide to Setting Up Your Own Edible Rooftop Garden. *Alternatives and the Rooftop Garden Project*.

Grewal SS, Grewal PS (2012) Can cities become self-reliant in food? *Cities* 29:1–11

Gruda, N., Qaryouti, M. M., & Leonardi, C. (2013). Growing media. Good agricultural practices for Greenhouse Vegetable Crops-Principles for Mediterranean Climate Areas. *Plant Production and Protection*. FAO, Rome. Paper, 217, 271-302.

Junge, R., Antenen, N., Villarroel, M., Griessler Bulc, T., Ovca, A., & Milliken, S. (Eds.) (2020). *Aquaponics Textbook for Higher Education*. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3948179>.

Kozai, T., & Niu, G. (2016). Plant factory as a resource-efficient closed plant production system. In *Plant Factory* (pp. 69-90). Academic Press.

Montero, J. I., Baeza, E., Muñoz, P., Sanyé-Mengual, E., & Stanghellini, C. (2017). Technology for Rooftop Greenhouses. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 83-101). Springer, Cham.

Orsini, F., Gasperi, D., Marchetti, L., Piovene, C., Draghetti, S., Ramazzotti, S., ... & Gianquinto, G. (2014). Exploring the production capacity of rooftop gardens (RTGs) in urban agriculture: the potential impact on food and nutrition security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna. *Food Security*, 6(6), 781-792.

Orsini, F., Dubbeling, M., De Zeeuw, H., & Gianquinto, G. (Eds.). (2017). *Rooftop urban agriculture*. Springer International Publishing

Orsini, F., Pennisi, G., Michelon, M., Minelli, A., Bazzocchi, G., Sanyé-Mengual, E., Gianquinto, G. (2020a). Features and functions of urban agriculture in the Global North: a review. *Frontiers in sustainable food systems*. Under review.

Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813-842.

- Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., ... & Marcelis, L. F. (2019a). Unraveling the role of red: blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in plant science*, 10, 305.
- Pennisi, G., Orsini, F., Blasioli, S., Cellini, A., Crepaldi, A., Braschi, I., ... & Gianquinto, G. (2019b). Resource use efficiency of indoor lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation as affected by red: blue ratio provided by LED lighting. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.
- Pennisi, G., Orsini, F., Landolfo, M., Pistillo, A., Crepaldi, A., Nicola, S., ... & Gianquinto, G. (2020a). Optimal photoperiod for indoor cultivation of leafy vegetables and herbs. *Eur. J. Hortic. Sci*, 85, 329-338.
- Pennisi, G., Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S., ... & Marcelis, L. F. (2020b). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Scientia Horticulturae*, 272, 109508.
- Pilley, G. (2001). A share in the harvest-a feasibility study for community supported agriculture.
- Rodríguez-Delfín, A., Gruda, N., Eigenbrod, C., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2017). Soil based and simplified hydroponics rooftop gardens. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 61-81). Springer, Cham.
- Sallenave, R. 2016. Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems. New Mexico State University Circular 680.
- Sanyé-Mengual E, Orsini F, Oliver-Solà J, Rieradevall J, Montero JI, Gianquinto G (2015a). Techniques and crops for efficient rooftop gardens in Bologna, Italy. *Agron Sustain Dev*. doi:10.1007/s13593-015-0331-0
- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., & Gruda, N. (2013). Soilless culture. *FAO plant production and protection paper*, 217, 303-354.
- Schenk, J., & Hotchkiss, J. (2013). *Starting Your Urban CSA: A Step-by-Step Guide to Creating a Community-Supported Agriculture Project in Your Urban Neighborhood*. Bold Face Press.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (589), 1.
- Taylor, J. R., and Taylor Lovell, S. (2014). Urban home food gardens in the Global North: research traditions and future directions. *Agric. Human Values* 31, 285-305. doi: 10.1007/s10460-013-9475-1
- Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U. B. et al. (2015). Farming in and on urban buildings: present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renew. Agric. Food Syst.* 30, 43-54. doi: 10.1017/S1742170514000143

RESUMEN

MÓDULO 2

El módulo 2 analiza los aspectos técnicos de la Agricultura Urbana (AU), mostrando las características de los sistemas de agricultura urbana tradicionales e innovadores. En particular, se entiende por sistemas tradicionales aquellas formas de AU aplicadas en terrenos urbanos no utilizados, que pueden ser privados, cedidos por el municipio u ocupados temporalmente. Esta forma de agricultura puede llevarse a cabo principalmente de dos maneras: los huertos para autoabastecimiento y los huertos comunitarios. Mientras que los primeros se dedican principalmente a la autoproducción, los huertos comunitarios, también conocidos como Agricultura Apoyada por la Comunidad (AAC), se centran más en el compromiso social y la generación de ingresos. De hecho, la CSA se caracteriza por el hecho de que un grupo de consumidores se reúna con los agricultores locales para compartir los costes agrícolas (por ejemplo, el alquiler de la tierra, las semillas, las herramientas y los salarios de los agricultores), así como los productos finales de la explotación. Sin embargo, antes de construir una CSA hay que tener en cuenta muchos aspectos, entre ellos: las personas implicadas, la dimensión y las características del lugar, la definición del tamaño y el precio compartido, la definición de las actividades agrícolas a realizar, la modalidad de distribución de los productos.

En cuanto a los sistemas de producción innovadores de la AU, se trata de toda nueva forma de agricultura aplicada independientemente del uso del suelo y a menudo tecnológicamente avanzada. Dentro de esta categoría, podemos encontrar: agricultura en azotea, la acuaponía urbana y la agricultura vertical. La agricultura en azotea es una forma innovadora de UA en edificios, que puede aplicarse tanto en condiciones protegidas (invernaderos en azoteas) como no protegidas (granjas/huertos en azoteas al aire libre), con un grado tecnológico de cultivo que va desde la tierra en contenedores hasta sistemas sin tierra (hidropónicos). La acuaponía urbana es un sistema biointegrado de producción de alimentos, que consiste en la combinación entre la actividad piscícola (acuicultura) y el sistema de producción de plantas sin suelo (hidroponía), para garantizar una producción sostenible sin uso de fertilizantes químicos. Por último, la agricultura vertical es la forma más avanzada tecnológicamente de la AU, caracterizada por un cultivo interior en más capas, en ambientes controlados y aislados por el contexto exterior, utilizando tecnología hidropónica e iluminación artificial.