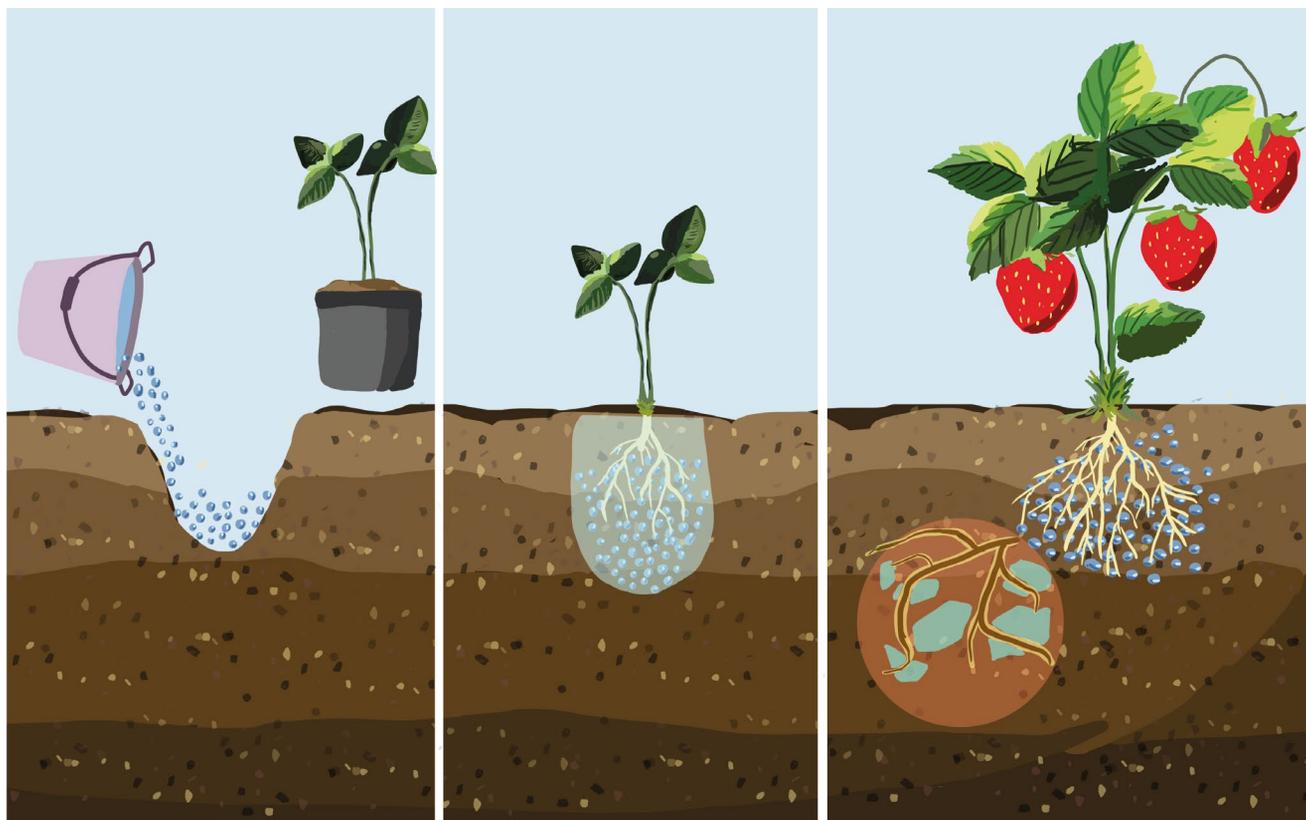


Tecnologías para la agricultura urbana

Marisol Osorio Cárdenas, Carlos Augusto Hincapié Llanos, Gustavo Adolfo Hincapié Llanos,
Mabel Milena Torres Taborda, Natalia Jaramillo Quiceno, Catalina Álvarez López,
Jorge Andrés Cardona Gil, Andrés Felipe Ríos Mesa, Jorge Mario Garzón González,
Dagoberto Castro Restrepo



Tecnologías para la agricultura urbana

Cartilla de tecnologías básicas

Investigadores de la Universidad Pontificia Bolivariana:

Marisol Osorio Cárdenas

Carlos Augusto Hincapié Llanos

Gustavo Adolfo Hincapié Llanos

Mabel Milena Torres Taborda

Natalia Jaramillo Quiceno

Catalina Álvarez López

Jorge Andrés Cardona Gil

Andrés Felipe Ríos Mesa

Investigadores de la Universidad Católica de Oriente:

Jorge Mario Garzón González

Dagoberto Castro Restrepo

630.9
083

Osorio Cardenas, Marisol autor
Tecnologías para la agricultura urbana / autores Marisol Osorio Cárdenas
[y otros 7] -- 1 edición -- Medellín: UPB, 2024 -- 46 páginas: 19 x 24 cm.
ISBN: 978-628-500-154-3

1. Agricultura urbana - 2. Agua - Abastecimiento agrícola - 3. Agricultura
- Innovaciones tecnológicas - 3. Suelo agrícola - 4. Suelos - Análisis -
5. Técnicas agrícolas

UPB-CO / spa / RDA
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Marisol Osorio Cárdenas
© Carlos Augusto Hincapié Llanos
© Gustavo Adolfo Hincapié Llanos
© Mabel Milena Torres Taborda
© Natalia Jaramillo Quiceno
© Catalina Álvarez López
© Jorge Andrés Cardona Gil
© Andrés Felipe Ríos Mesa
© Jorge Mario Garzón González
© Dagoberto Castro Restrepo
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

Tecnologías para la agricultura urbana

ISBN: 978-628-500-154-3

Primera edición, 2024

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Química

Esta cartilla es producto del programa Tecnologías en Agricultura Urbana TAU, convocatoria Minciencias 852, 2019. Está financiado con recursos provenientes del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas. Número de contrato: 127-2021

Radicado: 688c-09/21-49: Desarrollo de materiales absorbentes a partir de polímeros naturales para la liberación controlada de fertilizantes en agricultura urbana. Proyecto del programa tecnologías en agricultura urbana. Código registro Minciencias: 72205

Radicado: 689c-09/21-49: Incremento integral de la eficiencia económica y la sostenibilidad de sistemas acuapónicos urbanos.

Proyecto del programa tecnologías en agricultura urbana. Código registro Minciencias: 72099

Radicado: 690c-09/21-09: Sistema de riego inteligente para agricultura urbana. Proyecto del programa tecnologías en agricultura urbana.

Código registro minciencias: 72110

Radicado: 691c-09/21-09: Sistema de monitoreo y control para un cultivo aeropónico. Proyecto del programa tecnologías en agricultura urbana.

Código registro Minciencias: 72137

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Padre Diego Marulanda Díaz

Vicerrector Académico: Álvaro Gómez Fernández

Escuela de Ingenierías: Roberto Carlos Hincapié Reyes

Facultad de Ingeniería Química: Fabio Castrillón Hernández

Coordinación Editorial: Lisa María Colorado Rodríguez

Corrección de estilo: Weimar Toro

Producción: Ana Milena Gómez Correa

Diagramación: María Isabel Arango Franco

Ilustraciones interiores: Sergio Román

Ilustraciones interior y portada: Sergio Román

Dirección Editorial

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2024

Correo electrónico: editorial@upb.edu.co

www.upb.edu.co

Medellín - Colombia

Radicado: 2336-04-12-24

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Tabla de contenido

Tecnologías para la siembra en suelo	7
El Suelo.....	7
Componentes del suelo.....	7
Sistemas automáticos de riego.....	9
Consideraciones sobre el cultivo	9
Sistemas de riego automáticos simples	10
Sistema de riego básico por gravedad.....	11
Sistema de riego sencillo automatizado.....	13
Materiales para retención de agua en suelo.....	19
Hidrorretenedores naturales u orgánicos.....	19
Retenedores de agua para la agricultura urbana	20
Mecanismo de acción de los hidrogeles.....	21
¿Qué tipo de hidrogeles se encuentran en el mercado?.....	22
Componentes más comunes de los hidrogeles sintéticos	22
que se encuentran en el mercado:	22
Composición de algunos hidrogeles híbridos (sintético + natural)	
o naturales que se encuentran en el mercado:	22
Cómo utilizar los hidrogeles.....	22
Dosificación recomendada para la horticultura y la j ardinería a campo abierto.....	25

Tecnologías para cultivo sin suelo.....	27
Aeroponía	27
Sistema aeropónico básico.....	29
Fertilización en los sistemas aeropónicos.....	31
Monitoreo en sistemas aeropónicos	31
Acuaponía	33
Conceptos más importantes	33
¿Cómo construir un sistema acuapónico?	36
Operación del sistema	41
Referencias.....	43
Bibliografía adicional.....	44
Reseña de autores.....	45

Tecnologías para la siembra en suelo

El Suelo

El suelo es la parte superior de la corteza terrestre, con capacidad de soportar la vida vegetal si las condiciones del clima lo permiten. Es el producto de la interacción entre el material mineral originario y los agentes transformadores como el clima, la vegetación, los otros seres vivos y el relieve que actúan en el tiempo. (Gómez, 2000, p. 4)

Componentes del suelo

El suelo no es un material homogéneo. Se compone de diferentes elementos que pueden apreciarse en la Ilustración 1.

Ilustración 1: Composición del suelo

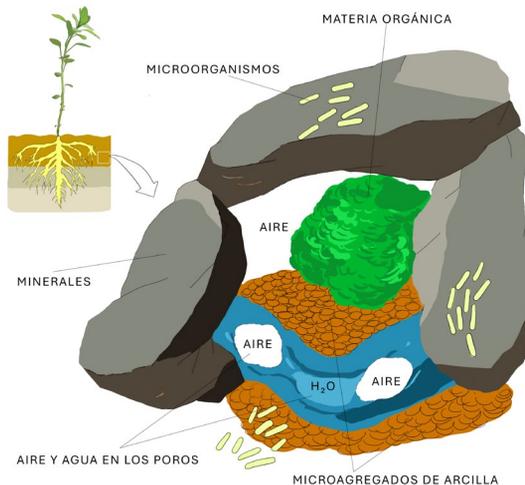
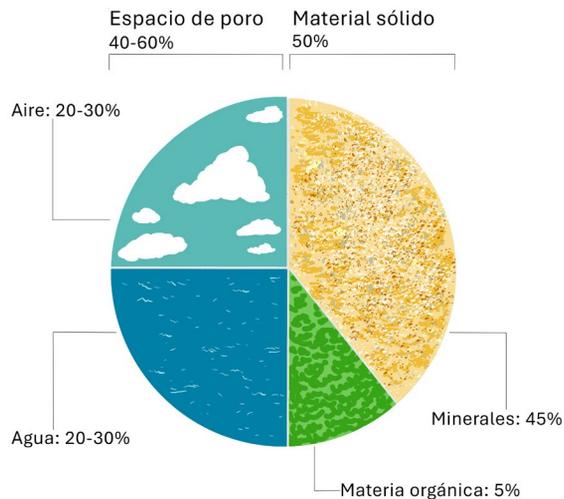


Ilustración 2: Distribución típica de componentes del suelo.



- **Minerales:** son aquellos elementos inorgánicos (potasio, fósforo, calcio y magnesio, entre otros) que determinan la estructura del suelo. Según su estructura, los suelos pueden clasificarse como arenosos (grano grueso, estructura muy aireada), francos (granos gruesos y finos, aireación media), o arcillosos (granos muy finos y aireación baja).
- **Agua:** es fundamental para la hidratación de las plantas, de manera que puedan realizar adecuadamente el proceso de fotosíntesis.
- **Aire:** es tan importante como el agua, pues las raíces de las plantas deben respirar para absorber adecuadamente el agua y los nutrientes. El aire forma espacios, llamados "poros" que permiten el crecimiento de las raíces.
- **Materia orgánica:** son compuestos orgánicos en descomposición que dan estructura al suelo, pues ayudan a formar agregados, es decir, a que las partículas pequeñas se unan para formar otras más grandes. También promueven la retención de agua y, a largo plazo, entregan nutrientes al suelo y a las plantas.
- **Microorganismos:** son las bacterias y los hongos que le dan vida al suelo. Se encargan de degradar la materia orgánica hasta convertirla en compuestos que la planta puede absorber.

En la Ilustración 2 puede verse la distribución típica, que puede ser variable, de los componentes del suelo que se acaban de enumerar.

Sistemas automáticos de riego

El riego busca conservar el componente agua del suelo en niveles adecuados, a pesar de que las condiciones climáticas varíen. En muchos casos, el riego es imprescindible en la agricultura urbana, para los cultivos bajo techo o cuando la lluvia no es una fuente idónea para la hidratación, debido, por ejemplo, a niveles excesivos de contaminación (González Breña, 2017).

En esta cartilla abordamos la construcción de sistemas de riego automáticos y sencillos que son fáciles de implementar, especialmente útiles en la agricultura urbana.

Consideraciones sobre el cultivo

Al elegir un cultivo, es importante considerar factores como el clima local, los requisitos de luz y agua, el espacio disponible, el tiempo de crecimiento y la resistencia a enfermedades y plagas. Estas variables determinan qué cultivos son viables y exitosos en una ubicación específica. Para ilustrar este punto, vemos en la Ilustración 3 las condiciones básicas para el cultivo de la lechuga (Aguilar *et al.*, 2014); y en la Ilustración 4, para el cultivo del rábano (Camacho Higuera *et al.*, 2015):

Ilustración 3: Condiciones básicas para cultivo de lechuga



Requerimientos de agua:

Requiere de riego regular para mantener el suelo húmedo sin encharcamiento.

Requerimientos de luz:

Necesita al menos 6 horas de luz solar directa para un buen desarrollo.

Resistencia a enfermedades y plagas:

Aunque es susceptible a enfermedades fúngicas y plagas como los pulgones, hay variedades resistentes.

Tamaño y espacio requerido:

Es una planta compacta adaptable a espacios reducidos como macetas o huertos urbanos.

Tiempo de crecimiento:

Es de crecimiento rápido y se puede cosechar de 6 a 8 semanas después de la siembra.

Ilustración 4: Condiciones básicas para el cultivo de rábano



Requerimientos de agua:
Requiere riego regular para mantener el suelo húmedo, pero no encharcado, y es más tolerante a la sequía que otras plantas.

Requerimientos de luz:
Necesita al menos 6 horas de luz solar directa para crecer adecuadamente.

Resistencia a enfermedades y plagas:
Generalmente es resistente a enfermedades y plagas, lo que lo hace relativamente fácil de cultivar.

Tamaño y espacio requerido:
Es compacto y se adapta bien a espacios reducidos, incluyendo macetas y jardineras.

Tiempo de crecimiento:
Crece rápidamente y puede ser cosechado de 3 a 4 semanas, dependiendo de la variedad.

Sistemas de riego automáticos simples

Al implementar un sistema de riego automático es importante tener en cuenta el tipo de montaje que se esté utilizando. Será necesario adaptar el sistema de riego a cada circunstancia (González Breña, 2017). Los dos sistemas de riego básicos que aquí se describen, se han instalado y ensayado previamente en montajes en maceta o módulos de riego protegidos en invernadero. Son implementables en cultivos de interior. Si se adaptan a cultivos al aire libre, se deben modificar de tal modo que sus componentes sean resistentes a la intemperie y, además, se debe verificar que la dosificación del suministro de agua se dé según las condiciones de las lluvias.

En este tipo de sistemas se utiliza el **riego por goteo** (Yagüe, 1991), que consiste en suministrar el agua gota a gota al cultivo. Este método es recomendado por su precisión y eficiencia. Con la calibración y la supervisión adecuadas, el método permite evitar el desperdicio del líquido y garantizar la humedad apropiada del suelo.

Sistema de riego básico por gravedad

- Dificultad de implementación: baja.
- Costo: bajo.
- Área de cubrimiento: pequeña.
- Mantenimiento del montaje: bajo.
- Atención requerida: frecuente.

Este es un sistema muy sencillo, que puede ser construido con materiales de reciclaje o que se pueden conseguir nuevos a muy bajo costo. No requiere alimentación ni conexiones externas, pero sí debe atenderse con frecuencia para recargar el agua. Usa la gravedad para obtener el goteo y puede regularse manualmente. Su estructura se aprecia en la Ilustración 5.

Ilustración 5: Sistema de riego básico por gravedad.



Fuente: Imagen con Licencia de Usuario Final de Microsoft Office.

Materiales necesarios:

Según se muestra en la Ilustración 5, una botella de plástico de 1.5 l con tapa (A), un tornillo goloso (B), una matera con suelo y planta (C), un destornillador (D), un soporte universal (E) que puede reemplazarse por una estaca fuerte, y una pinza de laboratorio para soporte universal (F).

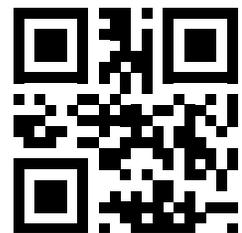
Procedimiento:

Perforar la tapa de la botella usando el destornillador y el tornillo goloso, dejando este último atornillado en la tapa. Llenar la botella completamente con agua. Colocar la botella invertida y ubicada a una altura adecuada para permitir el goteo sobre la matera, utilizando el soporte universal o la estaca y la pinza de laboratorio. Se sugiere dejar una distancia de algunos centímetros entre la botella y el suelo. El agua fluirá por el orificio debido a la gravedad y guiada por la espiral del tornillo, el cual se puede apretar o aflojar para regular la frecuencia del goteo sobre la planta.

Se sugiere que la gota caiga a algunos milímetros del tallo y debe vigilarse la formación de orificios en el suelo, debidos al goteo, puesto que podrían descubrir las raíces. Si se generan estos orificios, deben cubrirse y disminuir la distancia de la botella al suelo.

Es posible calcular el tiempo que se tarda en vaciarse la botella de agua, según el tornillo se encuentre más o menos ajustado, de la siguiente forma: En general, se considera que en un mililitro (ml) de agua hay 20 gotas. Si la botella es de litro y medio, por ejemplo, entonces contiene 1500 ml, que equivalen aproximadamente a 30.000 gotas de agua. Para saber el tiempo que le tomará vaciarse a la botella, basta con medir el tiempo que pasa entre gota y gota, y multiplicar ese tiempo por 30.000. Por ejemplo, si pasa un segundo entre gota y gota, la botella tardará en vaciarse 30.000 s, que corresponden a 500 minutos, alrededor de 8.33 horas. Si, en cambio, pasan dos segundos entre gota y gota, el tiempo de vaciado se duplicará, y vaciar la botella tomaría 16.7 horas. Es importante tener en cuenta este tiempo para considerar los ciclos de atención que requerirá el sistema de riego.

Para ver el procedimiento de construcción y funcionamiento del sistema de riego básico por gravedad, puede remitirse al video que se encuentra enlazado al código QR a continuación:

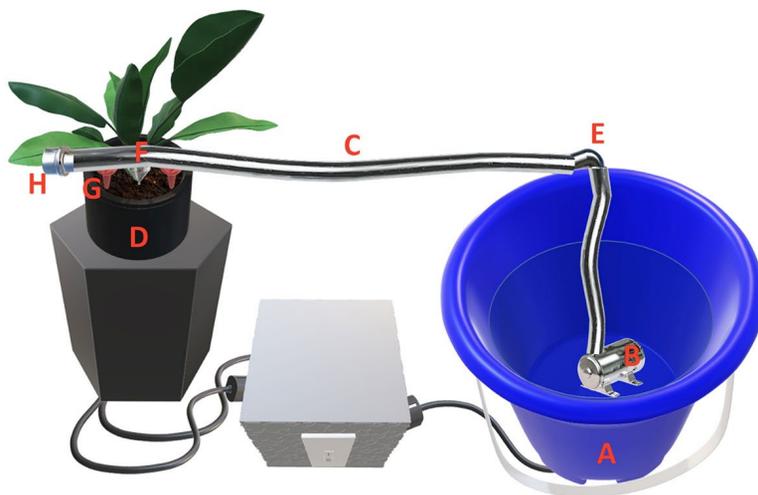


Sistema de riego sencillo automatizado

- Dificultad de implementación: media.
- Costo: medio-bajo.
- Área de cubrimiento: pequeña-media.
- Mantenimiento del montaje: bajo.
- Atención requerida: baja.

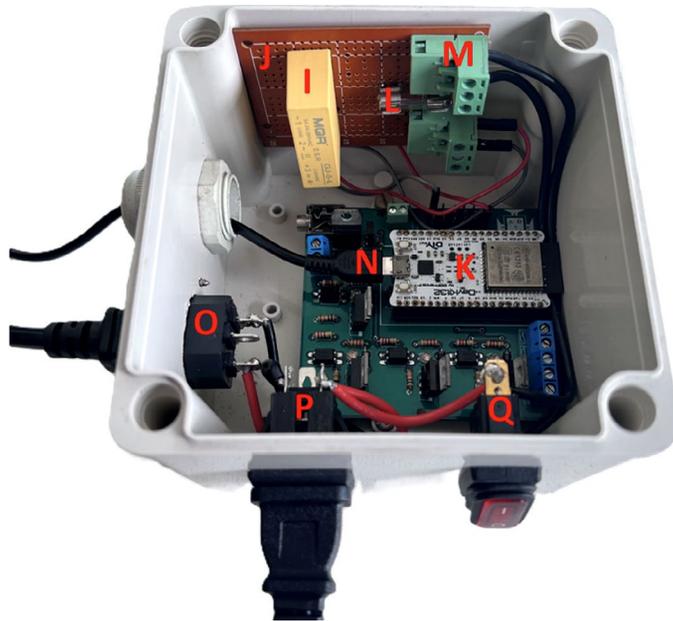
Este sistema utiliza un microprocesador tipo Arduino, que controla el encendido y apagado de una pequeña motobomba para que, cada cierto tiempo, se suministre el agua requerida por el cultivo. El intervalo de riego es programable, así que el mismo montaje se puede usar en diferentes cultivos y necesidades hídricas.

Ilustración 6: Esquema del sistema de riego sencillo automatizado.



Fuente: Imagen con Licencia de Usuario Final de Microsoft Office.

Ilustración 7: Circuito del sistema de riego sencillo automatizado.



Materiales necesarios

Materiales para el riego:

- 1 Motobomba de pecera.
- 1 Balde o recipiente lleno de agua.
- 1 Manguera de riego de 16 mm de diámetro y con la longitud suficiente para ir de la motobomba al gotero.
- 2 estacas para manguera de 16 mm.
- 1 Perforador.
- 1 Obturador tipo 8 o tapón.
- 1 Codo de 90°.
- 1 Gotero de riego.
- 1 Madera con suelo y planta.

Componentes eléctricos y electrónicos:

1 Arduino o tarjeta de desarrollo DevKit32 ESP32: se requiere un modelo de Arduino con un número adecuado de pines de entrada y salida, como el Arduino Uno (14 pines digitales y 8 pines analógicos), o la tarjeta de desarrollo DevKit32 – ESP-WROOM-32 [34 pines GPIO (*General Purpose Input Output*)], usada en este sistema de riego y programado con el IDE

(*Integrated Development Environment*) de Arduino. Con el Arduino Uno (modelo básico de Arduino) o la tarjeta de desarrollo DevKit32 – ESP-WROOM-32 u otros modelos con mayor cantidad de pines, es posible incorporar otros actuadores o cualquier otro componente.

- 1 Prensa estopa.
 - 1 Relé de estado sólido DC 3-32 VDC - 24-380 VAC.
 - 1 Caja plástica impermeable en ABS 125x125x100 mm.
 - 2 Borneras desarmables 3P.
 - 1 Circuito impreso universal.
 - 1 Fusible 1 A.
 - 1 Porta fusible.
 - 1 Adaptador 5 V - MicroUSB.
 - 1 Cable 110 VAC.
 - 1 Jack de potencia macho para chasis - AC.
 - 1 Jack de potencia hembra para chasis - AC.
 - 1 m de cable AWG 16 Negro.
 - 1 m de cable AWG 16 Rojo.
 - 1 Switch balancín rectangular impermeable para encendido.
- Cautín y estaño para soldar.

Indicaciones para los componentes

Motobomba:

Ilustración 8: Motobomba de pecera.



Usar una motobomba controlada permite regular mucho mejor la cantidad de agua que recibe la planta, así como el momento en el que la recibe. También facilita que se incorporen fuentes hídricas, como pozos o estanques, al sistema de riego.

En el sistema propuesto se puede usar una motobomba similar a las que regularmente se utiliza en las peceras (Ilustración 8), con las siguientes especificaciones:

Voltaje: 110 - 220 VAC a 60 Hz, potencia 8 W- 18 W, altura máxima: 1 m – 1.2 m, caudal máximo: 600 l/h – 1000 l/h.

Goteros:

Ilustración 9: Gotero regulable de 0 a 6 l/h.



Ilustración 10: Gotero autocompensado y antidrenante.



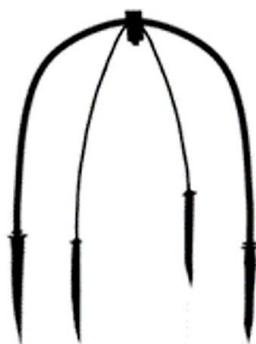
En el sistema de riego simple propuesto se usaron goteros regulables (Ilustración 9), lo que significa que permiten la regulación manual de la cantidad de agua que cada gotero entrega a las plantas.

Con el uso de los goteros se mantiene el flujo de agua constante, se minimiza el desperdicio del líquido y se distribuye el suministro en áreas mayores del suelo.

También hay goteros autocompensados y antidrenantes (Ilustración 10), que mantienen un flujo constante de agua, funcionan en un amplio rango de presiones y permiten la extensión de los ramales del sistema de riego a distancias mayores, sin afectar el flujo de agua.

Otro tipo de goteros que puede usarse es el conocido como “gotero araña” (Ilustración 11), el cual entrega directamente la gota de agua al interior del suelo. Este tipo de goteros suele ser un poco más costoso, pero tiene la ventaja de evitar la pérdida de agua por evaporación o escorrentía.

Ilustración 11: Gotero araña.



Procedimiento

Este sistema de riego sencillo automatizado (temporizado) utilizando Arduino, controla una motobomba conectada al pin 32 del microprocesador, encendiéndola y apagándola en intervalos definidos. El riego se activa durante 10 segundos cada 20 segundos, y se utiliza el monitor serial para mostrar el estado del sistema en tiempo real.

Programación del Arduino:

- En el Anexo A se encuentra el código de control de riego. Crear un nuevo archivo en el *software* de Arduino y cargarlo en el modelo de Arduino disponible. Este código controla el encendido y apagado de la motobomba.

Preparación del sistema de riego (Ilustración 6):

- Llenar de agua el balde o recipiente (A).
- Colocar la motobomba de pecera (B) dentro del balde o recipiente lleno de agua.

- Fijar la manguera de riego de 16 mm (C) a la salida de la motobomba y dirigirla hasta la planta (D) que será regada. Usar el codo de 90° (E), si se necesita cambiar la dirección de la manguera.
- Usar el perforador para hacer agujeros en la manguera y conectar el gotero de riego (F) a ella.
- Colocar las estacas (G) para fijar la manguera en el suelo de la materia (D) y asegurar una distribución uniforme del agua.
- Usar el obturador tipo 8 o tapón (H), para sellar el extremo de la manguera.

Montaje del sistema eléctrico (Ilustración 7 y Anexo B):

- Ensamblar los componentes eléctricos en la caja plástica impermeable (I) para protegerlos de la humedad.
- Soldar el relé de estado sólido al impreso universal (J) y conectarlo al Arduino (K), para controlar el encendido y apagado de la motobomba.
- Conectar y soldar el fusible de 1 A (L) y su porta fusible para proteger el circuito.
- Usar las borneras desarmables (M) y el circuito impreso universal para realizar las conexiones necesarias.
- Conectar el adaptador de 5 V (N) al Arduino a través del puerto MicroUSB. El otro extremo, al tomacorriente de la red eléctrica.
- Ensamblar los jack macho (O) y hembra (P) a la caja plástica impermeable.
- Conectar el cable de 110 VAC al jack macho y el otro extremo a la red eléctrica, para alimentar el circuito.
- Conectar la motobomba al jack hembra, para proporcionarle alimentación.
- Soldar los cables AWG 16 rojo y negro, para las conexiones de alimentación del circuito.
- Instalar el switch balancín (Q), para encender y apagar el sistema manualmente.

Para ver el funcionamiento del sistema de riego sencillo automatizado, puede remitirse al video que se encuentra enlazado al código QR a continuación:



Materiales para retención de agua en suelo

En los periodos secos, las plantas sufren estrés hídrico, que afecta la cantidad y calidad final del producto. Además, la fertilización con compuestos químicos también se ve afectada debido a que esos insumos requieren del agua como medio de incorporación al suelo. Una alternativa para la solución estos problemas es el uso de acondicionadores de suelo, los cuales son una mezcla de materiales orgánicos y minerales, y otros elementos, cuyo objetivo es mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La materia orgánica, en particular, se caracteriza por su gran capacidad de almacenamiento de agua, por lo que se le considera un retenedor natural del agua, que puede aportar a la solución de los problemas generados por la sequía.

Hidrorretenedores naturales u orgánicos

Algunos residuos orgánicos poseen una gran capacidad de almacenamiento de agua, por lo que se les puede llamar hidrorretenedores. Algunos hidrorretenedores orgánicos, provenientes de la agroindustria, que se usan en la actualidad son, por ejemplo:

- Industria maderera: aserrín, virutas y astillas, algunas cortezas de árboles.
- Industria del azúcar: cachaza, bagazo y bagacillo.
- Industria del café: cisco de café, pergamino del café.
- Industria del aceite de palma: raquis del racimo, fibra, afrecho.
- Molinería de arroz: cascarilla de arroz.
- Industria de champiñones: champiñonaza.
- Industria de jugos y frutos: diversas cáscaras y semillas.
- Industria del coco: fibra de coco.
- Industria del cacao: cáscara de cacao.
- Industria del plátano y del banano: vástago.
- Industria de las leguminosas: vainas (frijol y chachafruto).
- Industria del maíz: capacho y tusa.

Estos materiales, aunque no tienen la alta capacidad de retención de agua que suelen ofrecer los sintéticos, sí tienen, en su mayoría, una alta biodegradabilidad y pueden aportar propiedades adicionales al suelo, debido a que están compuestos de materia orgánica, cuya incorporación al suelo presenta las siguientes ventajas:

- Incrementa la capacidad de retención de humedad del suelo. Debido a su alta porosidad, la materia orgánica es capaz de retener una cantidad de agua equivalente a 20 veces su peso.
- Mejora la porosidad del suelo, lo que facilita la circulación del agua y del aire a través del perfil del suelo.

- Estimula el desarrollo radicular de las plantas.
- Mejora la estructura del suelo y le otorga mayor resistencia contra la erosión y una mejor permeabilidad, aireación y capacidad para almacenar y suministrar agua a las plantas.
- Le da un color oscuro al suelo, lo cual aumenta la temperatura y las reacciones bioquímicas que en él se desarrollan.

Otros hidrorretenedores naturales utilizados son las zeolitas, que son compuestos no orgánicos que tienen una composición similar a la de los minerales arcillosos que conforman los suelos, ya que ambos son aluminosilicatos. Estos materiales se encuentran de forma natural en rocas de origen volcánico, tienen una alta capacidad hidro-retenedora (30 a 40% de su volumen) sin afectar su estructura.

Los abonos también pueden usarse como hidrorretenedores, además de su función tradicional como mejoradores y acondicionadores del suelo. Los abonos son el resultado de la transformación biológica de materiales orgánicos de origen animal y vegetal, y suelen tener una alta carga microbiana. Además, son una importante fuente de nutrientes esenciales, y ayudan al desarrollo radicular, mejorando el sostén de las plantas.

Los abonos orgánicos más usados, como acondicionadores de suelo y como hidrorretenedores, son:

- Residuos de cosechas
- Estiércol de animales
- Compost
- Lombricompost
- Abonos verdes
- Abonos líquidos
- Biofertilizantes

Retenedores de agua para la agricultura urbana

La eficiencia del uso del agua depende de muchos factores, entre ellos el tipo de irrigación aplicada, sea sistema de riego por surcos o inundación, sistema por aspersión o riego por goteo. Este último es el más eficiente de todos, pues solo se pierde un 5 % del agua. Estos sistemas funcionan siempre que se cuente con volúmenes considerables de agua, de modo que, si es escasa, hay que buscar alternativas tecnológicas que permitan el uso eficiente del agua y la retención de humedad en el suelo.

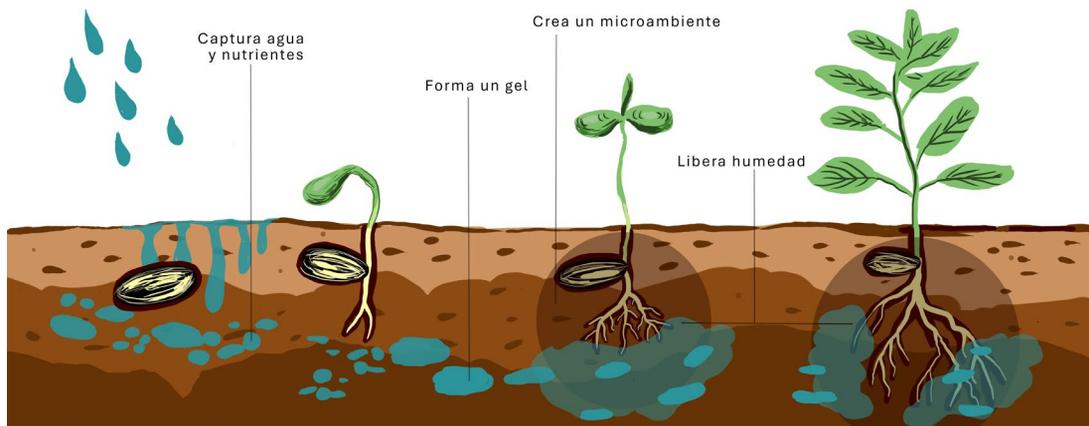
Existen materiales, denominados hidrogeles, que pueden absorber hasta 500 veces su propio volumen, por lo que logran retener una gran cantidad de agua que, luego, puede ser aprovechada para los cultivos. Estos materiales permiten mejorar la capacidad de absorción de agua de los suelos, en especial cuando no se dispone de grandes cantidades de agua para el riego, pues contribuyen a disminuir la evaporación, el lavado de nutrientes y las pérdidas por escorrentía. Además, favorecen el crecimiento de los cultivos, su rendimiento y su calidad. Se estima que los hidrogeles pueden tener una vida útil promedio de alrededor de 5 años.

En la agricultura urbana los hidrogeles se pueden usar como sustratos para enraizar plantas en macetas, en conjunto con el suelo, o con otros materiales como la arena, la vermiculita, la zeolita, la turba y el aserrín, entre otros. Su uso aumenta la disponibilidad de agua por largos periodos y disminuye la frecuencia de riego, lo que reduce las pérdidas de fertilizante, con la consecuente rebaja en las necesidades de aplicación. Una desventaja de estos materiales es su alta resistencia física a los factores del suelo, como la humedad, los microorganismos, el pH, entre otros, y esto hace que los hidrogeles sintéticos presenten baja biodegradabilidad, es decir, que no se descompongan fácilmente en el suelo tras cumplir su función.

Mecanismo de acción de los hidrogeles

En la Ilustración 12 se representa el mecanismo de acción de los hidrogeles para absorber y liberar agua en el suelo.

Ilustración 12: Mecanismo de acción de hidrogeles.



¿Qué tipo de hidrogeles se encuentran en el mercado?

En el mercado pueden encontrarse hidrogeles sintéticos o naturales. Los primeros están formados por sustancias derivadas del petróleo, y los de origen natural, compuestos por fibras naturales, almidones, proteínas, entre otros. Las ventajas de los hidrogeles de origen natural residen en que no son tóxicos, son biodegradables, tienen menores costos y pueden obtenerse de gran variedad de fuentes. La ventaja de los hidrogeles sintéticos es su mayor capacidad de retención de agua.

Componentes más comunes de los hidrogeles sintéticos que se encuentran en el mercado:

- **Poliacrilamida:** tiene baja biodegradabilidad, absorción media y estructura muy estable en agua.
- **Poliacrilato de sodio o Poli(2-propenoato):** tiene biodegradabilidad media, absorción alta, estructura medianamente estable en el agua; los iones de sodio en su estructura pueden deteriorar la estructura física del suelo.
- **Poliacrilato de potasio:** también llamado "lluvia sólida"; posee biodegradabilidad media, absorción alta y estructura medianamente estable en el agua.
- **Copolímeros de acrilamida y acrilato de potasio:** poseen biodegradabilidad media, absorción alta y estructura muy estable en el agua. Son los más comunes en el mercado.

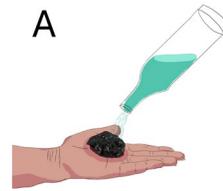
Composición de algunos hidrogeles híbridos (sintético + natural) o naturales que se encuentran en el mercado:

- Poliacrilato de potasio con algas marinas trituradas.
- Copolímero de acrilamida y acrilato de potasio con almidón.
- Biopolímeros con ácidos húmicos.
- Proteínas de seda (este es el caso de un material desarrollado en la Universidad Pontificia Bolivariana).

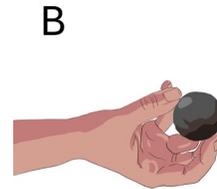
Cómo utilizar los hidrogeles

El método sencillo recomendado por la FAO (2016), para determinar si el suelo que se tiene disponible en la huerta presenta una estructura en la que el uso de los hidrogeles sea potencialmente beneficioso, es decir, suelos gruesos y muy aireados (arenosos, francos y sus variaciones), consiste en los siguientes pasos:

Tome una muestra de suelo (A); mójela un poco en la mano hasta que sus partículas comiencen a unirse, pero sin que se adhiera a la mano.

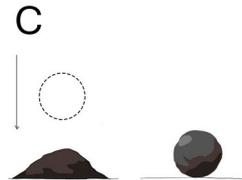


Amase la muestra de suelo hasta que forme una bola de unos 3 cm de diámetro (B).



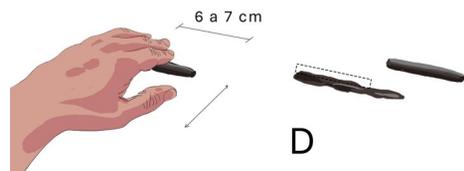
Deje caer la bola (C) y observe:

- Si se desmorona, el suelo es muy arenoso.
- Si mantiene la cohesión, realice el siguiente ensayo.



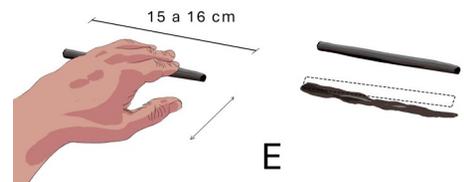
Amase la bola en forma de un cilindro de 6 a 7 cm, de longitud (D) e identifique:

- Si no mantiene esa forma, el suelo es arenoso franco.
- Si mantiene esa forma, realice el siguiente ensayo.



Continúe amasando el cilindro hasta que alcance de 15 a 16 cm de longitud (E) y note:

- Si no mantiene esa forma el suelo es franco arenoso.
- Si mantiene esa forma, realice el siguiente ensayo.



Trate de doblar el cilindro hasta formar un semi-círculo (F) y observe:

- Si no puede, el suelo es franco.
- Si puede, realice el siguiente y último ensayo.



Siga doblando el cilindro hasta formar un círculo cerrado (G) e identifique:

- Si no puede, el suelo es franco pesado.
- Si puede y se forman ligeras grietas en el cilindro, es arcilla ligera.
- Si puede hacerlo sin que el cilindro se agriete, es arcilla.



En estos tres últimos casos NO se recomienda aplicar hidrogeles.

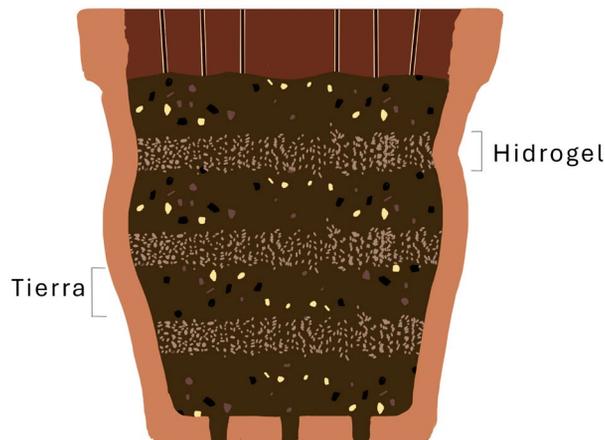
Mezcla con sustrato (para plantas en maceta):

De ½ cucharada de hidrogel en 1 l de suelo (5 g/L).

Descripción del método de mezcla:

- Llenado de las macetas: a medida que se llena la maceta, se recomienda alternar capas de tierra y de hidrogel como se muestra en la Ilustración 13.
- Si se van a utilizar varias macetas, se recomienda premezclar el hidrogel con la cantidad específica de sustrato recomendada en el punto anterior.

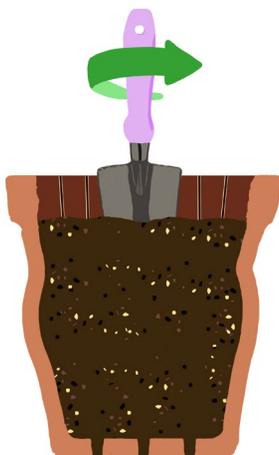
Ilustración 13: Disposición del suelo y del hidrogel en las macetas.



- Mezclar el suelo: antes de agregar la última capa de tierra se debe mezclar el suelo con el hidrogel para distribuir uniformemente todo el material en la maceta, como se muestra en la Ilustración 14.
- Riego: después de plantar, riegue abundantemente para comenzar a hidratar el hidrogel. Riegue de nuevo después de 2 o 3 horas, para asegurar la hidratación.

Nota: a medida que el hidrogel se hidrata, este permanecerá en su lugar. Esto significa que su acción de hinchazón no perturbará a la planta y no la hará moverse en la maceta.

Ilustración 14: Mezclado del suelo.

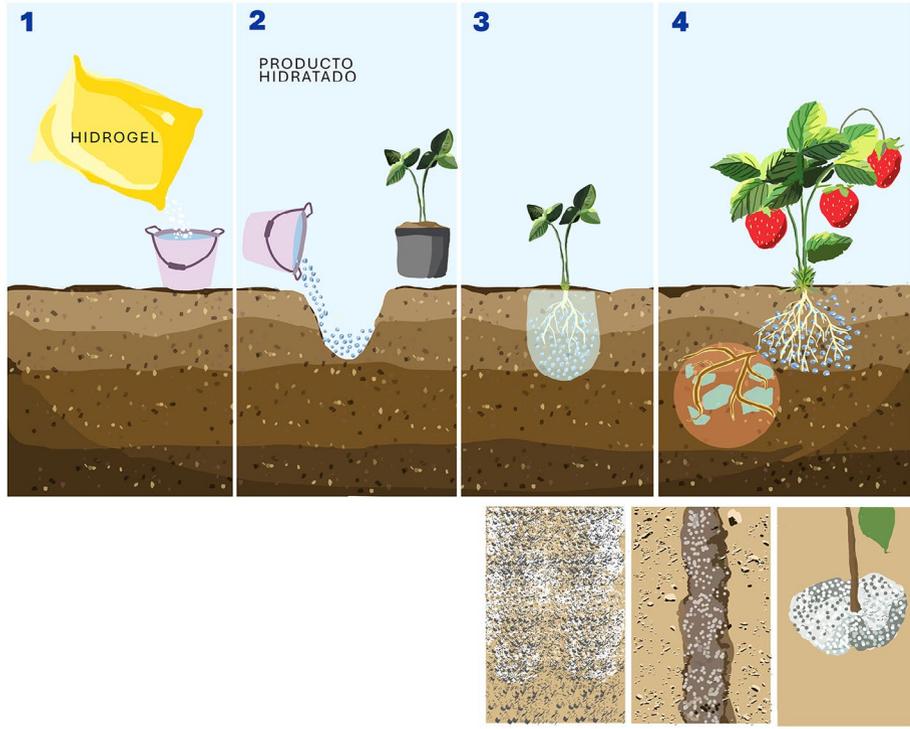


Dosificación recomendada para la horticultura y la jardinería a campo abierto

Hidratación previa para luego incorporar en suelo:

- Adicionar $\frac{1}{2}$ cucharada de hidrogel en 1 l de agua (esta cantidad puede ser utilizada para 1 o 2 plantas).
- Dejar en reposo de 15 a 60 min.
- Agregar el producto hidratado en el agujero que se ubicará la planta.
- Plantar y cubrir con suelo sin hidrogel.
- Ver representación del proceso en la Ilustración 15.

Ilustración 15: Aplicación del hidrogel.

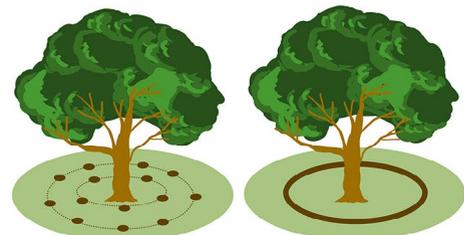


Con hidrotenedor

El agua se mantiene en gel mientras la planta la va absorbiendo.

Sin hidrotenedor

No se captura el agua, la poca lluvia no se retiene cerca de la raíz.



Huecos

Sendero

Tecnologías para cultivo sin suelo

En algunas circunstancias, existen razones para optar por el cultivo en sustratos diferentes al suelo, tales como el agua, la arena, la turba, la corteza de pino, la fibra de coco, la lana de roca o la arcilla expandida, entre otros. Este tipo de sustratos, si bien pueden requerir una inversión más alta a la hora de instalar el cultivo y no estar tan fácilmente disponibles como el suelo, permiten una mayor flexibilidad de los sistemas de cultivo y más facilidad en la automatización de los procesos, como el riego y la fertilización, así como ciertas ventajas en cuanto al control de las plagas que se propagan por el suelo. Las técnicas desarrolladas para el cultivo sin suelo se suelen denominar "hidroponía".

En lo que sigue, se discuten dos de las aproximaciones al cultivo sin suelo: la *aerponía* y la *acuaponía*.

Aerponía

Algunas plantas son capaces de crecer sobre rocas cercanas a caídas de agua, y con sus raíces expuestas al aire, es decir sin sustrato. Esto hizo que algunos investigadores de la agricultura implementaran montajes en los cuales se logra el crecimiento de raíces en el aire, expuestas a un medio húmedo (Weathers y Zobel, 1992), como se ve en la Ilustración 16. Algunos consideran que la aerponía es un tipo de hidroponía, pero no hay acuerdo sobre esto entre los expertos, como se verá en siguientes secciones.

Ilustración 16: Raíces expuestas de una planta de arándanos dentro de un sistema aeropónico ubicado en un invernadero en la Universidad Católica de Oriente.



En 1973, el Dr. Franco Massantini creó las denominadas “columnas de cultivo”, que utilizaban cilindros de PVC con perforaciones para introducir las plantas. Allí las raíces crecían en la oscuridad y pasaban la mayor parte del tiempo expuestas al aire. Por el interior del cilindro una tubería distribuía una solución nutritiva por medio de pulverización a media o baja presión. Otros científicos fueron mejorando el procedimiento de Massantini, hasta lograr técnicas propias que funcionan para varios tipos de plantas, como se ve en la Ilustración 17.

Ilustración 17: Plantas de papa, lechuga y cebollín cultivadas en un sistema aeropónico de la Universidad Católica de Oriente.



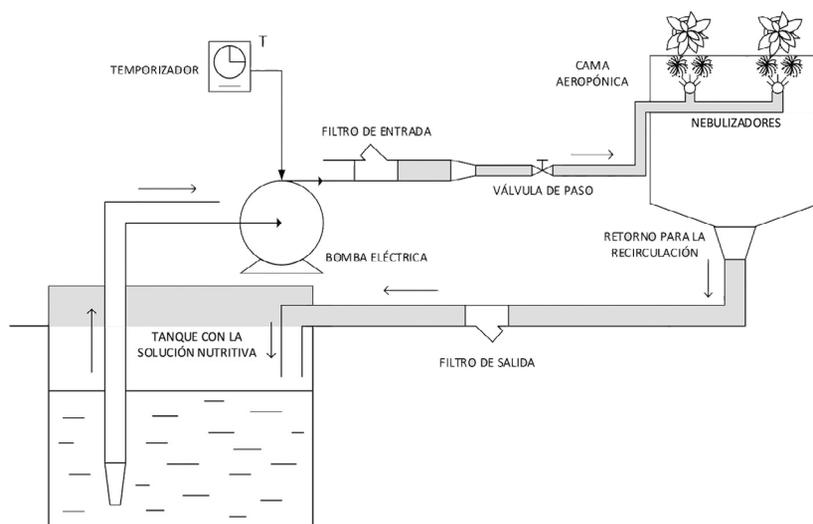
Sistema aeropónico básico

Los cultivos aeropónicos son aquellos cuyas raíces crecen en la oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire. Tienen ventajas sobre los cultivos tradicionales tales como la ausencia de patógenos del suelo y la posibilidad de distribuir más uniformemente los nutrientes y el agua a las plantas. Eso reduce el desperdicio de agua y fertilizantes, lo cual permite proporcionarle a la planta una situación más cercana a sus condiciones ideales de crecimiento, y esto lleva a aumentar su rendimiento. Sin embargo, también se deben nombrar sus desventajas: dependen mucho de la disponibilidad de energía eléctrica, requieren personal con entrenamiento especializado, y cualquier patógeno radicular se disemina rápidamente.

En los sistemas aeropónicos la fertilización se realiza por medio del riego directo a las raíces (fertirrigación), que debe ser permanente y periódico para mantener la demanda hídrica y nutritiva de las plantas. De ahí que el riego deba hacerse con una frecuencia que varía dependiendo de las necesidades de cada especie en los diferentes momentos del día y del año.

Un sistema aeropónico es, básicamente, un sistema hidráulico cerrado, como el que se muestra en la Ilustración 18, y lo componen: una bomba eléctrica, que es la encargada de poner a circular la solución nutritiva desde un tanque; válvulas de paso, para permitir o no el riego en las camas aeropónicas; nebulizadores, que distribuidos en líneas de riego paralelas se encargan de asperjar las raíces de las plantas; y un temporizador, que se programa para los diferentes ciclos de riego en el cultivo.

Ilustración 18: Sistema aeropónico básico.



Las camas aeropónicas vienen equipadas con varias líneas de riego con nebulizadores de alta presión a 30 cm uno del otro, como se puede ver en la Ilustración 19.

Ilustración 19: Cama aeropónica.



Uno de los elementos más importantes del sistema es el temporizador, que es el encargado de activar el riego en el sistema aeropónico. Se puede conseguir fácilmente en el mercado, y debe tenerse en cuenta que sea un dispositivo programable y que tenga una salida de voltaje, para activar la bomba eléctrica (motobomba).

Materiales necesarios para un sistema aeropónico básico:

- Cajones o camas de siembra
- Manguera
- Nebulizadores
- Temporizador
- Tanque de almacenamiento
- Motobomba
- Accesorios hidráulicos:
 - Tubería de PVC
 - Filtros de anillos
 - Válvula de pie
 - Válvulas de paso

Fertilización en los sistemas aeropónicos

En la aeroponía, si se desea saber la calidad de la solución nutritiva que se está usando, se deben tomar periódicamente as medidas de conductividad eléctrica (CE) y de pH; si los valores de CE medidos no son los deseados, se aplican pequeñas inyecciones de fertilizantes diluidos para aumentarlos o se añade agua para disminuirlos; mientras que, para bajar el pH se añade ácido fosfórico y para subirlo se usa hidróxido de sodio. En un sistema básico, la dosificación se hace manteniendo la solución preparada en un tanque y suministrándola, cada cierto tiempo, por medio de los nebulizadores.

Cada cultivo tiene un requerimiento óptimo de nutrientes. Para los sistemas aeropónicos son fertilizantes comunes que se pueden encontrar en el mercado; no se deben usar los que contengan sodio (Na) y cloro (Cl), ya que juntos pueden producir toxicidad en las plantas. Hay fertilizantes que incrementan la CE de forma más eficiente, como los que contienen nitrógeno (N) y potasio (K). Existen también fertilizantes que contribuyen en mayor o menor grado a la alcalinidad o acidez de la solución y es conveniente tener esta información, ya que pueden afectar el pH de los cultivos. Entre los acidificantes se encuentran el fosfato de amonio, el sulfato de amonio, la úrea y el nitrato de amonio; por su parte, entre los alcalinizantes están el fosfato de calcio, el carbonato de potasio, el fosfato de potasio y el nitrato de potasio (Otazu, 2010).

También es conveniente chequear el pH del agua y de la solución nutritiva. Las plantas necesitan macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg); también micronutrientes: hierro (Fe), azufre (S), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B) y molibdeno (Mo), para su crecimiento normal. Estos elementos deben estar disueltos en agua, para que las plantas los aprovechen y absorban mediante su sistema radicular. Un pH neutro (5.0) permite la máxima disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Monitoreo en sistemas aeropónicos

Una falla en el bombeo del riego en un sistema acuapónico, que no sea resuelta en poco tiempo, ocasiona la muerte de todas las plantas, como se ve en la Ilustración 20, por lo que el monitoreo permanente es imprescindible. Como los invernaderos no están en constante supervisión, las alarmas que puedan generarse remotamente, desde el cultivo hasta el lugar en el que se encuentre el personal encargado del mismo, son vitales.

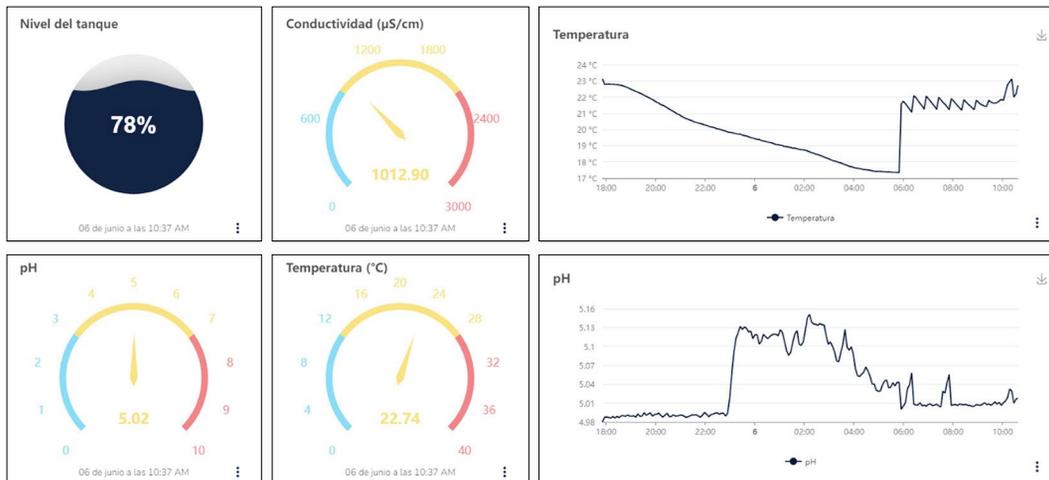
Ilustración 20: Efectos de la falta de riego en un cultivo aeropónico de crisantemos.



La tecnología se aplica ya en muchos sectores, como en la agricultura, en donde tradicionalmente se ha dependido de manera exclusiva de la mano de obra humana, con un uso limitado de equipos mecánicos y máquinas. En los cultivos aeropónicos ya se implementan sistemas de monitoreo que, basados en la medición del pH y la CE a la salida del tanque de almacenamiento de la solución nutritiva, permiten adaptar la composición de macro y micronutrientes (Savvas y Adamidis, 1999).

El sistema de monitoreo se completa con un *software* que permite graficar las variaciones de la CE en el tiempo (Garzón, Osorio y Acevedo, 2021), como se puede apreciar en la interfaz de usuario de la Ilustración 21, de modo que se pueden tomar decisiones inmediatas sobre la fertilización en el cultivo o realizar un análisis posterior que ayude a refinar las fórmulas utilizadas para preparar las soluciones nutritivas, que pueden variar dependiendo de la zona geográfica, la época del año, las condiciones ambientales dentro del invernadero o la especie que se esté cultivando.

Ilustración 21: Software para el monitoreo de un cultivo aeropónico.



Acuaponía

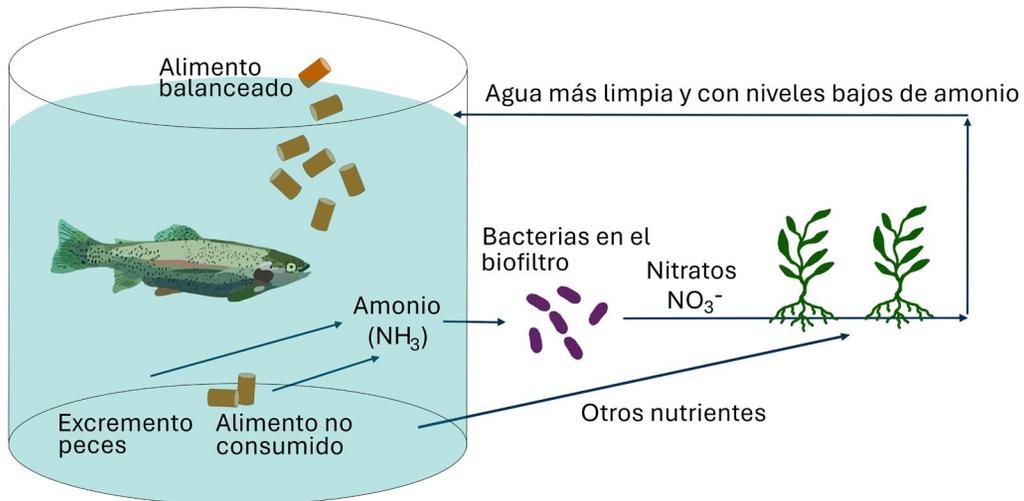
Si bien esta técnica de cultivo puede ser considerada avanzada, y es necesario tener en cuenta muchas variables para su implementación, es posible construir sistemas pequeños de forma relativamente sencilla. En esta cartilla pretendemos explicar lo más básico, para que el lector conozca las bases de la técnica y pueda realizar sus primeras incursiones en su implementación.

Conceptos más importantes

¿Qué es la acuaponía?

De forma simplificada, es un método de producción en el que se cultivan peces y otros animales acuáticos, y con sus desechos, transformados por los microorganismos, se alimentan las plantas en hidroponía. Al mismo tiempo, después de que las aguas pasan por las raíces de las plantas, se retorna a los estanques de peces en mejores condiciones para ellos. Todo esto se hace por medio de un sistema circular cerrado, con el cual se obtiene un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. En la Ilustración 22 se puede observar un esquema básico del funcionamiento de dicho sistema:

Ilustración 22: Esquema básico del funcionamiento de un sistema acuapónico.



La acuaponía es un ejemplo de tecnología agrícola sostenible, que contribuye a la soberanía y a la seguridad alimentaria, dado que permite obtener, simultáneamente, la proteína animal y los productos vegetales para equilibrar de mejor manera la dieta y disponer de diferentes productos comercializables.

Para comprender los elementos que hacen parte de un sistema acuapónico básico, definimos de forma sencilla algunos conceptos importantes:

- **Sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés):** son sistemas que permiten cultivar peces en tanques, mediante la reutilización del agua que circula en el sistema. Estos sistemas constituyen una alternativa a los estanques al aire libre o a los sistemas que usan agua corriente tomada de los ríos y quebradas, y que a su vez depositan agua contaminada en esos mismos afluentes. Estos últimos están en desuso debido a sus consecuencias ambientales, aunque aún se usan en algunos lugares. La descomposición de la materia orgánica y del alimento no consumido genera amoníaco, el cual, en ciertos niveles, es tóxico para los peces. Los sistemas de recirculación deben contar con filtros para remover parte de la materia orgánica y, además, modificar la química del agua, convirtiendo el amoníaco en nitratos y otros compuestos menos tóxicos para los peces (Somerville *et al.*, 2021). Estos sistemas, además de ser menos contaminantes, permiten un ahorro significativo de agua, puesto que las pérdidas solo ocurren por salpicaduras, evaporación, o cuando se cambia el agua por algún tipo de contaminación, sobre todo, si es de origen biológico.

Para que este circuito funcione se necesita mínimo una bomba hidráulica. Si la densidad de los peces es muy alta, como ocurre en las producciones comerciales, se requiere un suministro adicional de oxígeno para los peces. Esto se consigue por diferentes métodos, dentro de los cuales sobresale el uso de los "sopladores", más conocidos por su nombre en inglés, *blowers*.

- **Calidad del agua:** es uno de los componentes más críticos en los sistemas acuapónicos, ya que determina la sanidad y desempeño de los peces. Los 5 parámetros principales que definen la calidad del agua son: oxígeno disuelto, temperatura, pH, compuestos nitrogenados y alcalinidad. Por lo tanto, es indispensable encontrar una calidad de agua compatible con los peces, plantas y bacterias. Un pH neutro (7.0) y niveles de amoníaco y nitrito inferiores a 0.25 ppm son los ideales para este sistema.
- **Biofiltro:** es un dispositivo que contiene bacterias que convierten el amoníaco, tóxico para los peces, en nitratos que nutren las plantas y no presentan riesgos para los peces. Estos biofiltros son tanques que contienen un medio al que los microorganismos se adhieren y en el que crean colonias que realizan la mencionada transformación. Estos medios pueden ser elementos fabricados para ese fin, que por lo general son costosos, aunque pueden ser fabricados o adaptados con materiales de reciclaje, como, por ejemplo, tapas plásticas de gaseosa o tubos corrugados partidos. También pueden ser mallas o rocas porosas, como la piedra pómez. Lo importante es que cualquier material que se use tenga una superficie apreciable para la adherencia de las bacterias. En la Ilustración 23 se puede ver una implementación de biofiltro ubicada en el cultivo aeropónico instalado en la Universidad Pontificia Bolivariana.

Ilustración 23: Fotografía de los biofiltros del sistema ubicado en la UPB.



- **Hidroponía y sus diferentes sistemas:** La palabra hidroponía proviene de las raíces griegas *Hydro*, que significa “agua”, y de *Ponos* que significa “trabajo”. La hidroponía es un método para cultivar plantas, usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola. Las plantas se pueden tener en agua o en un sustrato inerte (arcilla expandida, roca volcánica, lana de roca, entre otras) (Park y Williams, 2024). Existen cuatro técnicas hidropónicas: NFT, raíz flotante, en sustrato y aeroponía, aunque algunos solo reconocen las primeras tres como hidropónicas y a la cuarta la consideran un tipo de agricultura diferente. Sin embargo, estas cuatro técnicas se suelen denominar en conjunto como *Soilless agriculture* o “agricultura sin suelo”.
 - **NFT: (Nutrient Film Technique)**, es una técnica que permite cultivar las plantas en tubos, cuadrados o redondos, sin sustrato. La solución nutritiva fluye a través de los tubos haciendo contacto con las raíces para que puedan absorber los nutrientes.
 - **Raíz flotante:** las plantas se ubican en placas flotantes, usualmente de poliestireno expandido, sobre tanques que contienen la solución nutritiva.
 - **En sustrato:** esta técnica se usa en plantas que por su mayor tamaño no se adaptan bien a ninguno de las anteriores técnicas. Se usa un sustrato inerte para soportar la planta, pero que, a su vez, permita que fluya la solución nutritiva fácilmente. Los sustratos pueden ser roca volcánica, piedra pómez, fibra de coco, vermiculita, arcilla expandida, lana de roca, carbón mineral, entre otros.
 - **Aeroponía:** esta técnica, considerada una de las que implementan la hidroponía, ya se explicó en la sección anterior.

¿Cómo construir un sistema acuapónico?

El tamaño de un sistema acuapónico puede ir desde aquel a escala familiar para el autoconsumo, pasando por sistemas con fines pedagógicos o agroturísticos, hasta llegar a cultivos comerciales de diferentes escalas. El diseño de estos sistemas dependerá de la escala deseada, los objetivos que se buscan, los recursos disponibles, el clima y las especies de peces y de plantas, entre otros elementos.

La propuesta de diseño que aquí se describe es en la que se tiene un tanque con los peces, desde el que se bombea agua a un cultivo hidropónico en sustrato. En este caso, el sustrato y las raíces de las plantas sirven a su vez de biofiltro.

Sistema acuapónico personal/familiar

- Dificultad de implementación: baja.
- Costo: bajo.
- Área de cubrimiento: pequeña.
- Mantenimiento del montaje: bajo.
- Atención requerida: frecuente.

Materiales necesarios:

- Tanque para los peces.
- Tanque para el cultivo en sustrato.
- Listones o tablas.
- Medio de cultivo (piedra pómez, arcilla expandida, escoria de carbón, entre otros).
- Tubería.
- Bomba de agua hidráulica.
- Iluminación (si es en interiores).

Procedimiento de construcción:

Se propone utilizar un isotanque para contener los peces y el cultivo (Ilustración 24), el cual debe cortarse, tanto la parte plástica como la metálica, de forma que quede una sección de $\frac{3}{4}$ partes (para los peces) y otra de $\frac{1}{4}$ parte (para el cultivo). Este tanque se puede conseguir de segunda mano, en cuyo caso, debe verificarse que antes solo haya contenido productos de grado alimenticio.

Ilustración 24. Isotanque.



El tanque para los peces se pone debajo del tanque para el sustrato, dejando un espacio entre uno y otro, tal como se muestra en la Ilustración 25. Esto se requiere para poder realizar las diferentes actividades de mantenimiento. Para sostener la sección de tanque que contendrá el cultivo, se utilizara la estructura metálica con la que viene el isotanque, además de tablas o listones. Se debe tener cuidado con esta estructura metálica, para no tener accidentes con las puntas cortadas. Para evitar dichos incidentes, se les pueden poner tapones a las puntas. Se recomienda pintar los tanques de color oscuro, para evitar la entrada excesiva de radiación solar y, así, evitar la proliferación de algas.

Ilustración 25: Esquema del sistema

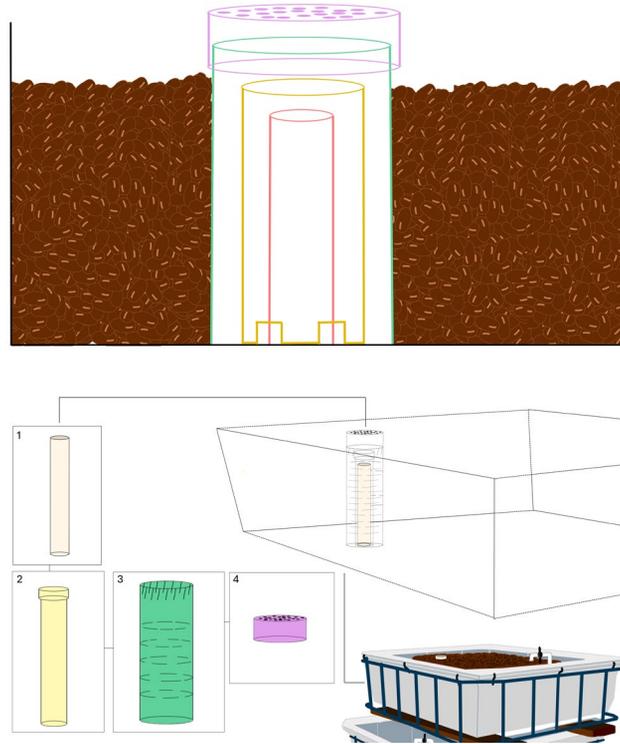


En el tanque en el que se tendrá el cultivo se instala un sifón campana, el cual servirá para desaguar hacia el tanque de los peces. Este sifón se construye realizando un agujero para que entre un tubo de 1 pulgada. En este agujero se instala el tubo de 1 pulgada de diámetro, permitiendo que sobresalga desde el fondo del tanque, aproximadamente, 20 cm. Para poder instalar este tubo se recomienda el uso de un flanche adaptador de una pulgada (Ilustración 26). Alrededor del tubo de 1 pulgada se ubica un tubo de 2 pulgadas, 2 o 3 cm más largo que dicho tubo, el cual debe tener una tapa en la parte superior. A este tubo exterior se le hacen cortes cuadrados de, aproximadamente, 1 cm de lado en el borde inferior del tubo, espaciados 2 cm. Estas medidas no tienen que ser exactas, la idea es que el agua pueda entrar de manera fluida por dichas ranuras. Finalmente, todo se introduce en un tubo de 3 o 4 pulgadas, al cual se le hacen ranuras horizontales para que el agua que está en el sustrato acceda libremente al interior de ese tubo, que tiene como función la de separar el sifón del sustrato, a la vez que permite que el agua pase. Un esquema del montaje se puede ver en la Ilustración 27.

Ilustración 26. Imagen de flanche de 1 pulgada, adaptador para tanque de agua.



Ilustración 27. Esquema básico y fotografía de un sifón campana.

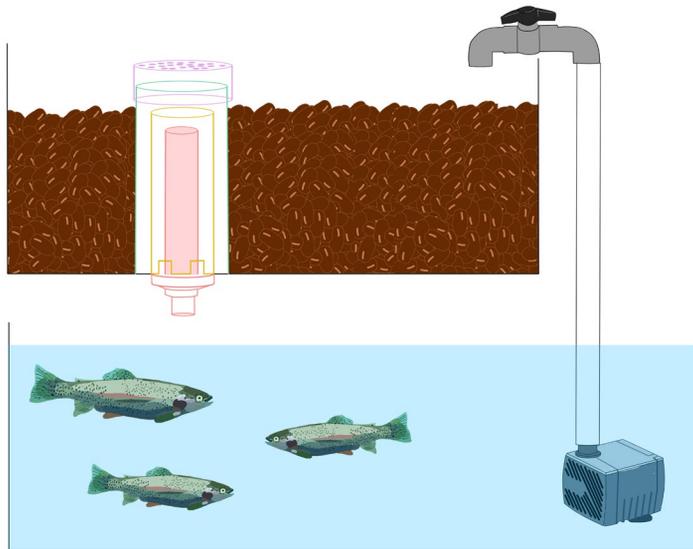


Nota: El sustrato debe llegar un poco más arriba que el borde superior del sifón, en la fotografía no se tiene así por fines ilustrativos.

En el tanque de los peces se instala una bomba para movilizar el agua del tanque, como mínimo, de dos veces al día. Si ese tanque tiene, por ejemplo, 700 l, entonces deberá mover 1400 l por día, o sea un poco más de 58 l por hora o 1 litro por minuto. Esta regla no es estricta, pero debe buscarse una bomba que pueda contener un poco más de ese caudal. Con una bomba de pecera suele ser suficiente. También hay que tener en cuenta la cabeza de la bomba, o sea, la distancia a la cual se va a elevar el agua, la cual debe ser de 1 a 1.5 m, como mínimo. Debe recordarse, además, que el caudal nominal que puede mover una bomba se ve disminuido por los accesorios del sistema, la distancia y la dirección que recorre el agua. En la Ilustración 8, se mostró la imagen de una bomba recomendada.

Partiendo de la bomba, se instala un tubo que sale del tanque de peces, de modo tal que sobresalga por encima del tanque de plantas. Se recomienda que tenga una llave para ayudar a controlar el caudal. La forma en que va instalado este tubo se puede ver en la Ilustración 28.

Ilustración 28. Esquema hidráulico básico del sistema.

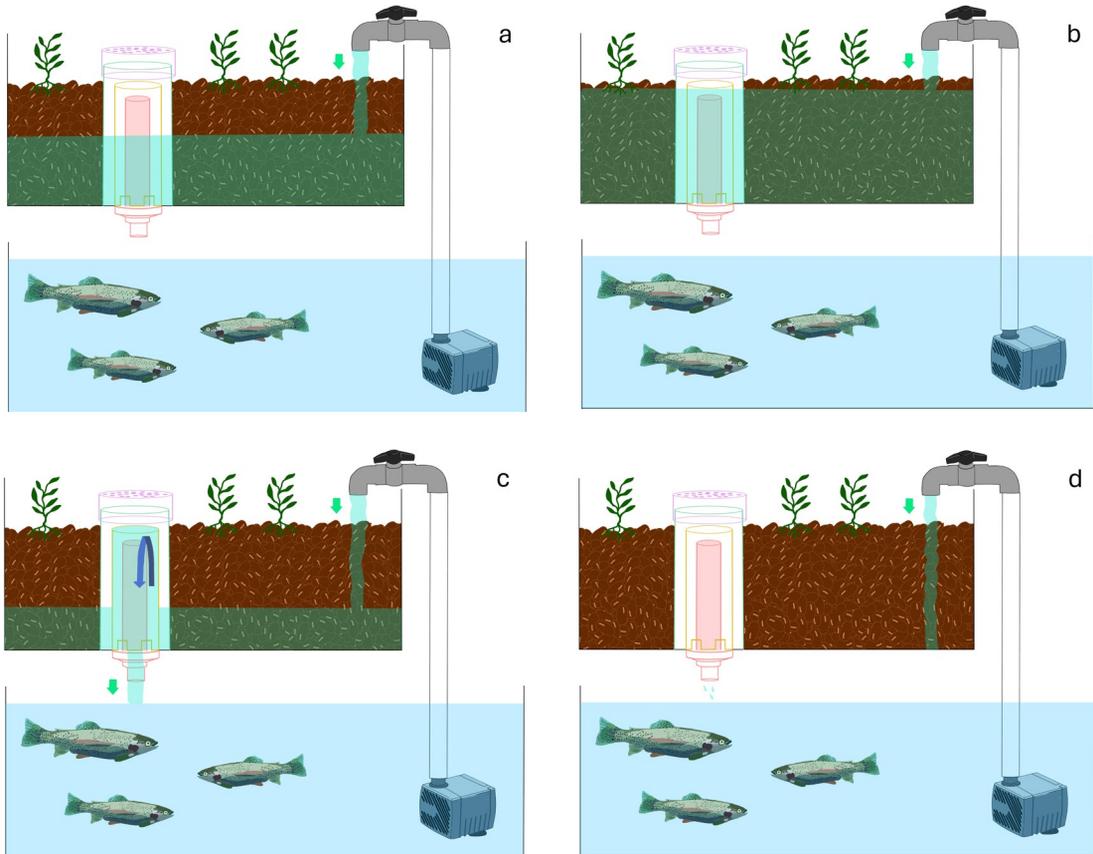


Funcionamiento hidráulico del sistema (Ilustración 29)

- Al tanque con el cultivo le entra agua de forma gradual y se va llenando, lo cual permite que las raíces de las plantas entren en contacto con los nutrientes.
- El agua sube hasta llegar al nivel superior del tubo de 1 pulgada del sifón campana.
- Por acción de la cámara que se forma con el tubo externo se forma un vacío que hace que toda el agua del tanque se evacue y caiga al tanque de los peces.
- El agua sale casi en su totalidad del tanque de plantas y el ciclo comienza de nuevo.

En este sistema el sustrato y las raíces actúan como biofiltro, transformando la mayor parte del amoníaco en nitratos, los cuales son aprovechables por las mismas plantas. De esta forma también, el agua que cae al tanque de peces tendrá niveles de amoníaco no tóxicos para estos. La caída también ayuda a oxigenar el agua, lo que es vital para los peces.

Ilustración 29. Funcionamiento hidráulico del sistema.



Operación del sistema

1. Un tanque que contenga alrededor de 700 l de agua puede tener, sin problemas, de 7 a 8 tilapias. La tilapia es un pez que se aconseja criar en climas cálidos, puesto que es relativamente resistente y no necesita niveles muy altos de oxigenación.
2. Si se desea tener más peces, se debería contar con un sistema de aireación para el agua.
3. Se recomienda, primero, tener los peces desde una edad temprana (alevinos), para que se vaya madurando el biofiltro. En un periodo de, aproximadamente, 2 a 3 semanas se pueden sembrar las plantas.
4. Se recomienda comenzar con plantas de fácil manejo y mantenimiento, tales como lechugas o plantas aromáticas. Las plantas se deben sembrar desde estadios tempranos (plántulas), para que vayan creciendo conforme crecen los peces y estos puedan

suministrar los nutrientes de forma gradual. La distancia entre planta y planta depende de cada especie. Para la lechuga se recomiendan 25 plantas por m² (que es el área que tiene el sistema descrito).

5. El alimento concentrado debe suministrarse a los peces de acuerdo con su estadio de crecimiento. Los fabricantes tienen tablas en las que establecen el tipo de alimento, la cantidad y la frecuencia con la que debe abastecerse de alimento a los animales. Cuando los peces son pequeños requieren mayores niveles de proteína y eso hace que el alimento sea más caro. Sin embargo, se necesita menos alimento dado el tamaño de los animales. A medida que los peces crecen requieren más alimento, pero con menor nivel de proteína, y, por lo tanto, es menos costoso.
6. Se recomienda tener plantas en diferentes estadios de crecimiento, para que siempre haya plantas en el sistema. Sin embargo, cuando se observe acumulación evidente de algas, deben limpiarse los tanques y el sustrato, por lo que será necesario reiniciar el sistema. En este caso no es necesario reemplazar el agua, que de ser posible debió estar almacenada temporalmente en algún tanque auxiliar.
7. Los peces deben tener estadios de crecimiento similares, para evitar agresiones de los más grandes a los más pequeños. Además, así se controla mejor el tipo de alimento que se les da de acuerdo con el tamaño del pez. Si se desea tener abastecimiento constante de pescado, es necesario cultivar simultáneamente peces de diferentes edades, lo que requiere contar con tanques separados, lo cual ampliar la instalación sencilla que aquí ha sido propuesta.
8. El tanque de los peces va a ir acumulando sólidos, los cuales deben ser retirados regularmente para evitar una producción excesiva de amoníaco. Estos sólidos pueden ser compostados o usados como alimento para las lombrices. Los lixiviados obtenidos de estos procesos pueden agregarse a la cama de las plantas, para mejorar su nutrición.

La anterior guía no pretende explicar de forma exhaustiva todos los aspectos de la fabricación y la operación de un sistema acuapónico comercial, sino que busca divulgar un tipo particular de sistema acuapónico de instalación fácil y económica que puede ser implementado artesanalmente, y que puede adaptarse a los recursos y los espacios disponibles.

En la Universidad Pontificia Bolivariana y en la Universidad Católica de Oriente hemos desarrollado, en los últimos años, el programa *Tecnologías en Agricultura Urbana*, por medio del cual procuramos profundizar en nuestro interés por la agricultura y la sostenibilidad, en bien de la comunidad. Este programa es fruto de la convocatoria Minciencias 852 de 2019 y está financiado con recursos provenientes del patrimonio autónomo del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación "Francisco José de Caldas". Esta cartilla es fruto de dicho trabajo, el cual esperamos que sea un aporte a la disponibilidad de información de interés para todos aquellos que buscan desarrollar sus propios sistemas de cultivo.

Referencias

- Aguilar, P. A., Espitia Malagón, E. M., Tamaño Molano, P. J., Argüello O., Guzmán Arroyave, M. y Jaramillo Noreña, J. (2014). *Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el oriente antioqueño*. Editado por Liliana Gaona García. Editorial Corpoica.
- Berumen Bañuelos, M. R. (2021). *Manejo de la humedad en el suelo, con materiales orgánicos, por efecto de tamaño de partícula*. [Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/7302a67b-d2b4-4cd0-b213-fa4e6db35461>
- Blanco Sandoval, J. O. (2006). *Acondicionadores y mejoradores del suelo*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de tecnología Agropecuario – PRONATA.
- Camacho Higuera, A. P., y otros . (2015). Crecimiento de *Raphanus sativus* L. con arvences *Plantago media* L. Y *Polygonum nepalense* Meins. *Revista Ciencias Agropecuarias* 1, pp. 31-55. Enlace.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2016). Textura del suelo. *FAO*. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm"https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- Garzón, J., Osorio, M. y Acevedo, J. (2021). *Sistema remoto de monitoreo de la conductividad eléctrica en un cultivo aeropónico*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Gómez Zambrano, J. (2020). *La materia orgánica en los agroecosistemas*. Universidad Nacional de Colombia.
- González Breña, V. (2017). *Riego inteligente*. [Tesis de pregrado, Universidad de Extremadura]. Enlace.
- (s.a.). (2014). Las Zeolitas, para mejorar la eficiencia agrícola y pecuario. *Notiagro*. <https://www.agromundo.co/blog/tag/retenedores-de-humedad> <https://www.agromundo.co/blog/tag/retenedores-de-humedad>
- Otazu, V. (2010). *Manual on quality seed potato production using aeroponics*. Centro Internacional de la Papa (CIP).

- Park, Y. y Williams, K. A. (2024). Organic Hydroponics: A review. *Scientia Horticulturae* 324, pp. xx-xx. Enlace.
- Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez L. G., Sánchez-Cohen I., Samaniego-Gaxiola J. A. (2015). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(4), pp. 375-381. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400005
- Ríos Santacruz, S. A. (2018). *Evaluación del efecto de un hidrogel natural y diferentes dosis de fertilización compuesta sobre parámetros de crecimiento del plátano (Musa aab simmonds) y las características físicas del racimo en la finca si trabajas, del municipio de San Juan de Urabá.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/27450/3/sariossa.pdf>
- Savvas, D. y Adamidis, K. (1999). Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH and nutrient concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition* 22, pp. 1415-1432.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. y Lovatelli, A. (2021). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Enlace.
- Weathers, J. y Zobel, R. W. (1992). Aeroponics for the culture of organisms, tissues and cells. *Biotechnology* 10(1), pp. 93-115.
- Yagüe Fuentes, J. L. (1991). *Características Agronómicas del Riego por Goteo.* Editado por Servicio de Extensión Agraria.

Bibliografía adicional

Aerponía

- Suprem, A., Mahalik, N. y Kim, K. (2013). A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector. *Computer Standards & Interfaces* 35(4), pp. 355-364. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548912000955>

Reseña de autores

En UPB:

Marisol Osorio Cárdenas

Ingeniera Electrónica, Magister en Automatización y Doctora en Ingeniería Eléctrica, área Control. Investigadora Asociada en Minciencias. Docente de pregrado y posgrado en la Escuela de Ingenierías UPB. Con experiencia en investigación en sistemas automáticos de control, agricultura de precisión, sistemas de riego, educación e historia de la ingeniería.

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000407127

Carlos Augusto Hincapié Llanos

Ingeniero Agroindustrial, Magíster en Ciencias Agrarias y Doctor en Biología. Investigador Senior en Minciencias. Líder de la línea de Sostenibilidad y Agronegocios del Grupo de Investigaciones Agroindustriales GRAIN, clasificado como A1 en Minciencias. Docente de pregrado y posgrado en La Escuela de Ingenierías UPB. Con experiencia en investigación en agroecología, actividad biológica de productos naturales, acuaponía y agroindustria, entre otros.

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000429589

Gustavo Adolfo Hincapié Llanos

químico, abogado, especialista en ingeniería ambiental y magíster en ingeniería. Docente universitario por más de 25 años en diferentes universidades del país; actualmente investigador asociado según clasificación MinCiencias. Entre las principales áreas de interés en investigación están la sostenibilidad, la gestión ambiental y la química agroindustrial y de alimentos.
https://scienti.colciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001008560

Mabel Milena Torres Taborda

Ingeniera química con maestría en Biotecnología. Docente de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana y perteneciente al grupo de investigaciones agroindustriales (GRAIN). Investigadora en temáticas de aprovechamiento de residuos agroindustriales y transformaciones biotecnológicas.
https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000270776

Natalia Jaramillo Quiceno

ingeniera industrial de la Universidad Nacional de Colombia y doctora en ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana. Su trabajo en investigación se ha centrado en el aprovechamiento de residuos agroindustriales para la elaboración de materiales biodegradables, utilizando rutas de procesamiento eficientes y de bajo impacto ambiental. Actualmente participa en proyectos orientados al diseño y evaluación de biopolímeros para aplicaciones agrícolas.
https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001399915

Catalina Álvarez López

Ingeniera Agroindustrial. Ph.D en ingeniería. Docente investigadora hace mas de 15 años. Con experiencia en la transformación de residuos agroindustriales en nuevos productos con alto valor agregado y experiencia trabajando con fibras naturales, tanto vegetales como animales. Para su transformación, se enfoca en diferentes frentes, pasando por productos alimenticios y biomédicos, hasta aplicaciones agropecuarias, así como en procesos limpios y responsables con el medio ambiente.
https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000508802

Jorge Andrés Cardona Gil

Ingeniero Electrónico, Especialista en Automática y Magíster en Ingeniería con énfasis en el Área de Automática de la UPB. Actualmente trabaja como Docente de Cátedra y es estudiante de Doctorado en Ingeniería en la UPB. Su interés en investigación se centra en los sistemas de control y la educación en ingeniería

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001549577

Andrés Felipe Ríos Mesa

Candidato a Doctor en Ingeniería, Magíster en Ingeniería Agroindustrial y Especialista en Gestión de la Innovación Tecnológica. Gestiona e incorpora tecnologías como internet de las cosas, cloud computing, analítica de datos, procesamiento de imágenes e inteligencia artificial para la transformación digital de la agroindustria y el medio rural.

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001335226

En UCO:

Jorge Mario Garzón

Magíster en Ingeniería Líder grupo de investigación en Ingeniería Multidisciplinar – GIMU. Coordinador programa de Ingeniería Electrónica

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001468757

Dagoberto Castro Restrepo

Doctor en Ciencias Agrícolas Líder grupo de investigación Unidad de Biotecnología Vegetal. Coordinador de Unidades de Investigación

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000154598



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

SU OPINIÓN



Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos. Para darnos su opinión, escribanos al correo electrónico: editorial@upb.edu.co Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, correo electrónico y número telefónico.

Texto didáctico dedicado a la divulgación de tecnologías de cultivo y riego que pueden aplicarse a la agricultura urbana. Se tratan en este texto los siguientes temas: Dos aproximaciones diferentes al riego automatizado básico, materiales hidrorretenedores para mejorar el suministro de humedad y fertilizantes en suelo y técnicas de cultivo sin suelo, particularmente, la aeroponía y la acuaponía.

