

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



¿Cómo construir un sistema de hidroponía para tener un huerto en mi escuela?



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

631.585 Cruz Bartolón, Jesús de la

C26 *¿Cómo construir un sistema de hidroponía para tener un huerto en mi escuela?* /Jesús de la Cruz Bartolón, Marcia Adriana Yáñez Kernke, Eduardo Venegas Reyes y Ulises Dehesa Carrasco.-- Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ©2022.
XXX p.

ISBN 978- (obra impresa)
ISBN 978- (obra digital)

1. Hidroponía 2. Manuales

¿CÓMO CONSTRUIR UN SISTEMA DE HIDROPONÍA PARA TENER UN HUERTO EN MI ESCUELA?

Jesús de la Cruz Bartolón, Marcia Adriana Yáñez Kernke, Eduardo Venegas Reyes, Ulises Dehesa Carrasco

D.R. © 2022 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso,
62550 Jiutepec, Mor., México
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Coordinador Editorial: Adrián Pedrozo Acuña
Editor: Roberta Karinne Mocva Kurek
Cuidado de la edición: Emilio García Díaz
Diseño editorial y formación: Ana Lilia Torres García y Adolfo Remigio Armillas
WebMaster: Claudia Patricia Martínez Salgado

<https://doi.org/10.24850/b-imta-2022-05>

ISBN: 978-607-8629-30-5

Septiembre 2022, Jiutepec, Morelos

Hecho en México / Made in Mexico

Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

¿Cómo construir un sistema de hidroponía para tener un huerto **en mi escuela ?**

Coordinador Editorial:
Adrián Pedrozo Acuña

Editor:
Roberta Karinne Mocva Kurek

Autores:
Jesús de la Cruz Bartolón, Marcia Adriana Yáñez Kernke,
Eduardo Venegas Reyes, Ulises Dehesa Carrasco



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Índice

Capítulo 1 - Conceptos básicos

sobre hidroponía	06
1.1 ¿Qué es la hidroponía?	06
1.2 ¿Por qué utilizar un sistema hidropónico? Ventajas y desventajas	07
1.3 Conceptos básicos aplicados a un sistema hidropónico	07
1.4 Principales elementos que integran un sistema hidropónico	12
1.5 Tipos de sistemas hidropónicos y sus ventajas y desventajas.....	12

Capítulo 2 - Material vegetal

2.1 ¿Qué son las hortalizas?.....	19
2.2 Clasificación de hortalizas.....	19
2.3 Condiciones climáticas.....	22
2.4 Propagación	22
2.5 Semillero.....	24
2.6 Forma de propagación, siembra y duración del ciclo del cultivo.....	24
2.7 Germinación	25
2.8 Siembra directa o trasplante del semillero	26

Capítulo 3 - Contenedor y sustrato

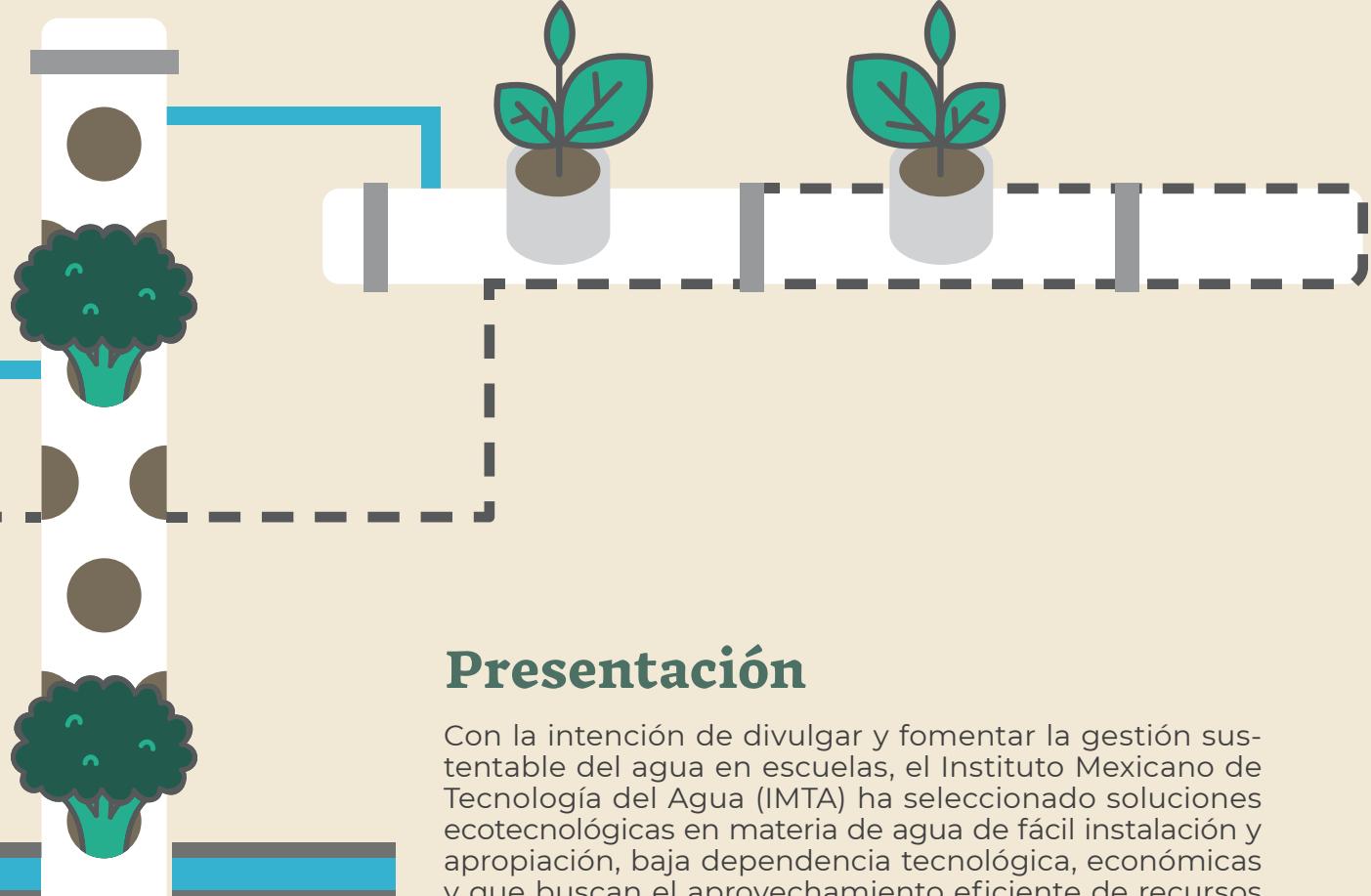
3.1 Materiales y dimensiones	27
3.2 Tipos de sustrato y sus características	29
3.3 Riego y drenaje	32
3.4 Ventajas y desventajas	32
3.5 Preparación de sustratos	32
3.6 Solución nutritiva	33
3.7 Macroelementos y microelementos	34
3.8 Fórmulas comerciales y preparación de la solución nutritiva.....	34

Capítulo 4 - Prácticas culturales..... 36

4.1 Poda	36
4.2 Colocación de guías.....	36
4.3 Control de plagas y enfermedades	37
4.4 Cosecha y manejo de productos	39

Capítulo 5 - Construcción

de mi primer sistema hidropónico.....	41
5.1 Diseño conceptual de mi sistema hidropónico.....	41
5.2 Materiales y herramientas requeridos	41
5.3 Proceso de construcción de la estructura de un sistema hidropónico con tubos horizontales.....	42



Presentación

Con la intención de divulgar y fomentar la gestión sustentable del agua en escuelas, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha seleccionado soluciones ecotecnológicas en materia de agua de fácil instalación y apropiación, baja dependencia tecnológica, económicas y que buscan el aprovechamiento eficiente de recursos naturales, las cuales se pueden aplicar en escuelas, sobre todo periurbanas y rurales.

El objetivo es poner a disposición de la comunidad escolar estas ecotecnias del agua a través de una serie de manuales explicativos para impulsar la implementación de las mismas y contribuir con el desarrollo de escuelas sostenibles.

Objetivo

Este manual tiene como objetivo proporcionar y aplicar conocimientos para el diseño, instalación y operación de un sistema hidropónico para hortalizas.

Capítulo 1: Conceptos básicos sobre hidroponía

1.1 ¿Qué es la hidroponía?

Desde hace siglos se tenían experiencias de plantas que se desarrollaban fuera de su medio de sostén, el suelo (figura 1), sin que se supiera con certeza los procesos que contribuían al desarrollo de los cultivos.



Figura 1.1. Ejemplo de hidroponía.

Se considera que los padres de la hidroponía fueron los científicos alemanes Sachs y Knop, quienes, a mediados del siglo XIX, lograron cultivar plantas en un medio acuoso que contenía elementos minerales identificados y cuantificados. Sin embargo, fue hasta el primer cuarto del siglo XX que inició la aplicación práctica y comercial de los conocimientos que se tenían sobre la producción de plantas en un medio hidropónico.

La palabra hidroponía proviene del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo). Traducido literalmente significaría trabajo en agua. De manera práctica, se refiere al cultivo de plantas en un soporte o sustrato material diferente al suelo, y cuya alimentación se realiza mediante una solución nutritiva que es suministrada a través del agua de riego.



1.2 ¿Por qué utilizar un sistema hidropónico?

Ventajas y desventajas

Si podemos cultivar en el suelo, ¿por qué utilizar un sistema alternativo de producción agrícola como la hidroponía? ¿cuáles son las ventajas que ofrece? y ¿cuáles son las desventajas que tiene?

Cultivar en agua, desde la antigüedad, ha demostrado ser una de las técnicas agrícolas más nobles y eficientes de producción intensiva, al permitir desarrollarla desde la manera más simple y económica en pequeños espacios, como el patio de una vivienda rural, el techo de una vivienda urbana/periurbana y en escuelas, hasta la más compleja y costosa inversión, como son invernaderos con la más sofisticada tecnología.

Una técnica hidropónica en el México antiguo fue el uso de chinampas o jardines flotantes de los aztecas, que se construían con cañas y bejucos, llenándolas con lodo extraído del lago, muy rico en materiales orgánicos que servía de solución nutritiva para las plantas, sirviendo la fauna acuática para la aireación de la misma.

En la actualidad, ante el crecimiento demográfico, la pulverización del área agrícola, la desertificación, la falta de espacios para siembra, el estrés hídrico, la proliferación de plagas y enfermedades más resistentes y condiciones climáticas adversas por el cambio climático, esta técnica agronómica se ha considerado como estratégica para paliar la falta de alimentos y la generación de ingresos en el núcleo familiar.

Ventajas y desventajas para implementar un sistema hidropónico

Las ventajas que ofrece implementar un sistema hidropónico respecto a la siembra tradicional son las siguientes:

- Se reduce la cantidad de agua para cultivar, haciendo un uso eficiente de ella
- Se puede cultivar en climas diversos y durante todas las estaciones del año
- Se logra un rápido crecimiento de las plantas al proporcionarles las condiciones apropiadas
- Se tiene control de los efectos adversos del estado del tiempo al colocar el cultivo en espacios cerrados y protegidos
- Se obtiene una elevada producción por unidad de superficie, llamado “sistema intensivo de producción”
- Se genera ahorro en el gasto familiar al cultivar en casa y proveer alimentos
- Se tiene la posibilidad de vender los excedentes en apoyo de la economía familiar

Las desventajas que presentan este tipo de sistema de producción hidropónico son las siguientes:

- Las plantas son más susceptibles a estresarse por cambios en el medio, ya que al estar en las mejores condiciones no toleran cambios bruscos de temperatura, humedad, falta de nutrientes, reacción química con el sustrato, principalmente.
- Las plantas demandan atención constante para asegurar altos rendimientos.
- Una buena producción está en relación directa con el cuidado de los detalles.
- La inversión inicial suele ser alta.

1.3 Conceptos básicos aplicados a un sistema hidropónico

Existen diversos factores que afectan de manera directa o indirecta a un sistema hidropónico:

- La calidad de la planta
- La calidad del agua de riego
- Las condiciones climáticas
- El tipo de sustrato seleccionado
- La solución nutritiva y el pH
- La infraestructura para el cultivo
- El tipo de cultivo seleccionado
- La oxigenación de la solución nutritiva

Calidad de la planta

Este factor debe ser estratégicamente manejado desde la semilla, la germinación y sanidad de la plántula, con tal de garantizar una alta densidad de sobrevivencia y producción agrícola (ver figura 2).



Figura 1.2. Proceso de trasplante.

Las plantas suelen ser hortalizas, y la germinación se lleva a cabo en túneles, llamados “semilleros”, que se diseñan para un control estricto de la temperatura y humedad con el fin de protegerlas contra plagas y enfermedades. Una vez convertidas en plántulas, estas son trasplantadas a los contenedores (figura 2), que pueden ser bolsas con sustrato, tinas con nutrientes, tubos con espacios, etc.

Calidad del agua

El agua de riego debe ser de buena calidad, con bajo contenido de sales para no afectar el crecimiento y nutrición de las plantas (figura 3). Se recomienda realizar un análisis químico de la fuente de agua por lo menos una vez al año o ante cualquier cambio que se observe.



Figura 1.3. Calidad del agua de riego.

Un parámetro de la calidad del agua es la conductividad eléctrica (CE, mS/cm), que estima el contenido o concentración de sales disueltas. Hay que tener presente el valor de la CE durante la planeación inicial de un sistema de producción agrícola, ya que dependiendo de este valor elegirá el tipo de cultivo (ver tabla 1).

Tabla 1.1. Valores de CE del agua de riego.

Calidad del agua	Conductividad eléctrica
Buena calidad	< 0.75 mS/cm
Permisible	De 0.75 a 2 mS/cm
Dudosa	De 2 y 3 mS/cm
Inadecuada	> 3 mS/cm



Condiciones climáticas

Aquí se engloban varios elementos ambientales que tienen un efecto directo en un sistema de producción hidropónico:

- Luz
- Temperatura
- Humedad relativa
- Contenido de dióxido de carbono (CO₂)

Todos estos factores interactúan entre sí y afectan el proceso biológico de la fotosíntesis, el crecimiento y la producción de la planta. Un mal manejo de estos parámetros dará lugar a la presencia de plagas y enfermedades que afectarán al cultivo y al rendimiento. Por ejemplo, en horas de mayor insolación y temperatura, los riegos son más frecuentes que durante las horas más frescas (mañana y tarde) (figura 4).

Adecuación de los riegos a la demanda del cultivo

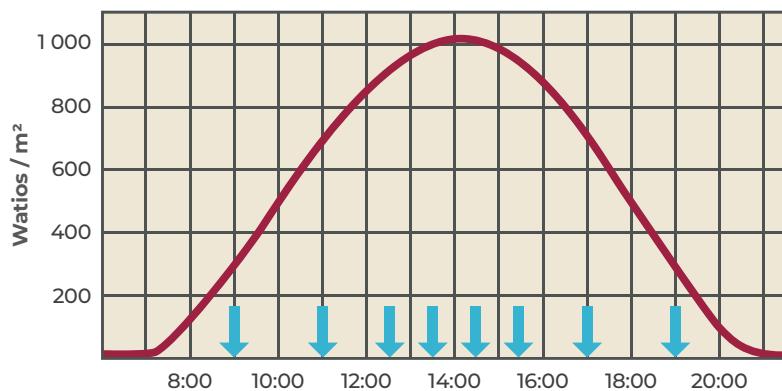


Figura 1.4. Indicador de aplicación de los riegos.

Tipo de sustrato seleccionado

La selección del sustrato está en función del tipo de cultivo, del costo y de la disposición en la localidad. Estos pueden ser del tipo inerte, como grava o arena, o agregados, que es una mezcla de varios materiales, tanto del tipo inerte como material orgánico (ver figura 5). Se debe cuidar que posean propiedades de buen drenaje, retención de humedad, poca pulverización y degradación, y que no contengan material tóxico.



Figura 1.5. Sustratos para hidroponía.

Solución nutritiva y pH

Este parámetro es uno de los más importantes, ya que es la mezcla de nutrientes en forma de disolución de sales minerales en agua que alimentará a las plantas, y cuya proporción varía de acuerdo con la fase de desarrollo del cultivo.

En una solución nutritiva están presentes dos tipos de nutrientes: los macronutrientes o elementos químicos que en mayor cantidad se necesitan en la planta, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, carbono, hidrógeno y oxígeno; y micronutrientes, que son aquellos que se requieren en menor proporción: cobre, boro, hierro, cloro, manganeso, zinc, molibdeno, sodio, silicio, cobalto y níquel (ver figura 6).

En la solución nutritiva hay que tener presente el pH, valor que permite que exista mayor absorción por la planta, el cual se recomienda que esté entre 5.6 y 6.5, (ver figura 7).

Es importante hacer hincapié en que el pH y la conductividad eléctrica serán los dos valores que

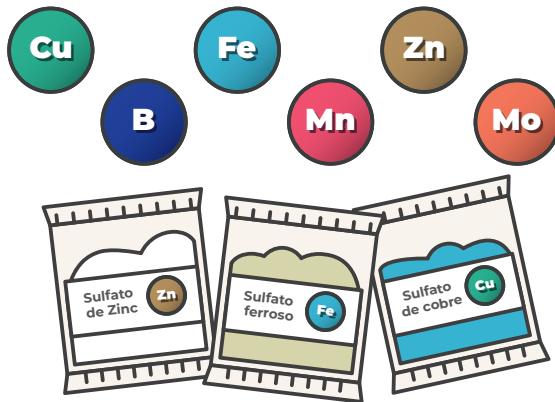


Figura 1.6. Sales agrícolas como nutrientes.

se monitorearán en la solución nutritiva, que casi siempre, al transcurrir los días, los valores iniciales serán menores, por lo que cada semana o quincena se tomará el dato y se hará el ajuste en el depósito, agregando más ácido, en caso de tener un pH alcalino, y agregando solución madre para alcanzar el valor de la conductividad eléctrica (CE) recomendado.

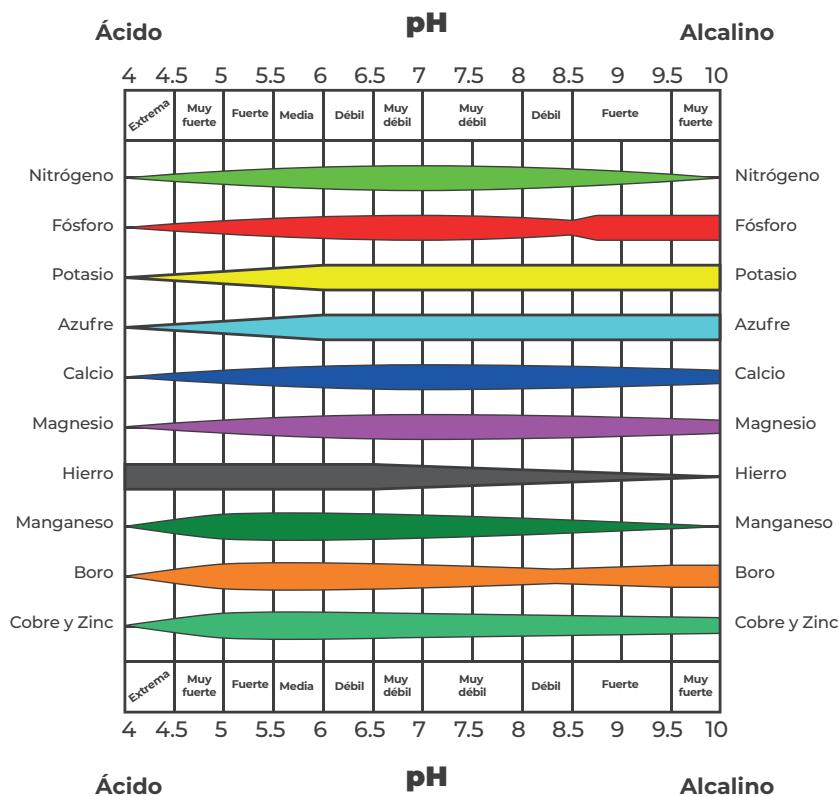


Figura 1.7. Rango de mayor absorción de nutrientes.



Infraestructura

La elección del tipo de infraestructura estará en función del cultivo, considerando los espacios disponibles, la distribución de las raíces, el área de follaje y la densidad o carga de los frutos.

Una buena distribución de las plantas en contenedores adecuados (horizontales o verticales) hará que se consigan productos de calidad, mayor rendimiento y mayores ganancias. Por ejemplo, la producción de fresa en un sistema en sustratos se ve reducida por el menor aprovechamiento de espacio, mientras que en un sistema NFT, la producción literalmente crece en sentido horizontal y vertical (ver figura 8).

Tipo de cultivo seleccionado

La selección del cultivo dependerá de los medios materiales, condiciones ambientales, tipo de agua, sustrato y espacios con que se cuenten.

Cada cultivo tiene un requerimiento nutricional diferente, aun siendo de la misma especie, por lo que es importante seguir las instrucciones del especialista para el manejo de la solución madre que nos recomienda (ver tabla 2).

Tabla 1.2. Demanda de nutrientes según el cultivo

Requerimientos de nutrientes por especie

Cultivo	Concentración mg/l (ppm)				
	N	P	K	Ca	Mg
Tomate	190	40	310	150	45
Pepino	200	40	280	140	40
Pimienta	190	45	285	130	40
Fresa	50	25	150	65	20
Melón	200	45	285	115	30
Rosas	170	45	285	120	40

Oxigenación de la solución nutritiva

Las raíces de las plantas deberán tener el volumen necesario de oxígeno para su desarrollo y sanidad. En caso de estar sumergida las raíces en un contenedor tipo estanque, deberá dejarse un espacio entre las raíces y el espejo de la solución nutritiva; y en caso de manejar un contenedor tipo tubo horizontal o vertical o bien bolsas de plástico, deberá hacerse la oxigenación en el recipiente desde donde se bombea la solución de nutrientes (ver figura 9).

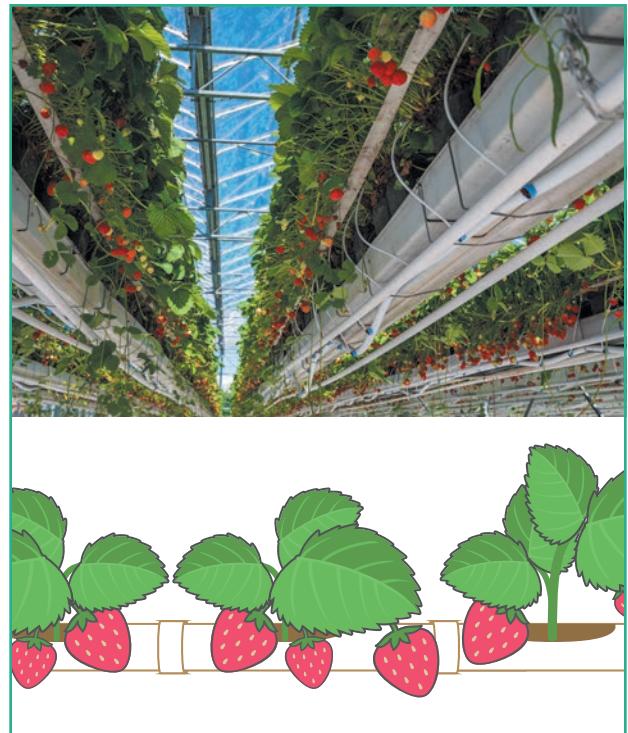


Figura 1.8. Importancia de elegir el contenedor adecuado

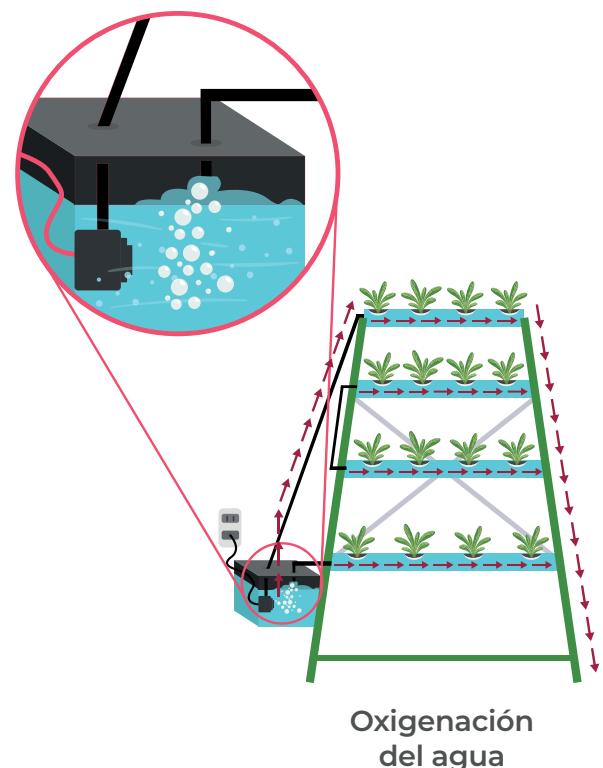


Figura 1.9. Oxigenación de la solución nutritiva.

1.4 Principales elementos que integran un sistema hidropónico

Se le llama sistema hidropónico porque al establecerlo se ponen en armonía todos los elementos o componentes que lo integran (ver figura 10):

- La planta
- El recipiente
- La solución nutritiva
- El sustrato

1.5 Tipos de sistemas hidropónicos y sus ventajas y desventajas

Una vez que se han revisado los conceptos básicos, los factores que afectan a este tipo de sistema de producción agrícola y los elementos que lo integran, pasaremos a explicar los tipos de sistemas hidropónicos, así como sus ventajas y desventajas.

Es importante aclarar que hidroponía solo hay una, lo que cambia son las técnicas a través de las cuales se maneja el sostén de la planta en la solución nutritiva.

Una clasificación general que engloba a la mayoría de las técnicas empleadas es la siguiente (ver figura 11):

- Técnicas de sustratos
- Estacionarias: de mecha y raíz flotante
- Recirculantes: usando riego por goteo, inundación y drenaje y NFT o técnica de la película nutritiva
- Aeroponía

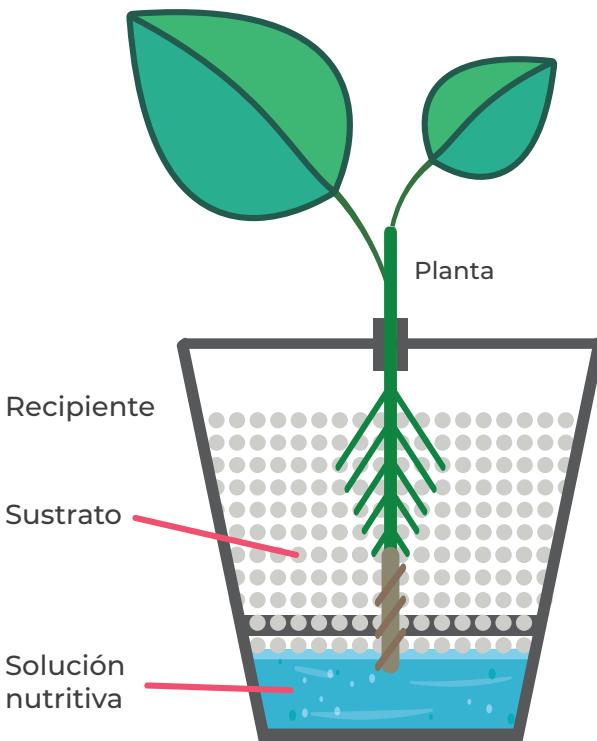


Figura 1.10. Elementos que interactúan en la hidroponía

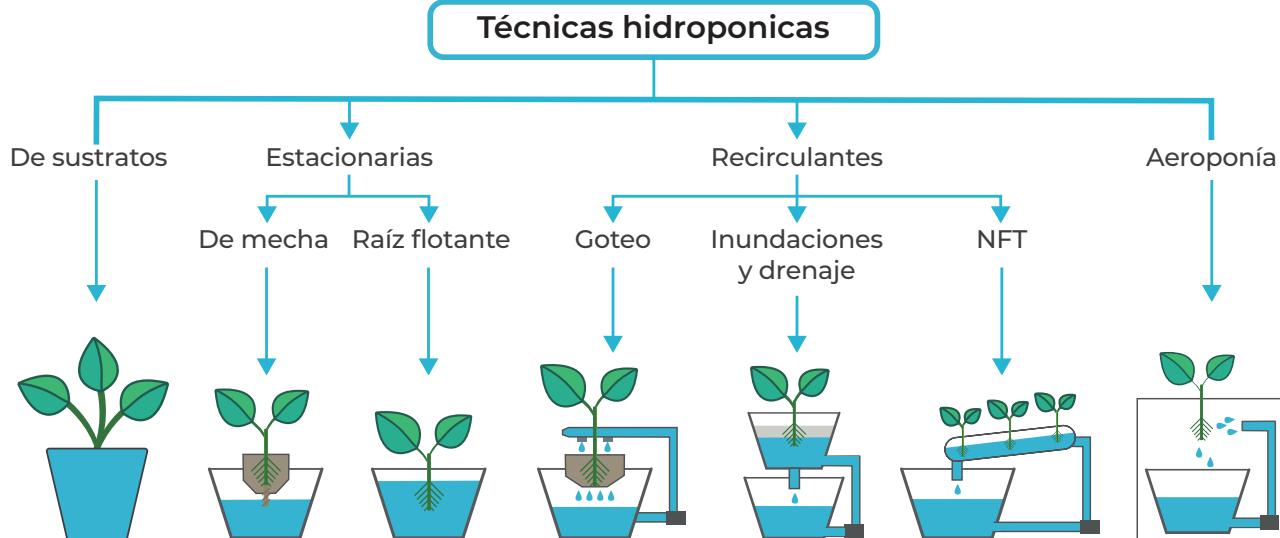


Figura 1.11. Técnicas hidropónicas.

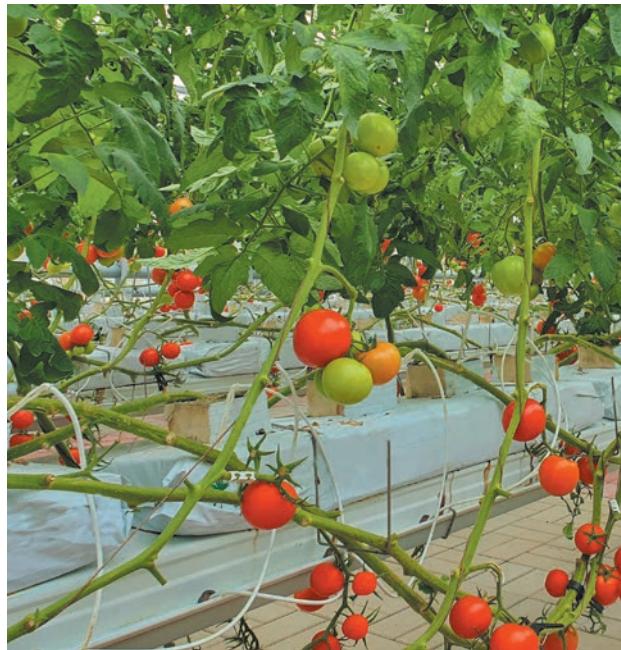


Figura 1.12. Técnica hidropónica de sustrato

A continuación se describen cada una de ellas, presentando sus principales características, sus ventajas y desventajas:

Técnica de sustratos

Este sistema emplea un sustrato de origen orgánico o inorgánico como medio de sostén de las plantas que retiene la humedad y permite la expansión del bulbo, tubérculo o raíz (ver figura 12).

El sustrato que se elija deberá tener cierta esterilidad del medio, buena oxigenación de las raíces, un excelente drenaje y una retención de humedad homogénea.

Ventajas: es el más económico, ofrece buena oxigenación y drenaje y es el más empleado para cultivos que requieran tutorado o levantar la fruta.

Desventajas: es necesario desinfectarlo previamente a la puesta y después de terminar el ciclo de cultivo. Algunos sustratos orgánicos son portadores de patógenos y tienden a acumular las sales del agua.

Tabla 1.3. Ventajas y desventajas de la técnica de sustrato

	Características generales	Ventajas	Desventajas
Técnica de sustratos	<ul style="list-style-type: none"> •Es estéril o permite su esterilidad. •Posee propiedades físicas estables. •Permite una buena oxigenación de las raíces y un excelente drenaje. •Retiene la humedad de forma homogénea. 	<ul style="list-style-type: none"> •Se pueden producir cultivos más pesados y que necesiten tutorado. •Es el más económico. •Utiliza diversos tipos de contenedores. •Permite una buena oxigenación de las raíces si el sustrato es de calidad en las proporciones adecuadas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Se requiere desinfección previa del sustrato. •Sustratos de origen orgánico pudieran tener presencia de algunos patógenos. •Tiende a acumular sales con mayor facilidad en el sustrato; por lo que requiere mayor monitoreo y lavado.

Técnicas estacionarias o de raíz flotante

Consisten en utilizar contenedores de cualquier tipo de material que evite el paso de la luz, y se protegen las raíces con una tapa con orificios que sostiene al cultivo y que permite que estas permanezcan en contacto con la solución nutritiva (ver figura 13).

Existen dos tipos: el de mecha y el de raíz flotante.

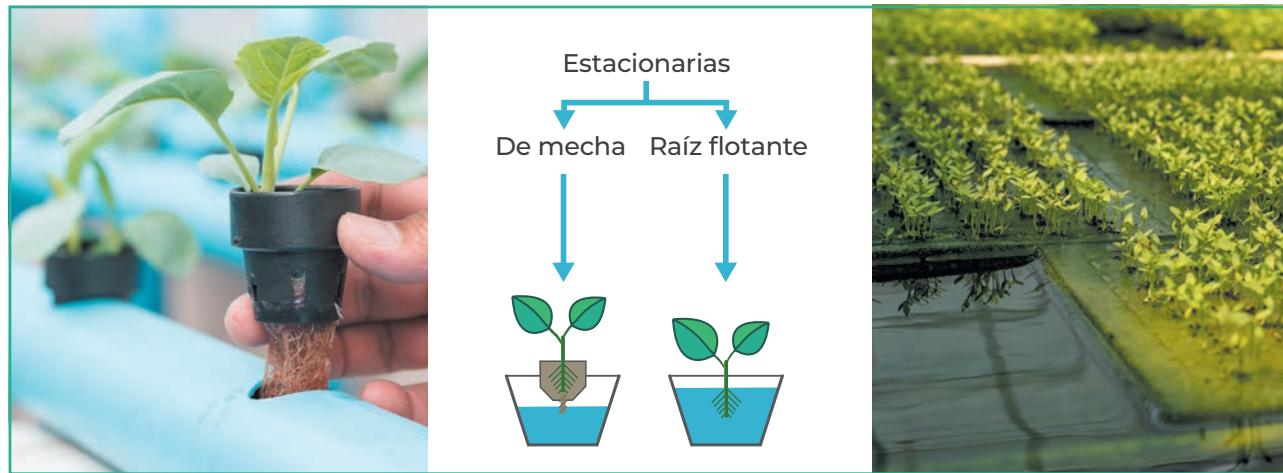


Figura 1.13. Técnicas estacionarias en la hidroponía.

Las características, ventajas y desventajas de estas técnicas se pueden resumir en la tabla siguiente:

Tabla 1.4. Ventajas y desventajas de usar las técnicas de estacionarias.

Técnicas estacionarias o de raíz flotante	Características generales	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none">Desarrollan su parte aérea flotando en una placa, generalmente de poliestireno expandido, dentro de un recipiente contenedor.Tienen sus raíces siempre en la solución nutritiva.Recomendadas para principiantes en hidroponía a pequeña escala; debido a su simplicidad y bajo costo de inversión	<ul style="list-style-type: none">Ahorro de aguaFácil manejoPocos componentes estructurales y equiposInversión baja en comparación con otros sistemas hidropónicos	<ul style="list-style-type: none">Dependen de una bomba de aireaciónSe pueden producir pocas especies vegetalesPoco prácticas para grandes escalas



Técnicas recirculantes

Con estas técnicas, las raíces permanecen sumergidas en la solución nutritiva, y deben regularse constantemente el pH, la aireación y la concentración de sales (ver figura 14).

Estas técnicas son:

- Sistema de goteo
- Sistema de inundación y drenaje
- Sistema NFT

A continuación se describe cada uno de estos sistemas:



Figura 1.14. Técnicas recirculantes.

Sistema recirculante de riego por goteo

En el sistema hidropónico recirculante de riego por goteo, la solución nutritiva se aplica a las raíces mediante goteo y presenta dos variantes (ver figura 15):

- Sistema de recuperación, en el que la solución nutritiva se recicla
- Sistema sin recuperación, que requiere de ciclos de goteo muy precisos para no generar excesiva pérdida de fertilizante

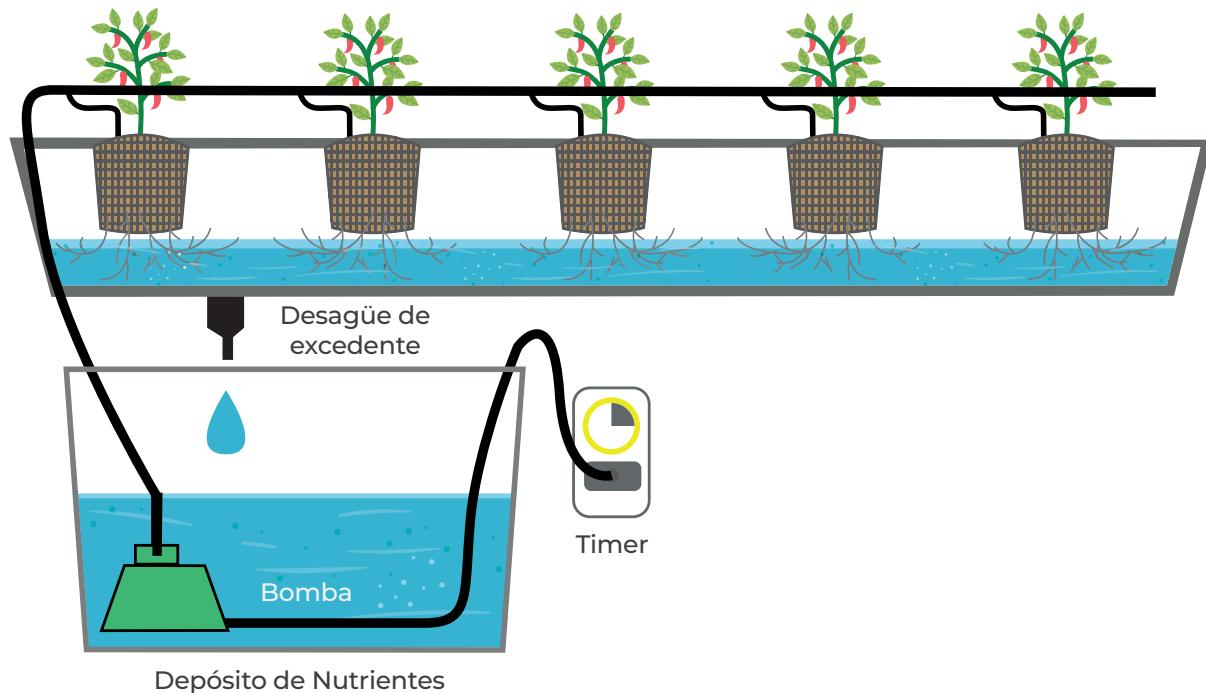


Figura 1.15. Sistema recirculante por goteo.

Tabla 1.5. Ventajas y desventajas del sistema recirculante por goteo.

	Características generales	Ventajas	Desventajas
Sistema recirculante de riego por goteo	<ul style="list-style-type: none"> • Es muy eficiente y evita el desperdicio de agua. • Proporciona humedad y nutrientes de manera lenta y constante. • Puede automatizarse la aplicación del riego. • La bomba se conecta a un temporizador que automatiza el programa de riego. • Usado en sistemas de crecimiento vertical u horizontal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Simple de construir y usar • Equipo relativamente barato. • Si se interrumpe el riego debido a una falla en la fuente de alimentación, la humedad permanece. • Versatilidad, para áreas pequeñas y grandes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los emisores de goteo tienden a obstruirse. • Dependencia de electricidad. • Control constante del pH y las fluctuaciones de nutrientes en los sistemas de recuperación. • Requiere de temporizadores de ciclo de alta precisión para la entrega de la solución.

Sistema recirculante de inundación y drenaje

En sistema de hidroponía, el agua, nutrientes y oxígeno se entregan mediante ciclos de inundación del medio de cultivo con solución nutritiva, para luego drenar el líquido.

Las características, ventajas y desventajas de este sistema se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 1.6. Características, ventajas y desventajas del sistema recirculante de inundación y drenaje.

	Características generales	Ventajas	Desventajas
Sistema de flujo y reflujo o de inundación y drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Es muy eficiente y evita el desperdicio de agua. • Proporciona humedad y nutrientes de manera lenta y constante. • La aplicación del riego se puede automatizar. • La bomba está conectada a un temporizador que automatiza el programa de riego. • Usado en sistemas de crecimiento vertical u horizontal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fáciles de construir. • Equipo relativamente barato. • El tamaño puede ser bastante compacto, pero son escalables y adaptables a diferentes necesidades de crecimiento. • Eficiente, ya que recicla la solución nutritiva. • El sistema puede ser automatizado. • Puede tener éxito con plantas que no funcionan en otros sistemas, como pepinos, frijoles, tomates y otras plantas de tamaño mediano a grande. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depende de la electricidad y de una bomba. • Los sistemas expandidos son más complicados de construir. • Requiere control del pH inestable y los niveles de nutrientes de la solución reciclada. • Necesidad de observar algas y patógenos en el contenedor abierto. • Hacer que el ciclo sea correcto puede ser un desafío.



Sistema de película de nutriente o sistema NFT (Nutrient Film Technique).

Es la versión original de este sistema alternativo de producción agrícola, en el que las raíces se suspenden sobre la corriente de solución nutritiva que fluye continuamente, proporcionándole a la planta el agua, los nutrientes indispensables y el oxígeno, con el fin de mantener un crecimiento rápido y saludable de las plantas (ver figura 16).

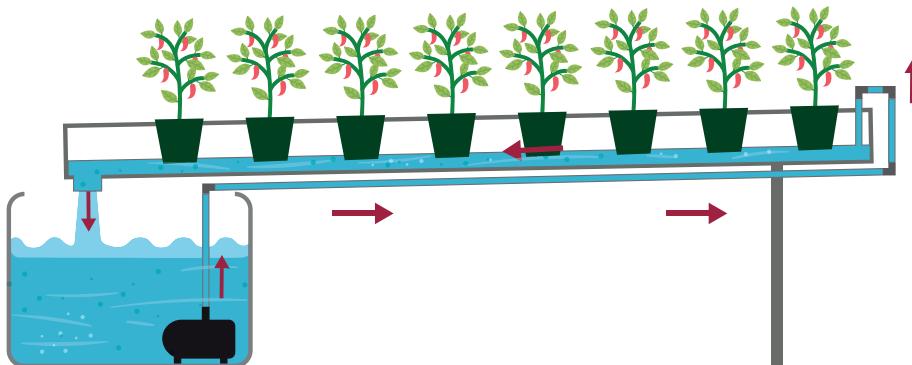


Figura 1.16. Sistema recirculante NFT

Las características, ventajas y desventajas de este sistema se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 1.7. Característica, ventajas y desventajas del sistema recirculante NFT

	Características generales	Ventajas	Desventajas
Sistema de flujo y reflujo o de inundación y drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • A menudo consiste en múltiples canales de crecimiento, con un límite en cuanto a su duración. • Raíces suspendidas por encima de la solución nutritiva dentro de la cámara, mientras que la corona se extiende por encima. • A menudo no hay necesidad de un medio de cultivo. • La solución se bombea desde un depósito hasta el extremo superior del canal en crecimiento, y después de fluir a lo largo del canal se devuelve al depósito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de construir y mantener. • Fácil adaptación a diferentes espacios y requisitos de la planta. • Relativamente económico. • No es necesario un medio de cultivo. • Reducción de la necesidad de aireación de la solución nutritiva en el depósito, debido a la circulación constante. • No requiere de temporizadores o ciclos de riego. • Utiliza menos agua y nutrientes debido al reciclaje de la solución de nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depende de la electricidad y de una bomba • Los sistemas expandidos son más complicados de construir. • Requiere control del pH inestable y los niveles de nutrientes de la solución reciclada. • Necesidad de observar algas y patógenos en el contenedor abierto. • Hacer que el ciclo sea correcto puede ser un desafío.

Técnica aérea o aeroponía.

Esta técnica mantiene las raíces libres, quedando en contacto con el aire y dentro de un medio oscuro. La solución nutritiva se aplica por medio de nebulizadores controlados por temporizadores (ver figura 17).

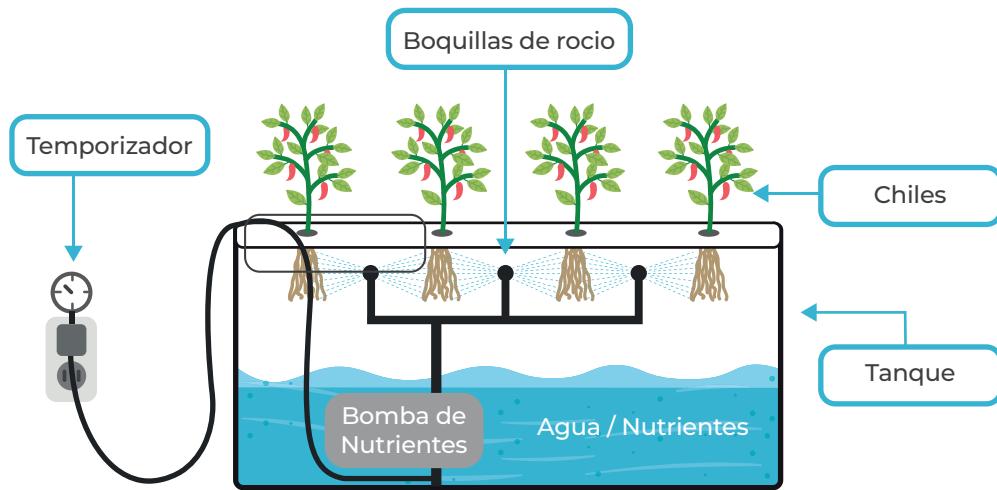


Figura 1.17. Técnica de aeroponía.

Las características, ventajas y desventajas de esta técnica se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 1.8. Característica, ventajas y desventajas de la técnica de aeroponía.

Técnica aérea o aeroponía	Características generales	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none">Las raíces están suspendidas en el aire, por lo que tienen una máxima exposición al oxígeno.Las raíces crecen sin restricciones en la cámara de abajo, mientras las coronas crecen hacia arriba.La solución nutritiva se bombea desde un depósito a través de los rociadores o pulverizadores a intervalos regulares para que las raíces se alimenten y se evite que se sequen.	<ul style="list-style-type: none">Eliminar el medio de crecimiento permite que las raíces se expongan a oxígeno extra, que resulta en un crecimiento más rápido.Es un sistema extremadamente eficiente en el uso del agua.Capacidad de cultivar grandes cantidades de alimentos en espacios pequeños. Granjas verticales interiores.No hay escurrimiento de nutrientes.El equipo de cultivo puede ser esterilizado para el control de plagas o enfermedades.	<ul style="list-style-type: none">La concentración de nutrientes del agua debe mantenerse dentro de parámetros precisos.Si los nebulizadores fallan y no pulverizan cada pocos minutos, las raíces colgantes se secarán rápidamente.Los rociadores necesitan una limpieza regular para evitar que se obstruyan.Dependencia de energía eléctrica para bombear el agua.



Capítulo 2: Material vegetal

2.1 ¿Qué son las hortalizas?

Las hortalizas son plantas que se cultivan en huertos, son comestibles, son generalmente pequeñas y sus tallos son herbáceos.

2.2 Clasificación de Hortalizas

De acuerdo a la parte que se consume de la hortaliza se puede clasificar de la siguiente forma:

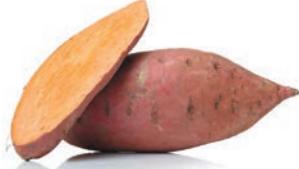
Hortalizas de raíz	betabel, camote, jícama, nabo, rábano, Yuca y zanahoria		
 			

Figura 2.1. Hortalizas de raíz.

Hortalizas de tallo	Colinabo, espárrago y papa		
			

Hortalizas de hoja	Ajo, cebolla, poro, lechuga, col, col de Bruselas, verdolaga, apio, cilantro, perejil, espinaca, acelga, berros, amaranto y mostaza
	

Figura 2.3. Hortalizas de hoja

Hortalizas de flores inmaduras y maduras	Alcachofa, brócoli, coliflor, calabacita y huauzontle
	

Figura 2.4. Hortalizas de flores inmaduras y maduras.



Hortalizas de fruto	Calabacita, pepino, melón, sandía, ejote, chayote, chile, berenjena, jitomate y tomate verde

Figura 2.5. Hortalizas de fruto.

Hortalizas de semilla	Chícharo, haba y maíz dulce

Figura 2.6. Hortalizas de semilla.

2.3 Condiciones climáticas

En la tabla 2.1 se presentan los rangos de temperatura para algunos cultivos.

Tabla 2.1. Condiciones climáticas.

Hortalizas de clima frío (temperatura media mensual de 15 a 18 °C)	Hortalizas de clima cálido (temperatura media mensual de 18 a 30 °C).
<ul style="list-style-type: none">• Cebolla, ajo, poro o puerro.• Zanahoria, apio, cilantro, perejil.• Betabel, acelga, espinaca.• Espárrago.• Brócoli, coliflor, col, colinabo, col de bruselas.• Lechuga, alcachofa.	<ul style="list-style-type: none">• Chícharo, frijol ejotero, jícama, haba.• Chile, jitomate, papa, tomate.• Maíz dulce.• Yuca.• Camote.• Verdolaga.• Calabacita, sandía, pepino, melón.• Hierbabuena, orégano.

2.4 Propagación

Otro elemento a considerar es la propagación, que se refiere a como se pueden reproducir las plantas, una forma es la reproducción sexual y la otra forma es la propagación vegetativa.

La reproducción sexual se da a partir de la polinización de las flores, donde se lleva a cabo el intercambio genético entre el óvulo y los granos de polen, a partir del cuál se produce la semilla.

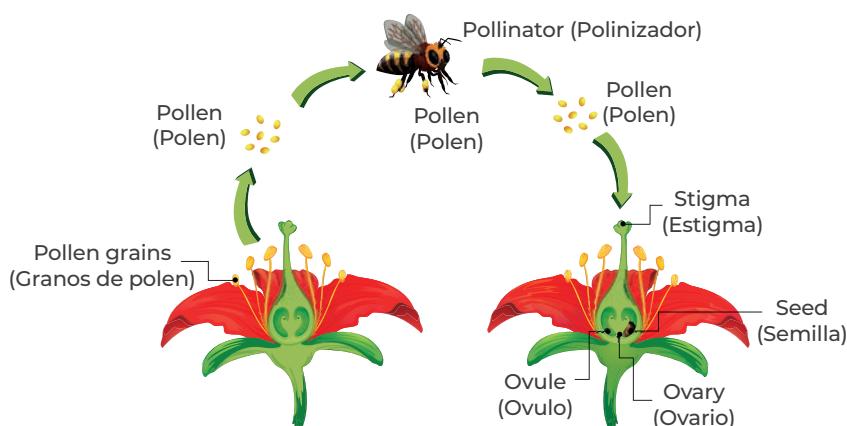


Figura 2.7. Polinización.



Por otro lado, la propagación vegetativa consiste en generar un nuevo individuo a partir de una parte de la planta, como puede ser un tallo, una rama o una hoja. Por ejemplo, si siembran un bulbo de ajo, este producirá una nueva planta.

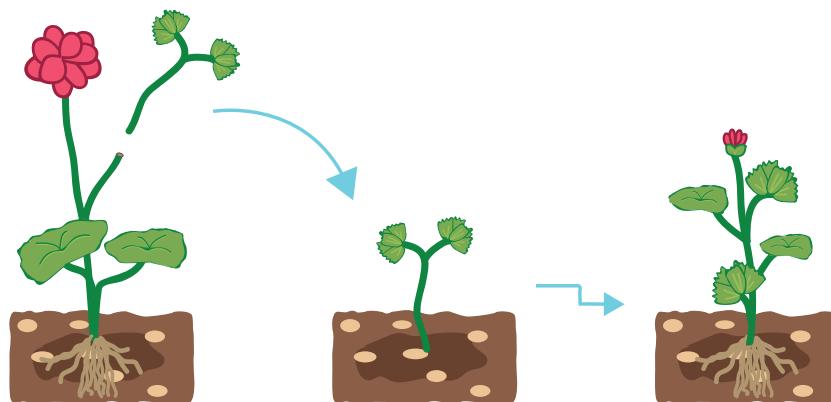


Figura 2.8. Propagación vegetativa usando tallos.

Tabla 2.2. Propagación.

Hortalizas que se reproducen por semilla	Hortalizas que se propagan vegetativamente
Betabel, zanahoria, rábano, nabo, colinabo, apio, cebolla, poro, lechuga, col, espinaca, acelga, mostaza, perejil, cilantro, col de bruselas, amaranto, verdolaga, brócoli, coliflor, calabacita, huauzontle, pepino, ejote, chile, ocre, berenjena, melón, sandía, jitomate, tomate, chícharo, maíz dulce, haba.	Chayote, ajo, papa, camote, yuca, cebolla.

La semilla es donde está el material genético de la planta, la cual germina cuando existen las condiciones adecuadas. Esta tiene una cubierta cuya función es protegerla de daños externos, como ruptura, desecación, ataque de hongos o de insectos, en la figura 2.9 se pueden ver semillas de diferentes plantas.



Figura 2.9. Diferentes tipos de semillas.

En la figura 2.10 se puede ver el proceso de germinación de una planta a partir de la semilla, una vez que esta ha sido sembrada.



Figura 2.10. Etapas en la germinación de una semilla.

2.5 Semillero

Un semillero es un grupo de cavidades pequeñas donde se puede sembrar la semilla y donde puede crecer la planta hasta que se trasplanta.

Las funciones de un semillero son las siguientes:

- Permite asegurar que la planta germine
- Permite que las plantas crezcan hasta el momento de su trasplante
- Representa un ahorro en agua, espacio, fertilizante y sustratos



Figura 2.11. Semillero.

2.6 Forma de propagación, siembra y duración del ciclo del cultivo

Cada hortaliza tiene diferentes formas de propagación, forma de siembra y duración del ciclo, es decir el tiempo que tarda en desarrollarse, desde la siembra hasta la cosecha.

Tabla 2.3. Forma de propagación, siembra y duración del ciclo del cultivo

Hortaliza	Forma de propagación	Forma de siembra	Duración del ciclo
Acelga	semilla	Trasplante y directa	60
Ajo	dientes	directa	90-120
Alcachofa	Hijuelos, tocón	directa	150
Apio	semilla	Trasplante	90-120



Betabel	semilla	Trasplante y directa	70-90
Brócoli	semilla	Trasplante y directa	70-90
Calabacita	semilla	directa	45
Cebolla	semilla y bulbo	Trasplante	120
Chícharo	semilla	directa	90-70
Chile	semilla	Trasplante	90-120
Cilantro	semilla	Trasplante	50
Col	semilla	Trasplante y directa	80-100
Coliflor	semilla	Trasplante y directa	80-100
Col de bruselas	semilla	Trasplante y directa	110-130
Espinaca	semilla	directa	50-60
Ejote	semilla	directa	70
Jitomate	semilla	Trasplante y directa	110-120
Haba	semilla	directa	120-150
Lechuga	semilla	Trasplante y directa	80-90
Melón	semilla	Trasplante y directa	100-120
Nabo	semilla	directa	90
Papa	tubérculo	directa	120-130
Pepino	semilla	Trasplante y directa	70-80
Perejil	semilla	directa	80
Poro o puerro	semilla	Trasplante	150
Rábano	semilla	Trasplante y directa	60-70
Sandía	semilla	directa	110-130
Tomate	semilla	Trasplante	110-120
Verdolaga	semilla	directa	60-70
Zanahoria	semilla	directa	90-100

2.7 Germinación

Las semillas necesitan tres condiciones para germinar:

1. Agua
2. Oxígeno
3. Temperatura

La luz también es indispensable para algunas especies silvestres.

2.8 Siembra directa o trasplante del semillero

En la siembra directa se coloca la semilla en el lugar donde germinará y crecerá hasta su cosecha. El trasplante consiste en retirar la planta del semillero y colocarla en el contenedor donde crecerá hasta que sea cosechada.

En el trasplante, los pasos son los siguientes (ver figura 2.11):

- Siembra en el semillero y germinación
- Una vez que la planta ha crecido lo suficiente se saca del semillero
- Por último se hace el trasplante al sistema hidropónico



Siembra en semillero

Se saca la planta del semillero

Se realiza el trasplante

Figura 2.11. Proceso de siembra y trasplante.

Para concluir, hemos ya identificado que tipo de hortalizas se pueden cultivar en un sistema hidropónico, cómo podemos germinar las semillas y después transplantarlas a dicho sistema.



Capítulo 3: Contenedor y sustrato

3.1 Materiales y dimensiones

Durante la planeación de un sistema hidropónico ya sea en una zona urbana/periurbana o rural, el espacio viene a ser una de las limitantes de los materiales y de la dimensión de los contenedores a manejar, por ejemplo:

- En una zona urbana/periurbana, el espacio para establecer un sistema hidropónico es el interior de la vivienda o el techo de la casa
- En una zona rural, el espacio para desarrollar un sistema hidropónico es el patio de la vivienda o terreno agrícola

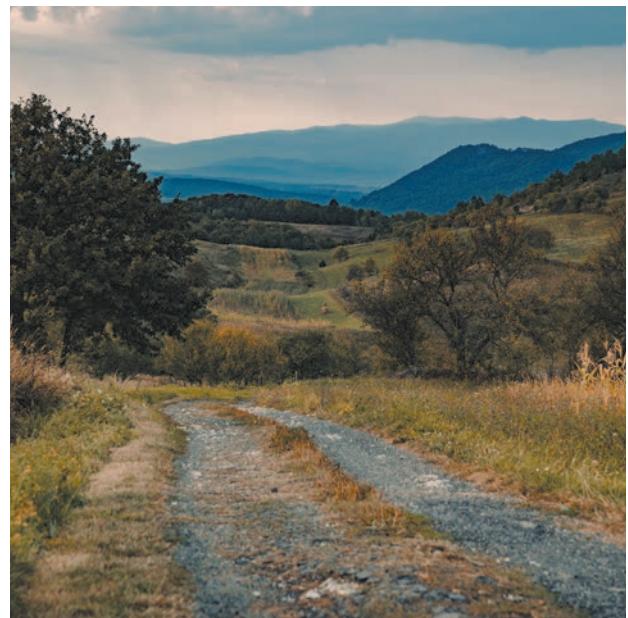


Figura 3.1. Espacio para establecer un sistema hidropónico

De esta manera, una vez establecido el espacio se dimensionan los contenedores a usar, así como el tipo de material.

El contenedor será el medio para colocar el sostén, la solución nutritiva y el agua que necesitan las plantas para su desarrollo.

Los Materiales con los que se pueden fabricar es: Concreto, asbestos, madera, aluminio, poliéster, acrílico, ladrillo polivinilo, cartón asfaltado, P.V.C, entre otros.

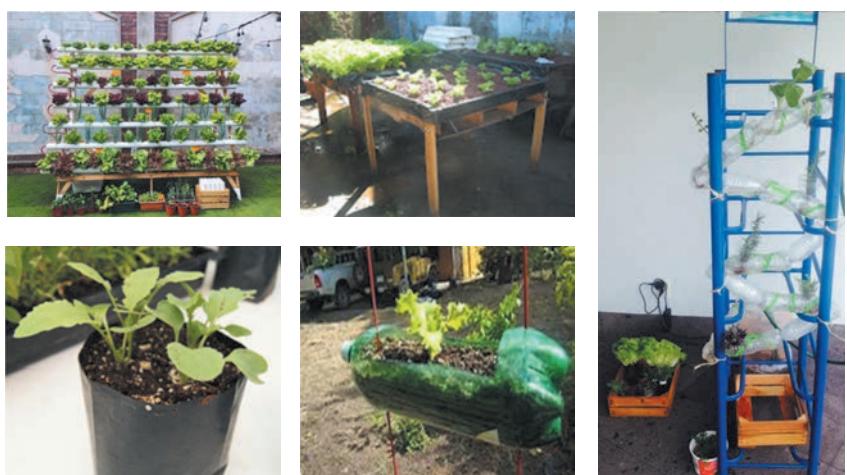


Figura 3.2. Contenedores y tipos de material.

Algunas dimensiones sugeridas de contenedor de un sistema hidropónico son:

- Para un contenedor horizontal: su profundidad debe ser de 10 a 30 cm y un ancho de 20 a 120 cm. El largo puede ser de hasta 50 m
- en el caso de un contenedor vertical: su diámetro debe ser de 10 a 50 cm y alto 2 m

Para el caso de un sistema hidropónico familiar los principales contenedores que se manejan suelen ser:

- Bolsas de plástico
- Bancales o mesas de cultivo
- Bancales a nivel de piso
- Baldes o recipientes plásticos diversos
- Diversos tubos de PVC

El espaciamiento entre plantas en los contenedores deberá hacerse en zigzag con tal de evitar que la sombra de una planta no interfiera con la que se encuentre a su alrededor, ver tabla 3.1 donde se muestran los espaciamientos recomendados según el tipo de hortalizas.

Tabla 3.1. Distancia entre plantas al hacer el trasplante.

Distancia entre plantas al hacer el trasplante.

Hortalizas	Distancia entre plantas	Hortalizas	Distancia entre plantas
	(cm)		(cm)
Acelga	30	Ajo	20
Alcachofa	100	Apio	30
Betabel	10	Brócoli	50
Calabacita	100	Cebolla	10
Chícharo	5	Chile	50
Cilantro	5	Col	35
Coliflor	50	Col de bruselas	50
Espinaca	10	Ejote	30
Jitomate	30	Haba	20
Lechuga	30	Melón	30
Nabo	10	Papa	20
Pepino	15	Perejil	20
Poro o puerro	10	Rábano	5
Sandía	100	Tomate	30
Zanahoria	5		



3.2 Tipos de sustrato y sus características

El sustrato es el material o medio que en un sistema hidropónico va a reemplazar el suelo en sus funciones de sostén de la raíz y retención de humedad, ver figura 3.3.

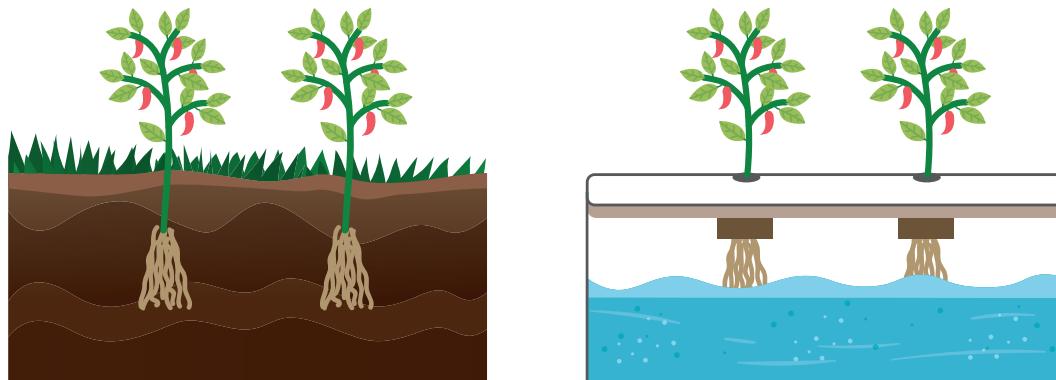


Figura 3.3. Siembra en suelo Vs Hidroponía.

En los inicios de la puesta en marcha de esta técnica agronómica solo se usó como medio el agua, pero al pasar los años e irla perfeccionando, con fin de manejo, se empezó a usar sustratos sólidos.

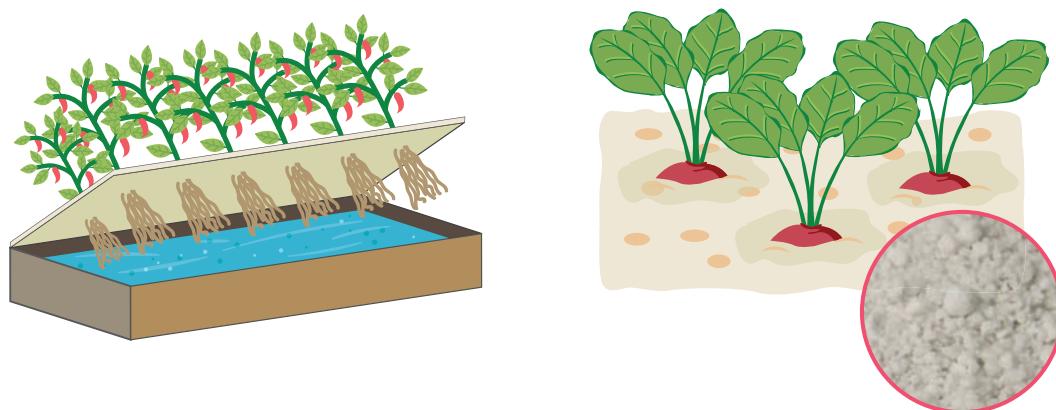


Figura 3.4. Hidroponía usando solo agua Vs Hidroponía con sustrato.

En términos generales, la selección del tipo de sustrato que se debe usar en el sistema hidropónico va a depender de tres principales criterios.

- Precio
- Disponibilidad
- Retención de humedad

En el ambiente, así como en el mercado hay infinidad de sustratos orgánicos e inorgánicos; sin embargo, con fin de ordenarlos y destacando el manejo se pueden agrupar en tres medios:

- Agua
- Grava
- Agregados

Cultivo en agua como medio.

Usando como medio el agua, ésta se caracteriza porque las raíces se desarrollan total o parcialmente en el agua, donde el contenedor debe estar equipado de soportes para las plantas, las cuales pueden ser esponjas, corchos, canastillas, entre otros.

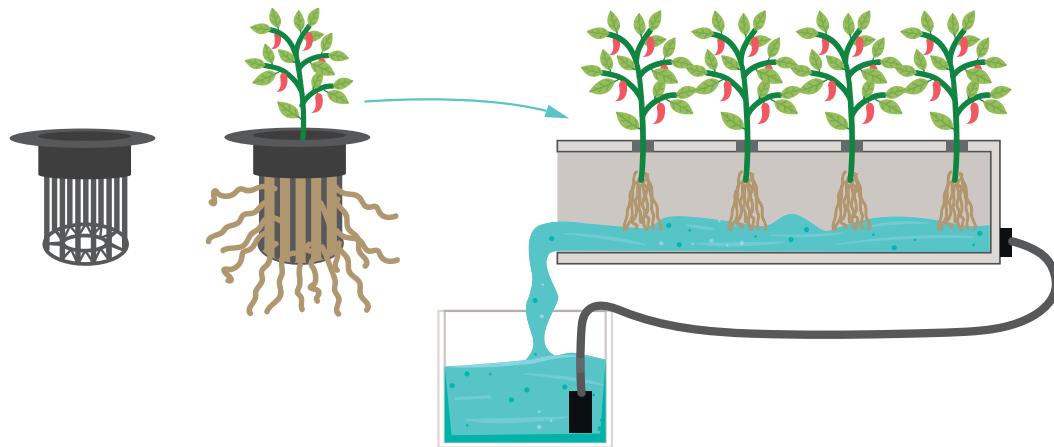


Figura 3.5. Hidroponía usando agua como medio.

Recomendaciones en el manejo del agua como medio:

- El pH en el agua deberá oscilar en un rango de 6.5 a 7.0.
- La solución nutritiva debe estar a oscuras para evitar crecimiento de algas que provoquen competencia por oxígeno y nutriente.
- Se debe proveer suficiente aireación a las raíces, ya sea de manera natural o por bombeo.
- Se recomienda que la profundidad del lecho sea de 5 a 10 cm.
- La fertilización debe ser la mitad de la concentración usada en sustrato de agregados.
- En el manejo, reemplazar la solución nutritiva cada 3 o 4 semanas.

Cultivo en grava como medio

La grava se caracteriza por ser de material inerte y cuyos tamaños oscilan de 2 a 4 cm de diámetro. El material considerado como grava es: basalto, granito, tezontle, piedra pómez, pedazos de ladrillo o carbón.



Figura 3.6. Tipos de grava como medio en cultivo de hidroponía.



Recomendaciones en el uso de la grava como medio en la hidroponía:

- Evitar que el sustrato de grava tenga elementos tóxicos y alcalinidad alta
- Seleccionar entre los tipos de grava, el que tenga alta retención de humedad y no se pulverice con facilidad
- Mantener estables los niveles de pH entre 6.5 y 7.0, los fosfatos y el fierro
- Aplicar riego por subirrigación: el agua y la solución nutritiva ingresa al contenedor para alimentar a la planta, luego se drena y se recircula.

Cultivo en agregado como medio

Este tipo de sustrato consta en partículas más diminutas que las gravas y miden menos de 5 milímetros de diámetro. Entre los materiales considerados como agregados están la arena, la agrolita, la vermiculita y el tezontle.



Figura 3.6. Tipos de agregados como medio en cultivo de hidroponía

Arena: la de río es la más recomendable. Cuidar que esté libre de elementos tóxicos y contenido de cal para no fijar el fósforo, además, cuidar que el pH no sea elevado. Es muy pesada cuando está húmeda, sin embargo, drena rápido.

Agrolita: es un agregado que presenta alta retención de humedad, buen drenaje y es muy ligera. El inconveniente es que se pulveriza con el tiempo.

Vermiculita: este tipo de agregado esta constituido por láminas de silicatos que al estar en contacto con el agua se expanden. Presentan buena retención de humedad, pero tienen el inconveniente al no realizarle con facilidad la esterilización.

Tezontle: su origen es volcánico y es fácil de conseguir. El tezontle fino como agregado presenta buena retención de humedad y drenaje, su costo es bajo. Solo tener cuidado ya que no permite la esterilización con métodos químicos.

Recomendaciones en el uso de los agregados como medio en la hidroponía:

- Tener instalaciones con buen drenaje, evitando encharcamientos de agua.
- Los sustratos deben lavarse en promedio cada 4 semanas para lixivar la sal acumulada y evitar toxicidad. Hacerlo solo con abundante agua
- Tener un riego diseñado y adecuado a las condiciones del sustrato, para evitar con la presión pulverizar el sustrato o generar exceso de humedad.

3.3 Riego y drenaje

El riego y drenaje usando como medio el agua.

Cuando se usa como medio el agua, deben revisarse a detalle los siguientes puntos:

- Vigilar que la fuente de abastecimiento esté siempre en los niveles requeridos,
- Cuidar que la solución nutritiva esté en el rango correcto de pH (5.5 a 7) y conductividad eléctrica (800 a 1600 ppm), según el tipo de cultivo
- Vigilar que el equipo de bombeo funcione con la eficiencia adecuada y se tenga energía eléctrica o combustible en el generador
- En caso de usar un sistema de gravedad como un bote a determinada altura, velar que tenga suficiente solución nutritiva o agua el recipiente.
- Cuidar que el tubo de drenaje no tenga fugas para evitar perder solución nutritiva

El riego y drenaje usando como medio la grava.

Cuando se usa como medio el agua, deben revisarse a detalle los siguientes puntos:

Como el riego es por subirrigación, es decir, se hace pasar la corriente de agua a través del medio, mojando la grava y las raíces de las plantas, deben mantenerse los niveles adecuados de agua sobre el contenedor, para que las raíces se alimenten; además, deben tener contacto con la grava para que aprovechen la película de humedad al realizar el drenado.

El riego y drenaje en un sustrato de agregados

El riego en sustrato usando agregados en la hidroponía puede realizarse de tres formas, superficial, capilar y por goteo.

- Superficial, se aplica el agua o solución nutritiva en la superficie, para que drene hacia las raíces
- Capilar, se aplica a través de una mecha de algodón en el fondo del contenedor que es a través del cual el agua y solución nutritiva subirá
- Goteo, la solución nutritiva no se recircula, por lo que el consumo es muy bajo; y el ajuste de la solución nutritiva se puede hacer la medición más exacta.

En la infraestructura del sistema hidropónico el drenaje de los excesos de agua es fundamental, cualquiera que sea su dimensión, deben evitarse los encharcamientos, fugas de agua por conductos rotos, tapete del piso húmedos, entre otras anomalías que pueden llegar a presentarse. Mantener un drenaje óptimo en el espacio de trabajo va evitar la proliferación de plagas y enfermedades que impacten en los resultados de rendimiento de la planta.

En todo momento cuidar que el equipo de riego funcione correctamente, desde la fuente de agua, el contenido nutricional esté en los parámetros recomendados, el equipo de bombeo tenga energía eléctrica o combustible en caso de usar generador, principalmente.

3.4 Ventajas y desventajas

Cultivo usando como sustrato la grava.

- Ventajas.

Permite usarlo en sistemas de mediana y gran escala por ser redituable; presenta buen drenaje, ahorro de fertilizantes se esteriliza de manera química y permite la automatización del riego.

- Desventajas.

Demandó un alto costo por los aditamentos y automatización; la grava se intemperiza y hay que cambiarla cada determinado ciclo; y las plantas son más sensibles al pH, nutrientes y a la temperatura de la solución.

Cultivo usando como sustratos agregados.

- Ventajas

Por la naturaleza más pequeña de los agregados, permite mayor retención de humedad y menos frecuencia del riego. Sencillez en el manejo y uso del sustrato varias veces. Es fácil de adquirir.

- Desventajas:

A través del tiempo y por el uso, tienden a pulverizarse. En caso de no tener un buen drenaje en la infraestructura provoca encharcamiento.

3.5 Preparación de sustratos

A diferencia de la agricultura intensiva donde los sustratos son más orgánicos, aportan nutrientes y en la mezcla que se realiza con material inerte, tipo grava, tezontle, agrolita o vermiculita, éstas cumplen la función de abrir espacios para un mejor drenaje y aireación. Para la técnica de hidroponía, es al revés, debe evitarse el aporte de cualquier sustancia por parte del sustrato por pulverización e intemperismo, es por ello que los materiales deben ser estables química y mecánicamente, garantizando su propósito como medio para el desarrollo de las plantas, ofreciendo estabilidad, adecuado nivel de humedad, buen drenaje, expansión radicular, retención de nutrientes y agua, principalmente.



Para la preparación del sustrato es necesario seguir los siguientes pasos:

- Limpiar el sustrato con agua
- Al remojarlo, medir el pH, cuyo valor no debe ser alcalino (superior a 7.0)
- Hacer la prueba de pulverización, revisando el color del agua donde se remoja
- Según el origen del sustrato, revisar que no haya estado en contacto con elementos tóxicos, como grasas, ácidos, entre otros.
- En el caso de las gravas, cuidar que las caras no sean agudas, para evitar cortes tanto del contenedor como de las raíces de las plantas.

Una vez realizadas las pruebas químicas y mecánicas, el material se deja secar y se coloca en su embalaje, en caso de almacenarlo, o bien se llenan los contenedores.

3.6 Solución nutritiva

Para los fines y alcance de este manual, definiremos la solución nutritiva como la mezcla de agua y fertilizantes.

Algunos de los factores que permiten conservar la calidad de la solución nutritiva, son los siguientes:

- Temperatura de la solución,
- Nivel de oxígeno,
- Conductividad eléctrica y
- pH

Temperatura

La temperatura recomendable a la que debe conservarse la solución en el recipiente es alrededor de los 25 °C, y no debe sobrepasar los 28 °C. Además, la solución debe mantenerse siempre protegida de la luz, para evitar el desarrollo de algas.

En el caso de las zonas del país donde la temperatura es muy alta es necesario trabajar con soluciones más diluidas porque los riegos son más frecuentes y hay que darle mayor cantidad de agua a las plantas.

Nivel de oxígeno

El nivel de oxígeno está en función de la temperatura del agua, cuanto más fría mejor, solo cuidar no sobrepasar a valores que causen daño a las plantas. La oxigenación de la solución nutritiva es lo que va a garantizar la absorción de los nutrientes por las raíces de las plantas en el sistema hidropónico. Esta acción puede hacerse mediante un soplador o bombas de aire. En el caso de los sistemas hidropónicos de mecha, con solo dejar un espacio entre la tapa y el nivel de solución es suficiente para oxigenar.

Conductividad eléctrica (CE, mS/cm o dS/m o ppm)

Este parámetro deberá monitorearse a diario, ya que refleja el nivel de consumo de los nutrientes y este cambia en el tiempo debido a que las plantas absorben agua y nutrientes en diferentes proporciones de su estado de desarrollo y de las condiciones ambientales.

Al medir la CE la cantidad de iones en la solución nutritiva, quiere decir que, cuantos más iones, mayor es la conductividad eléctrica. Esta medición puede realizarse a través de un aparato llamado conductímetro. El CE del agua de riego de buena calidad debe oscilar en un valor de 0.70 a 1.5 dS/m o 595 a 1275 ppm de sales, en tanto que una solución nutritiva hidropónica típica se suele preparar entre valores comprendidos de 1.0 a 3.0 dS/m. Por ejemplo, en la lechuga, el valor del CE nutricional es de 1.5 dS/m.

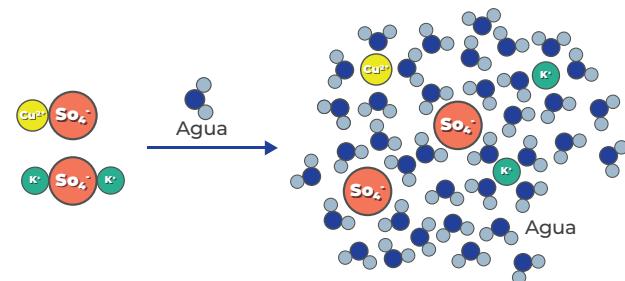


Figura 3.7. Recuperación de nutrientes al depósito de bombeo.



Figura 3.8. Medidor portátil de la Conductividad Eléctrica (CE)

Por lo tanto, la lectura de la CE nos dará una idea de la cantidad de nutrientes que se encuentran en la solución nutritiva. Entre mayor es la concentración de nutrientes o iones, mayor será entonces la lectura del CE.

pH de la solución

El monitoreo de este parámetro deberá hacerse diariamente, ya que al realizar las raíces la absorción de la solución nutritiva, este valor se altera. Tal monitoreo puede hacerse a través de un instrumento. El potencial de hidrógeno (pH) ideal para la solución nutritiva debe estar entre 5.5 a 6.5. Mantener la solución nutritiva fuera de este rango provocará que la planta no absorba algunos nutrientes.



Figura 3.9. Medidor portátil del pH

3.7 Macroelementos y microelementos

Una vez que se ha abordado el subtema de solución nutritiva y analizado sus características y manera de medirla a través del CE y el pH, ahora toca revisar, que contiene ese caldo de nutrientes.

La solución nutritiva se formula a través de fertilizantes. Los fertilizantes son una mezcla de diversos elementos químicos en forma de sales que tendrán la función de satisfacer los requerimientos nutricionales de la planta.

Para la formulación de la solución nutritiva se necesitan dos grupos:

- Macronutrientes
- Micronutrientes

Se les llama macronutrientes por ser los que requiere la planta en mayor cantidad, entre ellos figuran: Carbono (C), Hidrógeno, (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).

Y los micronutrientes, son aquellos elementos químicos que requiere la planta en menor cantidad, entre ellos: Fierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Boro (B).

Es importante hacer notar que, en un sistema hidropónico, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua para preparar la solución de nutriente.

De los macronutrientes los que más tienen efecto son el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y el Potasio (K).

3.8 Fórmulas comerciales y preparación de la solución nutritiva

Fórmulas comerciales.

Todas las plantas requieren los mismos elementos minerales, macros y micronutrientes, sin embargo cambia la proporción requerida según la especie y también dentro de la misma especie varía según la etapa de su ciclo fenológico o de crecimiento, desarrollo, floración y fructificación, es decir, según el mecanismos de producción de materia seca es el requerimiento nutritivo, por lo que el consumo de elementos minerales contenidos en los fertilizantes, usados para preparar la solución nutritiva, también será diferente para cada una de las etapas de la planta.

En términos agronómicos, durante la etapa de crecimiento la mayor demanda de la planta es de nitrógeno, por lo que deberá de proveerse a través de fertilizantes como el Nitrato de Amonio, durante la floración se demanda el Fósforo y el Potasio en la fructificación.



Desarrollar a detalle la explicación para la formulación de una solución nutritiva queda fuera del alcance de este manual dado a los objetivos propuestos, pero existen en el mercado infinidad de fórmulas nutritivas completas que cubren los requerimientos del cultivo que se tenga propuesto establecer o que se esté manejando; también la FAO tiene diversos manuales de fórmulas nutritivas que describen el ABC de cómo prepararlas.

Sin embargo, es importante destacar la manera en que encontraremos estas fórmulas comerciales.

Un ejemplo de fórmula comercial es la que Hydro-Gardens ofrece para tomates hidropónicos: 4-18-38 y también contiene magnesio y micronutrientes.

En este caso nos dice que la fórmula está manejando 4 partes por millón de Nitrógeno, 18 partes por millón de Fósforo y 38 Partes por millón de Potasio. Aparte, da una explicación de las cantidades de solución madre a tomar por cierta cantidad de agua.

Preparación de la solución nutritiva

A continuación, se enumeran los pasos para realizar la preparación de una solución nutritiva (SN):

- En un depósito o estanque echar agua según el volumen recomendado en la fórmula comercial para disolver la solución madre.
- Medir el pH del agua (rango menor a 7), esta actividad debe ser continua durante la preparación. En caso de ser muy alcalina, echar vinagre o un ácido tipo bórico que permita bajar el pH.
- Realizar la disolución previa de abonos por separado.
- Vaciar los fertilizantes disueltos al o los depósitos.
- En el depósito, disolver con una cuchara de madera o paleta de plástico, hasta homogeneizar el color.
- Ajustar los valores del pH y la CE agregando agua y solución madre. Cada vez que se agregue solución hay que remover.
- Comprobación y ajuste del pH y la CE hasta los valores que el fabricante recomienda.

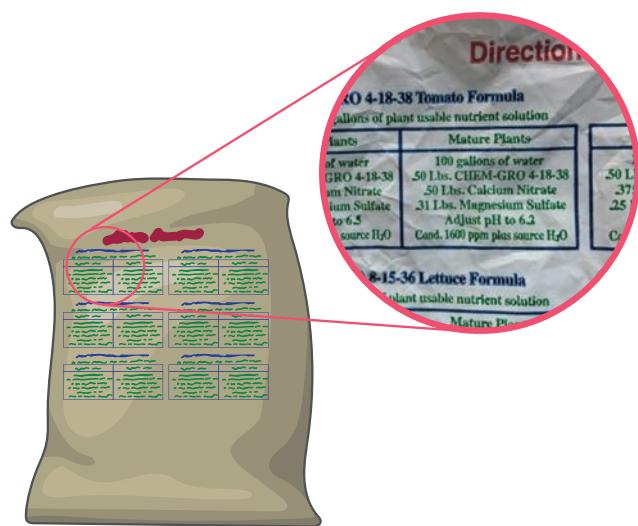


Figura 3.10. Fórmula comercial e instrucciones de uso.



Figura 3.11. Preparación de la solución nutritiva.

Capítulo 4: Prácticas culturales

Las prácticas culturales son actividades que sirven principalmente para mantener el cultivo y que este se desarrolle de manera adecuada hasta el momento de su cosecha.

Estas prácticas consisten en:

- La poda
- La colocación de tutores
- El control de plagas y enfermedades
- La cosecha

4.1 Poda

La poda es el corte de hojas y ramas con el fin de reducir el follaje de la planta (ver figura 4.1). Esta se realiza para estimular el crecimiento de nuevos brotes y aumentar la producción. Con la poda se reduce el número de frutos, sin embargo, se incrementa el tamaño y peso de estos. La poda facilita el cuidado del cultivo hasta el momento de su cosecha.

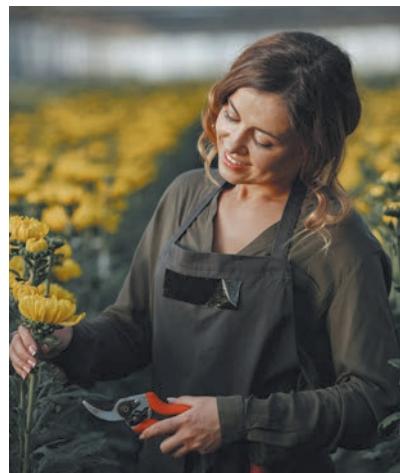


Figura 4.1. Poda con tijeras de jardín.

4.2 Colocación de guías

Un tutor es una guía para que la planta crezca siguiendo su trayectoria. El uso de tutores facilita la cosecha y evita que los frutos estén en contacto con el suelo y se dañen. La colocación de tutores debe aplicarse en cultivos de mayor porte, como jitomate, tomate o chile y en cultivos trepadores; por ejemplo, chícharo o Pepino y debe realizarse antes del trasplante.



Figura 4.2. Tutores en un cultivo hidropónico.

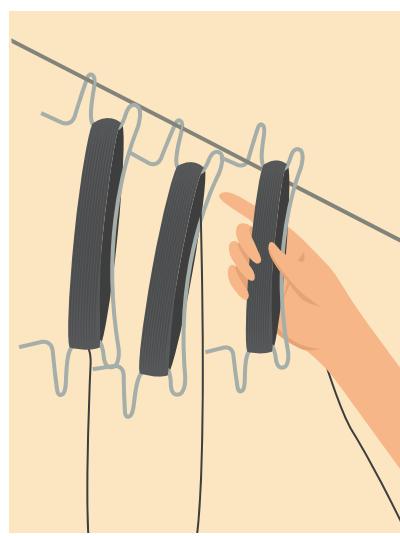


Figura 4.3. Instalación de tutores.

El material que más se utiliza es el hilo de rafia, pero también pueden usarse varas. A cada planta corresponde un tutor; que debe amarrarse a la base de la planta, enrollarse a lo largo de ésta, y en el otro extremo atarse a una estructura de sostén.



4.3 Control de plagas y enfermedades

Hay que evitar el uso de pesticidas químicos cuando se detecta una plaga, en lugar de estos se pueden usar bioinsecticidas, que actúan principalmente como repelentes. En algunos casos es suficiente el lavado de las hojas, retirarlas manualmente o quitar las hojas infestadas. Adicionalmente se pueden usar productos orgánicos que pueden servir para combatir plagas o enfermedades.



Figura 4.4. Aplicación de bioinsecticida.

Algunas plagas y enfermedades comunes:

Araña roja

Estas son pequeñas de diferentes colores que pueden ser rojo, amarillo o verdoso. Las larvas, ninfas y adultos se alimentan de la savia y causan daños en las plantas infestadas. Generalmente se instalan en el envés de la hoja donde succionan su contenido. Se desarrollan en lugares con baja humedad y alta temperatura, por lo que si se modifican las condiciones ambientales se logra reducir su número, esto se logra con riego de nebulización.

Se puede usar Contracar, que es un producto comercial orgánico y se aplican 2 ml y 1 ml de bioadherente por cada litro de agua cada semana.

Pulgones

Estos son insectos chupadores que atacan a las partes tiernas de la planta infestada, pueden tener diferentes colores: amarillo, negro y varias tonalidades de verde.

Para combatirlos se puede usar Contracar, que es un producto comercial orgánico y se aplican 2 ml y 1 ml de bioadherente por cada litro de agua cada semana.

Escama algodonosa

Estos insectos tienen aspecto polvoso de color blanco, se reproducen en los brotes nuevos de la planta y provocan clorosis y malformaciones en las hojas, donde las ramas infectadas generalmente se secan.

Para atacar a esta plaga se puede aplicar aceite mineral cada semana en dosis de 2 ml por litro de agua, el tratamiento dura de tres a cuatro semanas según la cantidad de escamas.



Figura 4.5. Araña roja



Figura 4.6. Pulgones.



Figura 4.7. Escama algodonosa.



Figura 4.8. Conchuela o cochinilla café.



Figura 4.9. Secadura o ahogamiento.



Figura 4.10. Manchas en foliolos.

Conchuela o cochinilla café

Estos insectos son chupadores y deshidratan el tejido de la planta al succionar la savia, tienen un caparazón duro de color café. Se agrupan en colonias y se adhieren a los tallos, ramas y a la nervadura de las hojas.

Se puede aplicar cada semana 2 ml por litro de agua de aceite mineral, durante tres o cuatro semanas, de acuerdo a la cantidad de escamas.

Secadura o ahogamiento

Esta enfermedad la provocan los hongos Phytiium, Rhizoctonia, Phytophtora, Fusarium, Botrytis, Sclerotium. Puede ser causada por un riego excesivo. Se puede identificar cuando se pudre la base del tallo.

Disminuyendo los riegos y usando un sustrato con buen drenaje se puede evitar esta enfermedad. Se usar Tricon, que es un producto orgánico en dosis de 2 ml con 1 ml de bioadherente, por litro de agua.

Manchas en foliolos y en frutos

Las manchas son causadas por hongos, entre ellos Alternaria dauci f. solani, Botrytis cinerea y Phytophtora infestans.

La enfermedad puede presentarse por exceso de riego, tanto en cantidad como en frecuencia, o por contagio con herramienta contaminada.

Se puede evitar la enfermedad controlando el riego, sobre todo cuando la humedad del ambiente es alta, o bien, podando el follaje cuando éste es muy abundante, para que el aire pueda circular entre las hojas y evaporar el agua acumulada. Se puede usar Tricon 2 ml con 1 ml de bioadherente por litro de agua, y el aceite mineral Acemin E, en dosis de 5 ml por litro de agua.

Existen algunos bioinsecticidas para el control de algunos insectos, como:

- Mosquita blanca,
- Insectos chupadores,
- Pulgón y otros insectos chupadores, así como
- Chapulines y otras plagas masticadoras.

Para las preparaciones necesitamos los siguientes materiales:

- Cubeta de 20 L
- Una botella con atomizador
- Un palo de madera para mezclar

Hay que mezclar en agua tibia los ingredientes en las proporciones indicadas a continuación. Dependiendo de lo que se vaya a ocupar se puede preparar más o menos mezcla respetando las proporciones. La mezcla se va a aplicar con el atomizador en las áreas afectadas de la planta, de tal forma que queden bien impregnadas.

Mosquita blanca:

Se mezclan en 100 litros de agua, 500 ml de aceite vegetal, 400 g jabón de barra. O bien 4 cucharadas de aceite vegetal, 2 cabezas de ajo, 400 g de jabón de barra y 20 litros de agua.



Figura 4.11. Materiales para preparación de bioinsecticidas.



Insectos chupadores:

Se mezclan en 100 litros de agua 500 ml de vinagre y 200 g de jabón de barra.

Pulgón y otros insectos chupadores:

Se usa Vinagre al 10 % en agua. Este remedio actúa como insecticida y repelente.

Chapulines y otras plagas masticadoras:

Se mezclan en 20 litros de agua, 70 ml de aceite vegetal, 1 cabeza de cebolla, 1 cabeza de ajo y 400 g de jabón de barra.

Nota: Los aceites no deben usarse en dosis mayores al 2% porque dañan las plantas.

4.5 Cosecha y manejo de productos

La cosecha es la recolección de la parte que se consume de la planta (fruto, hojas, raíz) y marca el fin del ciclo del cultivo. En el caso de las hortalizas de raíz, se extrae la planta completa cuando el tamaño de estos, es el deseado. Para las hortalizas de tallo y hojas, se cortan las hojas de la periferia y se deja la yema de crecimiento.



Figura 4.12. Cosecha de lechuga.

En las hortalizas de flores, frutos y semillas también se realizan varias cosechas, cuidando de revisar que los frutos estén maduros.

Para concluir, aprendimos sobre prácticas culturales, como son: la poda y colocación de tutores, así como el tipo de plagas y enfermedades que pueden atacar a tu cultivo y como controlarlas. También conocimos sobre la cosecha de los productos de tu cultivo.

Capítulo 5: Construcción de mi primer sistema hidropónico

5.1 Diseño conceptual de mi sistema hidropónico

El diseño conceptual se refiere a determinar que tipo de sistema hidropónico se construirá. En este caso se construirá un sistema NFT con tubo de PVC de 4". Cada contenedor tendrá una longitud de 1.9 m. Pueden ser uno o más contenedores con un espaciamiento de los orificios de 20 cm. En la figura se puede ver un ejemplo de un sistema hidropónico NFT con tubos de PVC de 4", este sistema está compuesto por 4 contenedores a distintas alturas, cada contenedor debe tener una pendiente para asegurar el flujo de agua entre los contenedores. El final de un contenedor va conectado mediante una manguera al inicio del contenedor que está abajo. Los contenedores pueden ir montados en una estructura metálica o una estructura hecha con tubos y accesorios de PVC de 2".



Figura 5.1. Sistema hidropónico NFT.

5.2 Materiales y herramientas requeridos

Los principales materiales y herramientas a usar durante la preparación del contenedor hidropónico son:

Materiales:

- Tubo de PVC de 4 pulgadas de diámetro
- Tapas para tubo de PVC de 4"
- Adaptador inserción cementar-extremo espiga de $\frac{1}{2}$ pulgada
- Conector hembra de PVC de $\frac{1}{2}$ "
- Manguera de polietileno calibre 16 de 5/8 de pulgadas
- Mini válvula inserción de 16 mm
- Cemento para PVC
- Pegamento o adhesivo de silicona
- Lija de plomero
- Motobomba sumergible eléctrica de 20 o 25 W

y cableado

- Cable de conexión
- Recipiente para solución nutritiva, y
- Canastillas de 2 pulgadas para hidroponía
- Hilo
- Plumón de aceite

Herramientas:

- Juego de brocas para PVC
- Corta circulo de $1\frac{3}{4}$ de pulgadas
- Taladro
- Cutter 6 pulgadas

Se hace la aclaración que, estos materiales solo corresponden a un solo contenedor y con las medidas que se describen.



A continuación se marcarán los principales pasos a seguir para construir la estructura.

5.3 Proceso de construcción de la estructura de un sistema hidropónico con tubos horizontales

El proceso de construcción de la estructura de un sistema hidropónico con tubo horizontal se basa en los siguientes pasos.

1. Tomar el tramo de un tubo de PVC de 4 pulgadas de diámetro, colocarlo en posición horizontal y con una cinta o flexómetro medir la longitud convenida; para el caso del ejemplo es de 1.90 m; y marcar con un plumón de aceite el corte.



Figura 5.2. Marcado de la longitud del tubo.

2. Realizar el corte con una segueta y arco, según la marca registrada en el paso 1.



Figura 5.3. Corte del tubo.

3. Realizar el marcado de la posición de los agujeros para las canastillas, usando un hilo guía tendido sobre la marca de especificación del tubo, e ir marcando las equidistancias, que en este caso es de 8 pulgadas o 20 cm.
4. Realizar los agujeros con el taladro considerando canastillas de 2 pulgadas, perforando primero con la broca delgada y al final con el corta círculo de $1\frac{3}{4}$ de pulgadas.



Figura 5.4. Perforación del tubo

5. Limpiar con una lija de PVC o de plomero la periferia del corte, eliminando las impurezas y bordes agudos.
6. Abrir agujero en las tapas de PVC de 4 pulgadas que irán en los extremos del tubo: para la tapa de la posición de entrada del contenedor debe ir el agujero por arriba del nivel máximo del agua en el recipiente, y para el extremo de salida, el agujero en la tapa debe hacerse en su centro o nivel mínimo permitido del agua para evitar el drenaje total.



Figura 5.5. Perforación de las tapas.



7. Colocar en cada una de las tapas el conector inserción-espiga de 16 mm y en la cara interna sujetarlo con un adaptador hembra y sellarlo con pegamento de silicona.



Figura 5.6. Colocación de espiga en la tapa.

8. Colocar y pegar el cople de PVC en los extremos del tubo. Y adaptar las tapas del paso anterior.



Figura 5.7. Colocación del cople de PVC.

9. Fijar el contenedor en una mesa o en un rack, cuidando tener una pendiente de 0.5 a 1 por ciento, usando sujetadores de aluminio tipo omegas y atornillarlos. Evitar que tenga movimiento.



Figura 5.8. Fijación del contenedor en el rack.

10. Cortar dos tramos de manguera de 16 mm de polietileno, según la distancia del contenedor y el recipiente de la solución nutritiva, e insertar la de alimentación en el conector espiga de la tapa de entrada y la otra a la bomba sumergible; y el otro tramo, insertarlo de la tapa de salida del contenedor al recipiente de alimentación.



Figura 5.9. Colocación de la bomba.



11. Realizar el enchufe del equipo de bombeo. Antes de enchufar la bomba a la corriente eléctrica, deberá cerciorarse que se tiene un nivel de agua o solución nutritiva, con tal de que el equipo no trabaje en seco y pueda quemarse.



Figura 5.10. Sistema hidropónico instalado.

A lo largo de este manual aprendimos sobre conceptos básicos de hidroponía, tipos de sistemas hidropónicos. Que tipo de vegetales se pueden producir, el tipo de contenedor y sustrato. Así como los cuidados que requiere un sistema hidropónico y finalmente cómo construir tu propio sistema.



Bibliografía

Zarate Aquino Margarita Araceli. Manual de Hidroponía. Universidad Nacional Autónoma de México, (2014), Ciudad de México.
www.freepik.es
<https://www.pexels.com>

Fuentes de figuras:

Hortalizas

[Foto de hortalizas](https://www.freepik.es/fotos/hortalizas)
creado por stockking - www.freepik.es

Betabel

[Foto de remolacha](https://www.freepik.es/fotos/remolacha)
creado por Racool_studio - www.freepik.es

Camote

[Foto de batata](https://www.freepik.es/fotos/batata)
creado por Racool_studio - www.freepik.es

Rábano

Foto de mali maeder:
<https://www.pexels.com/es-es/foto/cebolla-roja-244393>

Nabo

[Foto de nabo](https://www.freepik.es/fotos/nabo)
creado por azerbaijan_stockers - www.freepik.es

Zanahoria

[Foto de zanahoria](https://www.freepik.es/fotos/zanahoria)
creado por dashu83 - www.freepik.es

Yuca

[Foto de mandioca](https://www.freepik.es/fotos/mandioca)
creado por freepik - www.freepik.es

Esparragos

[Foto de comida natural](https://www.freepik.es/fotos/comida-natural)
creado por Racool_studio - www.freepik.es

Papas

[Foto de comida natural](https://www.freepik.es/fotos/comida-natural)
creado por jcomp - www.freepik.es

Lechuga orejona

[Foto de vegetales frescos](https://www.freepik.es/fotos/vegetales-frescos)
creado por dashu83 - www.freepik.es

Lechuga romanita

[Foto de ingredientes cocina](https://www.freepik.es/fotos/ingredientes-cocina) creado por Racool_studio - www.freepik.es



Col de Bruselas

Foto de Damir Mijailovic:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/comida-sano-vegetariano-mesa-5612342/>

Mostaza

Foto de Rakesh Prajapati:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/flores-floracion-flor-flora-7496540/>

Espinacas

Foto de espinaca

creado por Racool_studio - www.freepik.es

Brocoli

Foto de brocoli

creado por Racool_studio - www.freepik.es

Acelgas

https://www.freepik.es/foto-gratis/hojas-acelga_3552992.htm#query=acelgas&position=48&from_view=search

Alcachofa

Foto de alcachofa

creado por 8photo - www.freepik.es

Calabacitas

Foto de Angele J:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/3-superficie-de-madera-marron-zucchini-128420/>

Pepino

Foto de Asaljepretaja:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/comida-verde-pepinos-comestibles-10963356/>

Melón

Foto de Engin Akyurt:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/foto-de-primer-plano-de-melones-honey-dew-2920403/>

Sandía

Foto de Brian van den Heuvel:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/fruta-de-sandia-1313267/>

Tomate

Foto de Dmitry Demidov:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/foto-en-primer-plano-de-tomates-3938343/>

Berenjena

Foto de Deon Black:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/comida-sano-verdura-nutritivo-5751063/>

Chayote

Foto de Daniel Dan:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/sano-verde-fresco-verdura-7543109/>

Habas

Foto de Gilmer Diaz Estela:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/comida-granos-verdura-profundidad-de-campo-5179801/>

Maíz dulce

Foto de Ekaterina Lifirenko:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/comida-plato-amarillo-maiz-9894412/>

Semillas

Foto de Miguel Á. Padriñán:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/foto-en-primer-plano-de-cuatro-espataulas-de-madera-marron-con-seds-971078/>

Semillero

Foto de Greta Hoffman:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/jardin-campo-agricultura-granja-7728131/>

Primer plano de manos masculinas sosteniendo el suelo y la pequeña planta

https://www.freepik.es/foto-gratis/primer-plano-manos-masculinas-sosteniendo-suelo-pequena-planta_12060298.htm#query=manos%20sosteniendo%20planta&position=20&from_view=search

Espárragos frescos

https://www.freepik.es/foto-gratis/esparragos-frescos_9186576.htm#query=esparrago&position=4&from_view=keyword

Cebolla

Foto de Mockup Graphics

<https://unsplash.com/es/fotos/pleChDr5d4w>

ajo

Foto de Mockup Graphics

<https://unsplash.com/es/fotos/gKt9wZp2ujU>

Vainas de guisante

Foto de Monika Grabkowska

<https://unsplash.com/es/fotos/Jolw75HWMTl>

Podar

Foto de Gustavo Fring:

<https://www.pexels.com/es-es/foto/mujer-jardin-sujetando-flor-5622517/>

Gente caminando entre edificios de hormigón naranja

Foto de Jezael Melgoza

https://unsplash.com/es/fotos/9KnIH_dKmGE

Árboles verdes en la montaña bajo nubes blancas durante el día

Foto de Bianca Ackermann

<https://unsplash.com/es/fotos/vJpSAJrhT2M>

Manual para el cálculo de Fórmulas Generales de Fertilización. Matadamas Ortiz, J. 2021. Chapingo, México.

<http://prepa.chapingo.mx>. Consultado el 27 de junio del 2022.

Manual de Hidroponía. Oasis Easy Plant.

<https://www.oasisgrowersolutions.com>.

Consultado el 10 de junio del 2022.