



Manual de hidroponia

Desde hace 60 años Smithers Oasis, con la fabricación del primer medio de cultivo en espuma, ha procurado hacer la vida más fácil de los productores y aficionados en la hidroponia.

Con este mismo fin, el equipo de asesores agrícolas de Smithers Oasis de México, elaboró el presente manual esperando disipar las dudas que pudiera haber sobre el manejo de nuestros productos y sus ventajas al contar con diferentes presentaciones.

oasis®
E A S Y P L A N T®

Prólogo

El siglo XXI se ha caracterizado por el resurgimiento de técnicas de cultivo sustentables. Los cambios demográficos en las zonas tradicionalmente dedicadas al cultivo han orillado a los productores a replantearse la necesidad de obtener cultivos de calidad en superficies cada vez más limitadas. Además, el cambio climático y la escasez de agua han obligado a perfeccionar sistemas de producción intensiva, entre ellos la hidroponía.

En la actualidad existen grandes empresas que han optado por cambiar sus sistemas tradicionales de cultivo por sistemas hidropónicos, lo cual les ha permitido ver grandes beneficios tanto en la calidad de los vegetales como en los rendimientos económicos.

Por otra parte, a últimas fechas se ha visto un auge de personas interesadas en la hidroponía practicada en pequeños espacios urbanos. Esto nos habla de la adaptabilidad de la hidroponía para cualquier tipo de ambiente y superficie.

Este manual está dirigido a todos aquellos interesados en cultivos hidropónicos. Aquí encontrarán información accesible sobre el manejo de conceptos, técnicas y productos relacionados.

Contenido

Prólogo.....	1
Glosario	2
Introducción.....	4
Definición de hidroponía	
Cronología de sucesos importantes	
Ventajas y desventajas de la hidroponía	
Componentes de los sistemas hidropónicos	
Planta.....	7
Raíz y las condiciones óptimas para su desarrollo	
Sustrato.....	8
Clasificación	
Desventajas de algunos sustratos	
Propiedades físicas	
Propiedades químicas	
Sustrato ideal	
Sustratos hidropónicos marca OASIS®	
Contenedor.....	11
Características y formas	
Solución nutritiva.....	12
Soluciones nutritivas típicas	
Factores que afectan la solución nutritiva	
Cómo preparar una solución nutritiva	
Riego y drenaje.....	15
Condiciones ambientales.....	16
Luz	
Temperatura	
Humedad relativa	
Dióxido de carbono	
Control de las condiciones climáticas	
Invernadero	
Sistemas hidropónicos.....	19
Cultivo en sustratos	
Variantes o técnicas del cultivo en sustrato	
Cultivo en macetas de Bentley (<i>Bentley Containers System</i>)	
Cultivo en tubos verticales	
Cultivo en barras y bolsas de cultivo (<i>slabs</i>)	
Cultivo en solución	
Variantes o técnica de cultivo en solución	
Cultivo en balsa	
Cultivo en solución con aireación forzada por bomba	
Cultivo en solución con aireación en cascada	
Cultivo en sistemas hidropónicos de flujo profundo	
Técnica de la película nutritiva (<i>Nutrient Film Technique</i>) NFT	
<i>New Growing System</i> (NGS)	
Cultivo en el aire (Aeroponía)	
Bibliografía.....	28

Glosario

Agua fácilmente disponible: Es el volumen de agua que libera el sustrato al aumentar la tensión de 10 a 50 cm de columna de agua de potencial mátrico y se considera que en esas condiciones hídricas la planta tiene un crecimiento óptimo.

Berro: Hortaliza de hoja de la familia del repollo, coliflor y rábano. Crece muy bien en ambientes húmedos; es rico en hierro y yodo.

Capacidad buffer: Es la capacidad de amortiguamiento a cambios de pH.

Chinampa: es un método mesoamericano antiguo de agricultura que consiste en pequeñas áreas de cultivo de hortalizas y flores sobre la superficie de lagos, lagunas y pantanos. La construcción de estas islas se realizaba mediante una armazón de grandes troncos atados con cuerdas de ixtle que luego se iba completando con un entramado de ramas, cañas y troncos más delgados. Una especie de esqueleto tejido, que posteriormente era cubierto con capas de guijarros, grava y tierra para la siembra. Al estar sobre el agua, la humedad impregna las chinampas facilitando las labores de riego y logrando una enorme producción de calabazas, frijol, maíz, otros vegetales y flores.

Concentración de una solución: Es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente la sustancia que disuelve al soluto y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores. A menor proporción de soluto disuelto en el disolvente, menos concentrada está la disolución, y a mayor proporción más concentrada está.

Conductividad eléctrica: Depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo.

Disgregar: Separar, desunir un todo que era compacto.

Escorias de alto horno: Son materiales utilizados como adición activa para la elaboración de distintos cementos comerciales.

Estomas: Estructura botánica que permite el intercambio de gases de las plantas y el exterior. Se localizan en todas las partes verdes de las plantas de tallos y principalmente en el envés de las hojas.

Etapas fenológicas: Períodos delimitados por dos fases fenológicas o cambios morfológicos (aparición, transformación o desaparición de órganos) que experimentan los vegetales bajo la influencia del medio ambiente.

Evapotranspiración: Es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de las plantas.

Fotosíntesis: proceso mediante el cual las plantas transforman la energía de la luz del sol en energía química y consiste en la elaboración de azúcares a partir del CO_2 (dióxido de carbono), minerales y agua con la ayuda de la luz solar.

Germinación: Es la reiniciación del crecimiento del embrión una vez superado el período de latencia y cuando las condiciones de temperatura, luz, disponibilidad de oxígeno y agua son las adecuadas.

Hortalizas de flor: Son aquellas hortalizas en las cuales la parte comestible es la flor o la inflorescencia. Con carácter general el estado idóneo de recolectar es cuando todavía la flor no ha abierto, es decir lo que nos comeremos son las yemas florales o el conjunto de florales de la inflorescencia.

Hortalizas de fruto: Son hortalizas de las cuales se aprovechan y cultivan por sus frutos los cuales consumimos de muy diversas maneras. Estas hortalizas pertenecen a dos grandes familias muy conocidas dentro del mundo de la horticultura

Hortalizas de hoja: Son aquellas hortalizas que se cultivan para aprovechar sus hojas las cuales son comestibles ya sea en fresco, cocidas o maceradas.

Nutrición: Se entiende por nutrición al conjunto de fenómenos o procesos de alimentación que contribuyen al crecimiento y desarrollo de un ser viviente. La palabra nutrir deriva del latín *nutrire* que significa alimentar, fortalecer o acrecentar.

Nutriente o Nutrimento: Alimento para la conservación, crecimiento o desarrollo de un ser vivo.

pH: Medida que indica la concentración de iones hidrógeno en agua, soluciones nutritivas, suelo, sustratos, etc. La escala pH se emplea para medir la acidez o la alcalinidad y abarca del 0 al 14. Se consideran pH ácidos aquellos con un nivel inferior a 7, alcalinos aquellos con un pH superior a 7 y la neutralidad al pH con valor de 7.

Potencial mátrico: Cuando el agua entra en contacto con partículas sólidas (como por ejemplo arcillas o arenas del suelo), las fuerzas intermoleculares de adhesión entre el agua y el sólido pueden ser grandes e importantes. Estas fuerzas en combinación con la atracción entre moléculas de agua pueden generar una tensión superficial y la formación de micelas dentro la matriz del sólido. Se requiere una fuerza para romper estas micelas. La magnitud del potencial mátrico depende de las distancias entre las partículas sólidas, el ancho de las micelas y la composición de la matriz sólida.

Trasplantar: Es cambiar de lugar alguna planta. Principalmente de plántulas a otro espacio temporal para que siga desarrollándose o su lugar definitivo de crecimiento.

Transpiración vegetal: Consiste en la pérdida de agua en forma de vapor que se produce en las plantas para eliminar el agua que no es utilizada por las plantas y permitir el enfriamiento de la planta.

Introducción

Definición de hidroponía

Hidroponía es la técnica de producción o cultivo sin suelo, en la cual se abastece de agua y nutrientes a través de una solución nutritiva completa y brindándole las condiciones necesarias para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta.

Cronología de sucesos importantes

Los primeros antecedentes que se tienen sobre el uso de prácticas con hidroponía datan desde la época prehispánica, ya que se tiene conocimiento que los aztecas, con el uso de la chinampa, fueron la primera civilización humana en usar agricultura hidropónica eficientemente. Las chinampas ocupaban el 100 % de lo que era el lago de Texcoco, que se convirtió después en la ciudad de México. Las chinampas utilizaban tierra (y utilizan, porque aún subsisten) de donde se obtienen gran parte de los nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas, esto es algo que no se considera el concepto actual de esta técnica de producción; sin embargo, el manejo y trabajo con el agua cumple con el principio fundamental en el que se basa la hidroponía.

Las soluciones minerales para el aporte de nutrimentos requeridos en los cultivos hidropónicos no fueron desarrolladas sino hasta el siglo XIX. En 1699, John Woodward cultivó plantas en agua y encontró que el crecimiento de ellas era el resultado de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo, esto al observar que las plantas crecían peor en agua destilada que en fuentes de agua no tan purificadas. En 1804, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire.

Los primeros en perfeccionar las soluciones con nutrientes minerales para el cultivo sin suelo fueron los botánicos alemanes Julius von Sachs y Wilhelm Knop en la década de 1860. El crecimiento de plantas terrestres sin suelo en soluciones minerales (*solution culture*) se convirtió rápidamente en una técnica estándar de la investigación y de la enseñanza y sigue siendo ampliamente utilizada hasta hoy.

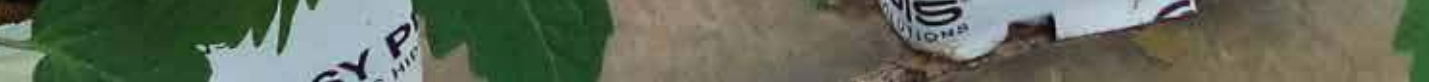
En 1928, el profesor William Frederick Gericke de la Universidad de Berkeley, California fue el primero en sugerir que los cultivos en solución se utilizan para la producción vegetal agrícola. Por analogía con el término geopónica (que significa agricultura en el griego antiguo) llamó a esta nueva ciencia hidroponía en 1937, aunque él afirma que el término fue sugerido por el Dr. W.A. Setchell, de la Universidad de California de *hydros* (regar) y *ponos* (trabajo). En 1940, el Dr. Setchell escribió el libro, *Complete Guide to Soilless Gardening* (Guía Completa del Cultivo sin Suelo).

Se pidió a otros dos especialistas en la nutrición de las plantas de la universidad de California que investigarían acerca de las afirmaciones de Gericke. Dennis R. Hoagland y Daniel I. Arnon desarrollaron varias fórmulas para soluciones de nutrientes minerales. Unas versiones modificadas de las soluciones de Hoagland se siguen utilizando hoy en día.

Uno de los primeros éxitos de la hidroponía ocurrió durante la segunda guerra mundial cuando las tropas estadounidenses que estaban en el Pacífico, pusieron en práctica métodos hidropónicos a gran escala para proveer de verduras frescas a las tropas en guerra con Japón en islas donde no había suelo disponible y era extremadamente caro transportarlas.

En 1960, Alen Cooper desarrollo la *Nutrient Film Technique* en Inglaterra. En 1982, el Pabellón de la Tierra, en el Centro Epcot de Disney, puso de relieve diversas técnicas de hidroponía.

En décadas recientes, la NASA ha realizado investigaciones extensivas para su CELSS (acrónimo en inglés para Sistema de Soporte de Vida Ecológica Controlada).



En la actualidad, en países como Holanda, los Estados Unidos de Norteamérica, México y otros más, se han desarrollado diferentes sistemas con numerosas tecnologías basadas en nuevos medios de cultivo tales como la perlita, la cascarilla de arroz, la fibra de coco, la lana de roca y recientemente la espuma fenólica.

Ventajas y desventajas de la hidroponía

Ventajas técnicas de la hidroponía:

- Balance ideal de agua, oxígeno y nutrientes.
- Control eficiente y fácil del pH y la salinidad.
- Ausencia de malezas.
- Ausencia de plagas y enfermedades en la raíz, al menos inicialmente.
- Eficiencia y facilidad de esterilización.

Ventajas económicas de la hidroponía:

- Mayor calidad en los productos cosechados.
- Mayor uniformidad en la cosecha.
- Ahorro en agua y fertilizantes por kilogramos producido.
- Se puede usar agua dura o de cierta salinidad.
- Mayor limpieza e higiene en los productos obtenidos.
- Posibilidad de varias cosechas al año.
- Altos rendimientos por unidad de superficie.
- En poca superficie se puede lograr un alto rendimiento.
- Sin la limitante del suelo, puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes urbanos.

Desventajas de la hidroponía:

- Inversión inicial elevada.
- Desconocimiento de la técnica.
- Delicada (mucho cuidado con los detalles).
- Falta de equipo e insumos nacionales.



El cultivo de lechuga en hidroponía, es cada vez más común, ya que se obtiene un mayor rendimiento y mejor calidad.

Componentes de los sistemas hidropónicos

Al querer iniciar un proyecto en hidroponía pueden surgir diferentes dudas y preguntas:

¿Qué plantas me convendría cultivar?

¿Qué recipientes o contenedores usar?

¿En qué sustrato sembrar?

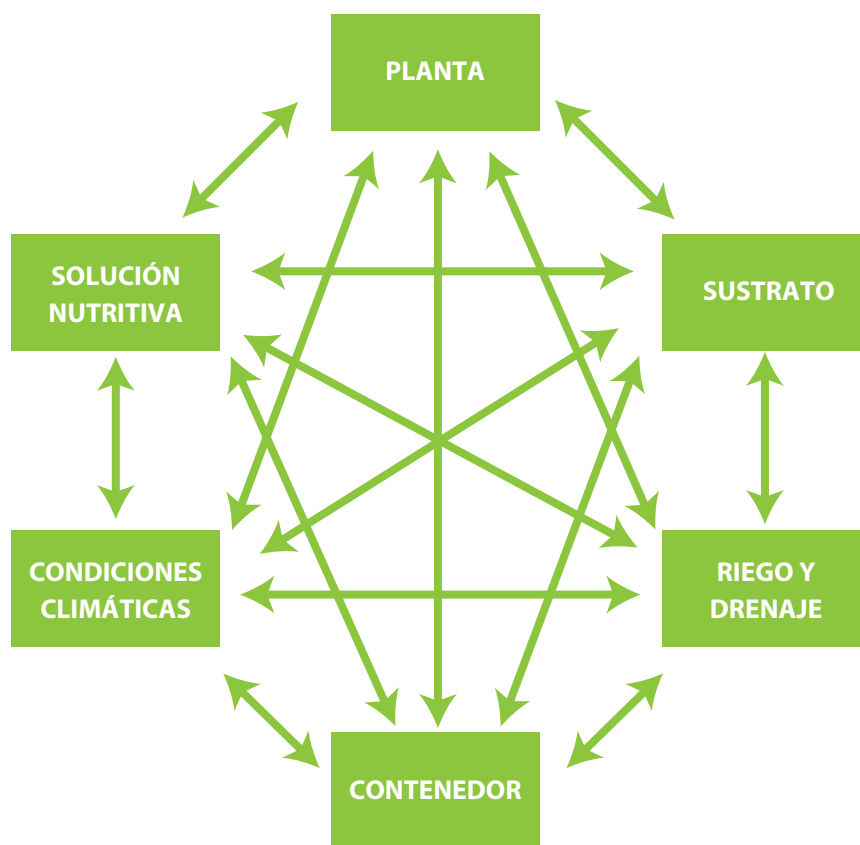
¿En dónde cultivar?

¿Cómo y con qué regar?

¿Cuánto debo invertir?

¿Es necesario tener un invernadero o no?

Las respuestas a estas y otras preguntas estarán sujetas a las decisiones que se tomen para definir cada uno de los componentes de los sistemas hidropónicos.



Componentes de los sistemas hidropónicos

Como podrás ver en el diagrama todos los componentes están estrechamente relacionados unos con otros.

De estos componentes podemos agrupar a aquellos que están enfocados con la parte radicular de la planta, estos son: sustrato, contenedor, solución nutritiva, riego y drenaje, de los cuales al definirlos podremos establecer el tipo de sistema hidropónico a utilizar. Por otro lado, el componente nombrado como condiciones climáticas engloba a la temperatura, la humedad atmosférica y la luz, que son factores indispensables para la vida de las plantas independientemente de si se esté usando a la hidroponía o no.

PLANTA

La planta es el componente más importante de los sistemas hidropónicos, ya que de la correcta funcionalidad de los demás componentes dependerá la calidad de planta que se tenga, y por tanto, los rendimientos.

Las plantas que comúnmente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor comercial, las cuales se aprovechan por sus usos alimenticios u ornamentales, dentro de ellas podemos mencionar:

- **Hortalizas:**

Hortalizas de hoja: Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, arúgula, berros.

Hortalizas de flor: Brócoli, coliflor, alcachofa, etc.

Hortalizas de fruto: Tomate, pimiento morrón, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa, etc.

- **Espicias aromáticas:** Albahaca, menta, cilantro, perejil.

- **Ornamentales:** Rosas, anturios, nochebuenas, orquídeas, crisantemos, lilis, gerberas, etc.



Planta de calabacín en bolsas de cultivo con una mezcla de sustratos (Tezontle y sustratos hidropónicos a granel).



Esquejes de nochebuena enraizados en sustratos hidropónicos.



Raíz de lechuga germinada en sustratos de espuma fenólica y cultivada en sistema NFT.

Raíz y las condiciones óptimas para su desarrollo

Además del uso o parte aprovechable de las plantas, para cultivar en hidroponía se debe poner atención en la raíz y por ello enlistamos las condiciones óptimas para su mejor desarrollo:

- Agua, la necesaria todo el tiempo.
- Nutrimientos minerales esenciales (en cantidades suficientes y balanceadas).
- Oxígeno suficiente para la respiración celular.
- Temperatura adecuada para el funcionamiento óptimo de la raíz.
- Sin plagas, inóculos de enfermedades o malezas.
- Sin sales nocivas, elementos tóxicos o desbalances de pH y CE.
- Oscuridad.
- Espacio para crecer lo necesario para funcionar bien.

SUSTRATO

Sustrato son materiales distintos al suelo que permite la germinación y el anclaje de las raíces de las plantas.

En la hidroponia, como primer paso, las plantas deben ser germinadas en un sustrato independientemente del sistema hidropónico que se elija para su crecimiento y cultivo. Siempre será preferible usar sustratos para germinar las plantas desde un inicio para que cuando se realice el trasplante, no contamine la solución nutritiva.



El cultivo de lechuga en hidroponia, es cada vez más común, ya que se obtiene un mayor rendimiento y mejor calidad.

Clasificación

Los sustratos se clasifican por su origen en:

Sustratos orgánicos

- Naturales: Sujetos a descomposición biológica, peat-moss y turbas.
- Subproductos y residuos de actividades agrícolas, industriales y urbanas: fibra de coco, aserrín, cortezas, virutas de madera, cascarilla de arroz, entre otros.
- De Síntesis: Polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante una síntesis química: espuma de poliuretano, poliestireno expandido, espuma fenólica.

Sustratos inorgánicos

- Naturales: Que se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso y no requieren un proceso de transformación, como la arena de río, arena de minas, arena de mar, gravas, tepojal, tezontle y piedra.
- Procesados: Son aquellos que han sufrido algún proceso para su obtención como la perlita, vermiculita, lana de roca y arcilla expandida.
- Residuos y subproductos industriales: Escorias de alto horno, estériles de carbón.

Desventajas de algunos sustratos

El problema de la disponibilidad de sustratos es importante, pues algunos de los materiales importados son caros y no satisfacen completamente a los usuarios. Resulta difícil para muchos productores afrontar el elevado costo de algunos sustratos, como la lana de roca, que además no son fáciles de conseguir, por otra parte, hay trabajadores que presentan alergias y cortaduras al manipularlos. El uso de sustratos orgánicos naturales como el peat-moss para germinar plántula está sujeto a la degradación biológica, lo que resulta ser una limitante en sistemas de cultivo en solución, ya que las partículas se disgregan a lo largo del ciclo de cultivo e interfieren en el funcionamiento normal del sistema, necesitando una limpieza continua e incrementando los costos de producción.

La fibra de coco contiene elevados niveles de salinidad, por lo que deben darse tratamientos previos al cultivo. Se deben lavar las sales para su uso posterior. Muchas veces los productores nuevos no lo realizan y tienen problemas en el manejo. Como resultado pierden la motivación de usar la hidroponía. Otros sustratos inorgánicos naturales como el tezontle, son relativamente baratos, pero es difícil conseguir una homogeneidad en el tamaño de sus partículas. Además su traslado requiere de transporte de carga por lo elevado de su peso y es mucho más laborioso su manejo en el llenado de las macetas.

La correcta elección de un sustrato dependerá entonces de la disponibilidad del sustrato, las condiciones climáticas, el costo, las posibilidades de instalación y principalmente de la homogeneidad de propiedades físicas y químicas.

Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos son las más importantes porque deben reproducir las condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas. Es importante conocerlas ya que una vez que la planta esté creciendo en él, es muy difícil modificar las características básicas de dicho medio:

- **Porosidad total:** Es el volumen total del sustrato no ocupado por la fracción sólida, el nivel óptimo se sitúa por encima de un 85%.
- **Capacidad de aireación:** Es la proporción de volumen del sustrato que contiene aire después de que ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión.
- **Agua fácilmente disponible:** Es el volumen de agua que libera el sustrato al aumentar la tensión de 10 a 50 cm de columna de agua de potencial mátrico y se considera que en estas condiciones hídricas la planta tiene un crecimiento óptimo.
- **Distribución del tamaño de las partículas:** Los sustratos pueden estar constituidos por partículas de un solo tamaño o por una mezcla de tamaños distintos. Pueden ser granulares o fibrosas.
- **Densidad aparente:** Se define como la materia seca en gramos contenida en un cm^3 de sustrato. Los sustratos con valores bajos de densidad aparente son fáciles de manipular.

Propiedades químicas

En un sustrato se busca la inactividad química. Se desea que sean estables químicamente, que presenten una baja o nula salinidad y un pH neutro o ligeramente ácido.

- **Capacidad de intercambio catiónico:** Se define como la suma de cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso, es decir: la capacidad de retener cationes nutrientes o intercambiarlos con la solución acuosa.
- **Salinidad:** Se refiere a la concentración total de sales solubles presentes en la disolución del sustrato. En los sustratos inertes es nula o casi nula. Valores superiores a los 3 mS (milisiemens) excesivamente altos.
- **pH:** Su valor afecta la disponibilidad de los iones para la planta. Si tenemos un pH menor a 5 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg y con valores superiores a 6.5 de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu.

Sustrato ideal

Las características deseables para los sustratos son:

- Que retengan un porcentaje de humedad, pero que también aporten oxígeno a la raíz.
- Que no se disgreguen, degraden o descompongan o que si lo hacen que sea lentamente.
- Preferentemente de colores oscuros.
- Que no contengan microorganismos perjudiciales para la salud de los seres humanos o las plantas.
- Que no estén contaminados por desechos industriales o humanos.
- Que sean abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar en las áreas donde se establecerá el cultivo.
- Que se pueda manejar con facilidad y sin peligro o daño para quienes lo manipulan.
- De costo rentable.

Con las características enlistadas anteriormente podríamos definir al sustrato ideal como un material inerte y estéril, el cual debe proporcionar a la planta un balance adecuado de agua y oxígeno ideal para su mejor crecimiento.

Un buen sustrato debería tener un comportamiento similar a una esponja: porosidad alta, buena capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, adecuada distribución del tamaño de las partículas, baja densidad aparente y estabilidad.

Existe en el mercado una nueva generación de sustratos que recrean la gran mayoría de las características deseadas, son los sustratos de espuma fenólica.



Después de haber germinado las placas de espuma agrícola se pueden dividir fácilmente en horticubos, los cuales serán trasplantados a sistemas hidropónicos Balsa flotante y NFT con la ventaja de que no se disgregan.

Sustratos hidropónicos marca OASIS®

La empresa mundialmente reconocida Smithers Oasis, con 60 años de experiencia en espumas fenólicas para la industria floral, tiene también 30 años de experiencia en la línea agrícola con espumas especializadas para ser usadas como sustratos para la germinación y cultivo hidropónico.

Los sustratos hidropónicos OASIS® EASY PLANT® son sustratos de espumas absorbentes rígidas de baja densidad, con celdas abiertas y específicamente diseñadas para facilitar un rápido desarrollo de la raíz.

En Smithers Oasis de México, cuentan actualmente con cuatro diferentes tipos de espumas que se diferencian por su balance agua - oxígeno. Con ellas se pueden cubrir las necesidades y requerimientos dependiendo del cultivo, la variedad y el sistema de producción se utilice.

Otras características y beneficios son:

- Estériles, llegan al usuario libre de gérmenes patógenos, lo que minimiza problemas de enfermedades e insectos.
- Vienen listos para usarse, no requieren de tratamiento desinfectante previo al uso.
- Están diseñados para un rendimiento óptimo, al asegurar un adecuado escurrimiento y retención de agua.
- Las raíces permanecen sin mayores daños durante el trasplante, lo que evita daños a la planta.
- Poseen una baja capacidad de intercambio de cationes, lo que permite una disponibilidad rápida de nutrientes.
- Su estructura celular no se altera con el riego continuo.
- No contiene fibras abrasivas que irritan la piel o las plantas.



Conectores de espuma fenólica OASIS® EASYPLANT® con plantas de tomate injertadas, listas para trasplantarlas a barras de cultivo.

CONTENEDOR

Es el componente de los sistemas hidropónicos que como su nombre lo indica, contiene al sustrato y/o solución nutritiva, y por lo tanto, alberga a la raíces.

Características y formas

Básicamente deben cumplir con dos características derivadas de las condiciones óptimas para el desarrollo de las raíces de las plantas: impedir la luz y ser del tamaño necesario, pero también deberán estar fabricados de materiales inertes que no liberen sustancias tóxicas o que reaccionen con la solución nutritiva, prefiriéndose así los de plástico, PVC.

Las formas dependen principalmente del sistema hidropónico elegido, destacándose las bolsas y sacos de plástico, macetas, tubos (ya sea colocados de en posición horizontal o vertical), canaletas, tinas o camas de cultivo construidas a medida.

SOLUCIÓN NUTRITIVA

La nutrición de las plantas en hidroponía, se brinda a través de una solución nutritiva balanceada y equilibrada que se formula a partir de un análisis de agua, la especie vegetal a cultivar, su etapa fenológica y las condiciones ambientales que se tengan. La solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, que puede variar su proporción dependiendo de la especie y la etapa fenológica de la planta.

De acuerdo con Arnon y Stout (1939), citados por Sánchez y Escalante (1989), para que un nutrimento se considere como esencial para las plantas debe cumplir con tres requisitos:

- Las plantas deben ser incapaces de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral.
- Las funciones del elemento no podrán ser sustituidas por otro elemento.
- El elemento debe estar directamente involucrado en el metabolismo de las plantas.

Los minerales de los que se ha demostrado la esencialidad son los siguientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). Se ha demostrado también que varios otros minerales como el sodio (Na), silicio (Si), aluminio (Al), cobalto (Co) níquel (Ni) y selenio (Se), sin ser esenciales, pueden estimular el crecimiento de varias especies vegetales.

La clasificación de estos nutrimentos por su concentración en el tejido vegetal es la siguiente,

Macronutrimentos: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S

Micronutrimentos: B, Cl, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Si, Co, Ni.

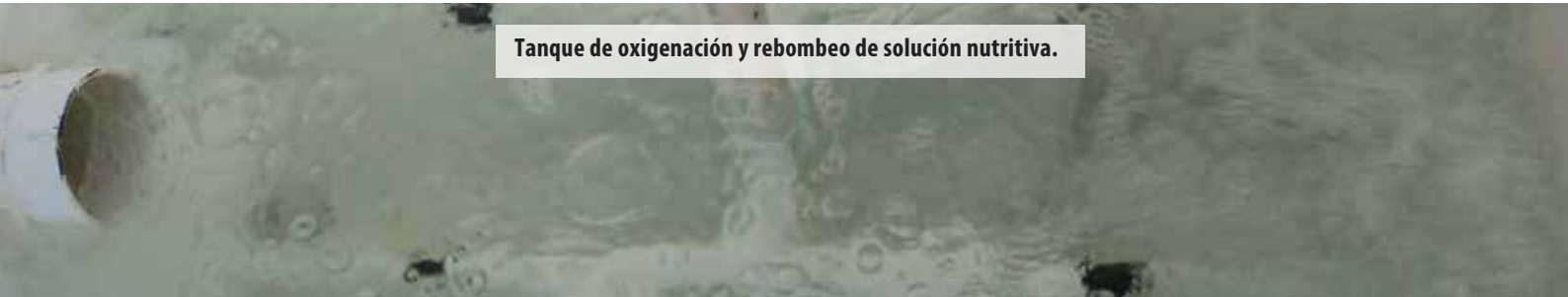
La solución nutritiva se debe encontrar en un pH entre 5.5 y 6 para que la mayoría de los nutrimentos estén disponibles.

Soluciones nutritivas típicas

Los trabajos de investigación de varios científicos a lo largo del tiempo han dado como resultado propuestas de soluciones nutritivas típicas. Es difícil decir que pueda haber una solución nutritiva mejor que otra, en general son bastante similares en su concentración, diferenciándose mayormente por los tipos de cultivos producidos. Por otro lado, la mayoría de las soluciones que actualmente existen están basadas en el primer trabajo de Hoagland y Arnon (1950).

Existen varias formas de expresar concentración en soluciones nutritivas:

- 1) Gramos por soluto disueltos en cada 1000 litros de agua (g/1000L)
- 2) Miligramos de soluto disueltos en un litro de agua (mg/L)
- 3) Partes por millón, se refiere a gramos de soluto disueltos en un millón de gramos de disolvente (agua).
 $\text{ppm} = \frac{\text{g}}{1\,000\,000 \text{ g de agua}} = \frac{\text{g}}{1000 \text{ L}} = \text{mg/L}$
- 4) Equivalente químico es igual a las partes por millón multiplicado por el peso atómico y dividido entre el número de valencias del ion. $\text{eq} = (\text{ppm} \cdot \text{pa}) / \# \text{ de valencias del ion.}$



Tanque de oxigenación y rebombeo de solución nutritiva.

En el siguiente cuadro mostramos algunas de ellas, las cuales su concentración está expresada en ppm.

ION O RADICAL	I	II	III	IV	V	VI
NO ₃ ⁻	196	168	70	210	46	168
H ₂ PO ₄ ⁻	31	40	40	84	0.12	31
SO ₄ ⁼	64	48	112	64	8.6	112
K ⁺	234	156	156	331	10	273
Ca ⁺⁺	160	160	160	168	133	180
Mg ⁺⁺	48	36	36	48	22	48
Na ⁺	-	30	30	-	23	-
NH ₄ ⁺	14	-	70	-	1.7	-

I - Hoagland y Arnon (1938).

II - Long y Heweit (1966).

III - Heweit (1966).

IV - Cooper (1975).

V - Solución desplazada de un suelo basáltico fértil. Benians et al. (1977).

VI - Solución nutritiva Steiner (1980).

Factores que afectan la solución nutritiva.

Para asegurar resultados satisfactorios con la solución nutritiva se deben controlar los siguientes factores:

• **Calidad del agua:** Todas las fuentes de agua naturales contienen algunas impurezas, algunas son benéficas para el crecimiento de las plantas y otras son perjudiciales; si se pretende iniciar un proyecto de hidroponía de tamaño comercial, se debe hacer un análisis químico del agua que se vaya a usar como fuente para evitar posibles problemas nutricionales. El análisis debe contemplar cuando menos:

- Sólidos totales (idealmente no debe sobrepasar los 250 ppm, si el valor es de 3000 ppm no deberá usarse).
- Cloruros (si los sólidos totales exceden los 500 ppm).
- Dureza (para ajustar los niveles de calcio y magnesio en la solución nutritiva).
- Metales pesados (deben estar libres de sulfuros y cloros ya que en ciertas cantidades son tóxicos para las plantas).

• **Temperatura de la solución:** La temperatura radicular es muy importante para la mayoría de cultivos, ya que si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento y en algunos casos, se puede manifestar deficiencias nutrimentales. De manera general, la temperatura de las raíces no debe bajar de 13°C ni estar sobre los 30°C, puede variar dependiendo del cultivo el rango, por ejemplo, la lechuga crece mejor a temperaturas radiculares más bajas de ese rango, mientras que el pepino crece mejor a temperaturas radiculares más altas.

• **Oxigenación:** En la zona radicular se debe tener muy buena oxigenación, ya que los pelos radiculares requieren O₂ para realizar sus procesos fisiológicos. En los cultivos en solución, se menciona por algunos autores como Ellis y Swaney que el nivel adecuado en la solución nutritiva debe ser entre las 5 a 8 ppm a una temperatura de 15.5 °C de la solución.

• **pH:** El rango que debe manejarse es de 5.5 a 6, aunque algunos autores lo manejan hasta 6.5. Si el pH se encuentra por debajo o por arriba de este rango algunos elementos reaccionan y forman compuestos insolubles que posteriormente son precipitados y depositados en el fondo. Por lo que, en la preparación de las soluciones nutritivas inicialmente debe acondicionar el pH en el rango adecuado para favorecer la mejor disolución de los fertilizantes usados como fuentes. De igual manera se sugiere determinar el pH cada 4 u 8 días y corregirlo en consecuencia.

• **Conductividad eléctrica (CE):** Es una medida indirecta de cuantificar la concentración de aniones (nitratos, fosfatos sulfatos, etc.) o cationes (potasio, calcio, magnesio, etc.), en otras palabras, es una medida aproximada para saber si se está aplicando la cantidad suficiente de nutrimentos en la solución nutritiva y si nuestro cultivo los está asimilando. Para esto, se debe medir la CE en los difusores de la solución nutritiva (entrada) y en el drenaje (salida). Una CE adecuada será por regla, cuando la diferencia entre ambas sea de una unidad, es decir, que la CE de la salida sea mayor que la de entrada. La CE ideal para cada cultivo puede variar significativamente dependiendo de la especie cultivada y etapa fenológica del mismo, por ejemplo, para tomate en plántula la CE ideal debe estar entre 1 a 1.5 dS/m (decisiemens por metro), mientras que para la etapa vegetativo-reproductivo debe ser entre 1.5 a 3.5 dS/m, el caso de tomates de especialidad que requieren de cierta cantidad de grados Brix (dulzor) la CE debe de ser más elevada.

• **Control del volumen de la solución:** El fenómeno de evapotranspiración ocasiona que las plantas tomen proporcionalmente mucho más agua que elementos nutritivos de la solución nutritiva, haciendo que con el paso del tiempo se vaya haciendo más concentrada, lo que hace que progresivamente se incremente el pH y la presión osmótica de la solución dificultando con esto la absorción de agua por las raíces. Generalmente las soluciones nutritivas se elaboran con un rango de 0.5 a 2 atmósferas. Si la concentración de sales es muy alta, el crecimiento de las plantas se detiene e incluso pueden morir por desecación al salir agua de la raíz.

Para mantener la presión osmótica adecuada y los niveles correctos de nutrimentos en la solución basta restituírle periódicamente el agua perdida por la evapotranspiración, esto puede hacerse semanalmente y renovarse periódicamente. La solución que se desecha puede usarse para regar y fertilizar plantas del jardín. El uso de solución nutritiva por tiempo indefinido solo se realiza en unidades de producción comercial con un control de la concentración y el monitoreo adecuado de acumulación de ciertos iones para no tener problemas de toxicidad.

Cómo preparar una solución nutritiva

Para ejemplificar este punto, en el siguiente cuadro mostramos las cantidades en gramos y mililitros para preparar una solución nutritiva para hortalizas de hoja.

Solución nutritiva para hortalizas de hoja

Fuente	g y ml por cada 1000 L de solución a preparar
1. Ácido fosfórico (85%)	87.5 ml *
2. Nitrato de Calcio (15.5% N, 19% Ca)	574 g
3. Nitrato de Potasio (12% N, 46% K)	375 g
4. Sulfato de Magnesio (10% Mg)	410 g
5. Sulfato de Potasio (44.5% K)	125 g
6. Multi micro comb (Haifa) (Fe 7.5%, Mn 3.5%, Zn 0.7%, B 0.65%, Cu 0.28%, Mo 0.26%)	18.5 g

*La cantidad de ácido fosfórico puede variar dependiendo de la calidad de agua que se maneje, lo recomendable será acondicionar el pH del agua entre 5.5 a 6.



Primero debemos acidificar el agua, hasta que se encuentre en el rango ideal (5.5 – 6) utilizando el ácido fosfórico, posteriormente se deben realizar las disoluciones de los fertilizantes uno por uno en el orden indicado en la tabla anterior para evitar que haya alguna interacción entre ellos, se forme un elemento sólido insoluble en la solución y se precipite

Como se puede observar se disuelven primero los nitratos ya que son de los más solubles, después disolvemos los sulfatos que estos son menos solubles y al final se disuelven los microelementos. Dentro de los inconvenientes que tienen los proyectos pequeños o huertos en casa se tienen los siguientes:

- 1) Que existan diferentes concentraciones por los fertilizantes a usarse como fuentes.
- 2) Problemas con la pureza y solubilidad.
- 3) Que el costo inicial pueda ser alto por tener que comprar presentaciones grandes por no encontrarse presentaciones pequeñas o con venta a granel en el mercado.

Por lo anterior, proyectos pequeños compren formulaciones de mezclas de nutrientes listas para su uso. Sólo se necesita añadir agua para preparar la solución nutritiva y usarla como fórmula estándar con la posibilidad de ajustarla ligeramente dependiendo de la especie vegetal que se cultive.

RIEGO Y DRENAJE

El objetivo central del riego como componente de los sistemas hidropónicos es poner la solución nutritiva a disponibilidad de las raíces de las plantas y satisfacer las necesidades hídricas y de nutrimentos de los cultivos, en el momento adecuado y con la cantidad necesaria.

En la mayoría de los sistemas hidropónicos la solución nutritiva está contenida en tanques de cultivo o en tanques de abastecimiento y es conducida a través de tuberías y mangueras para liberarla lo más cerca de las raíces de cada planta a través de emisores o piquetas. Los criterios para regar van desde los más sencillos como dependiendo de cómo se ve la planta, en base a la radiación acumulada, por básculas, por análisis de curvas de drenaje o por referencias.



Riego en conector y barra de cultivo a través de piquetas.



Piqueta.

Independientemente del criterio que se tenga para regar, en los sistemas hidropónicos con sustrato es primordial hacer mediciones de volumen, pH y conductividad eléctrica del agua de riego y drenaje, ya que finalmente son los mejores indicadores de que tan bien o mal se está regando y así poder hacer ajustes en los riegos.

Para evitar oscilaciones importantes de la conductividad eléctrica y un posible estrés hídrico de la planta, se dice que un sustrato con buena capilaridad se debe regar cuando se haya evapotranspirado máximo el 10% del agua que retiene el contenedor, mientras que si la capilaridad es mala se debe regar cuando se haya evapotranspirado el 5% del agua que retiene el contenedor.

En los sistemas hidropónicos en donde la solución nutritiva no se recircula, para evitar acumulación de sales en el sustrato con cada riego se debe propiciar un drenaje o sobreriego de un 10 a 30% de lo aplicado con cada riego. La proporción drenada dependerá de las condiciones climáticas, en climas nublados frescos 10% y hasta 30% en climas soleados cálidos o donde se usen aguas que tengan altos niveles de salinidad.

Dependiendo de si las cantidades del drenaje del exceso de la solución nutritiva aplicada en el riego, son recuperadas y reusadas, los sistemas pueden clasificarse en sistemas abiertos o sistemas cerrados. Los sistemas abiertos no recirculan la solución nutritiva, los sistemas cerrados sí.

CONDICIONES CLIMÁTICAS

Las características climáticas de una zona deben analizarse con relación a las necesidades de las plantas que se desean cultivar.

Luz

La energía solar es el factor ambiental más influyente sobre el crecimiento de las plantas, pues de ella depende la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis, que es el proceso de conversión de la materia inorgánica en orgánica, constituyendo la base de todas las cadenas alimenticias de la tierra.

La luz también interviene en los procesos de movimiento y formación de las plantas en los tropismos, la orientación, el alargamiento del tallo, la formación de pigmentos y la clorofila. Al transformarse de energía luminosa en energía calorífica, la luz, interviene en todos los procesos bioquímicos de los vegetales. Así la luz actúa sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas verdes, como fuente energética para la asimilación fotosintética de CO_2 , así como fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo de todos los tejidos vegetales.

Cada especie requiere de una cantidad específica de radiación luminosa para desarrollar la fotosíntesis y expresar su potencial productivo. Si falta luz, las plantas tienden a alargarse y crecen con tallos y ramas débiles. Por el contrario, si una planta tiene más iluminación de la requerida, crecerá lentamente, presentará tallos duros, hojas arrosetadas y sus flores serán de colores pálidos.

Temperatura

La temperatura afecta directamente las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, etc. Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura está por debajo de 0°C , o por encima de 50°C . El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre $10^\circ - 25^\circ\text{C}$. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse acercarse a este valor letal.

Humedad relativa

Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que tendría si estuviera completamente saturada. Se expresa en porcentaje. La humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, ya que si la humedad es demasiado alta, por ejemplo, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, y si es demasiado baja se cierran los estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también tiene influencia sobre la presencia de enfermedades principalmente fungosas.

Dióxido de carbono (CO_2)

El CO_2 es el nutriente más importante de los cultivos, ya que contiene aproximadamente un 44 % de carbono y una cantidad similar de oxígeno. El aire es la única fuente de CO_2 para las plantas y su contenido no excede el 0,03 % (300 ppm).

A pesar de la importancia del CO_2 , se ha prestado poca atención a la denominada nutrición carbónica. Se sabe que la velocidad de crecimiento de la planta decrece considerablemente cuando la concentración mínima de CO_2 desciende por debajo de 300 ppm y además la mayoría de los cultivos producen mucho más cuando la concentración de CO_2 disponible excede de este nivel. Un ejemplo es el caso del tomate que se estima que la tasa de crecimiento bajo condiciones normales de luz disminuye el 80 % cuando la concentración de CO_2 disponible cae por debajo de 100 ppm y aumenta el 20% cuando la concentración alcanza 1.000 ppm.

Control de las condiciones climáticas

Existen diversas tecnologías que ayudan a reducir el impacto negativo de los factores ambientales y dar las mejores condiciones para los cultivos. La tecnología a emplear va a depender del tipo de cultivo, de las zonas y de las condiciones económicas de los productores, ya que en general requieren de un costo inicial elevado. La tecnología de los invernaderos es la más utilizada para complementar a los sistemas de producción en hidroponía, ya que es con esta combinación de tecnologías como se han logrado obtener los más altos rendimientos jamás vistos en la historia, pues se consigue un control total de los factores ambientales. Con la hidroponía se logra controlar los factores edáficos que limitan a la parte de la raíz y con los invernaderos se controlan los factores ambientales que afectan a la parte aérea.



Difusores plásticos para CO₂ ubicados junto a las barras de cultivo OASIS® EASY PLANT® en una producción comercial de tomate de especialidades.



Invernadero con cubiertas plásticas y mallas antiáridos.

Control de las condiciones climáticas

Existen diversas tecnologías que ayudan a reducir el impacto negativo de los factores ambientales y dar las mejores condiciones para los cultivos. La tecnología a emplear va a depender del tipo de cultivo, de las zonas y de las condiciones económicas de los productores, ya que en general requieren de un costo inicial elevado. La tecnología de los invernaderos es la más utilizada para complementar a los sistemas de producción en hidroponía, ya que es con esta combinación de tecnologías como se han logrado obtener los más altos rendimientos jamás vistos en la historia, pues se consigue un control total de los factores ambientales. Con la hidroponía se logra controlar los factores edáficos que limitan a la parte de la raíz y con los invernaderos se controlan los factores ambientales que afectan a la parte aérea.

Invernadero

Es una construcción agrícola traslúcida, que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de plantas de cultivo establecidas en su interior con cierta independencia del medio exterior. La mayoría de invernaderos son de estructura metálica cubierta con materiales tan diversos como vidrio, plásticos, placas de policarbonato, PVC o acrílico, y su objetivo es aislar el cultivo del medio (frío, insectos y lluvia).

Los diferentes cultivos que se establecen en los invernaderos requieren de diferentes condiciones climáticas, así que para darle a cada uno lo que requiere y crear las mejores condiciones para que se desarrolle la planta, se recurre al diseño y equipamiento.



Invernadero con equipamiento para cultivo en solución, balsas flotantes y NFT.

Ventajas técnicas de los invernaderos

- Control de heladas y de las bajas temperaturas.
- Control de la insolación y de las altas temperaturas.
- Control de la velocidad del viento.
- Control de varias especies de plagas al funcionar como una barrera física.
- Control de los excesos de humedad edáfica y de las enfermedades causadas por ello.
- Menor presencia de enfermedades al controlar vectores, exceso de humedad y daños mecánicos por viento.
- Control de la humedad relativa.
- Posibilidad de controlar el dióxido de carbono (CO_2).

Ventajas económicas

- Más altos rendimientos y mayor calidad de productos de alto valor económico.
- Producción continua y más precoz (varios ciclos por año).
- Programación de las cosechas para fechas en que el mercado ofrece mejores precios.
- Más seguridad de éxito por no depender tanto de los factores meteorológicos.

Desventajas de los invernaderos

- Altos costos de instalación y operación.
- Desconocimiento del diseño apropiado.
- Desconocimiento y dificultad técnica de manejo del suelo.
- Desconocimiento y dificultad técnica de manejo del clima.
- Necesidad de mercado seguro.
- Solo rentable para especies de alto valor comercial.

SISTEMAS HIDROPÓNICOS

Un sistema hidropónico, es aquel sistema de producción en el cual las raíces de las plantas son irrigadas con una solución nutritiva y en el que en vez de suelo, se puede usar o no un sustrato. Dentro de los sistemas existen algunas variantes dependiendo del medio de cultivo en donde se desarrollan las raíces de las plantas.

Cultivo en sustrato

Son sistemas que usan sustratos como medios de cultivo, en los cuales se pueda brindar a la raíz un balance entre los poros que retengan la solución y los poros más grandes que proporcionen oxígeno a la raíz o en su defecto que solo sirvan como un medio sólido de apoyo para el anclaje de las raíces y desarrollo de las plantas sin reaccionar con la solución nutritiva. Las funciones asignadas al sustrato son:

- Retener y dar la solución nutritiva a la raíz (agua, nutrientes, pH, CE, etc.)
- Brindar oxígeno a la raíz
- Proporcionar temperatura adecuada a la raíz.
- Dar obscuridad a la raíz.
- Ayudar al anclaje y soporte de la planta
- Amortiguar los cambios que se den en la solución nutritiva o en el ambiente protegiendo a la raíz.

Existen numerosos tipos de sustratos usados como la arena, cascarilla de arroz, aserrín, turba, vermiculita, perlita, lana de roca, fibra de coco y recientemente espuma fenólica. En estos sistemas el sustrato debe estar contenido en contenedores que proveen un aislamiento entre el medio de crecimiento y el suelo natural pueden ser tinas construidas, canaletas, macetas o bolsas de plástico.

El volumen de sustrato requerido para cultivar depende en gran medida de sus características físicas (retención de humedad y oxigenación), además de la eficiencia y exactitud del sistema de riego, y la distribución y el manejo del cultivo para cada especie.

Variantes o técnicas del cultivo en sustratos

Dependiendo del tipo de contenedor y su disposición en el invernadero existen numerosas variantes, dentro de ellas podemos destacar las siguientes técnicas:

- **Cultivo en macetas de Bentley (*Bentley Containers System*):** Esta técnica de cultivo hidropónico desarrollada por el Dr. Maxwell Bentley se publicó por vez primera en 1974 y responde a la idea de implementar métodos más baratos, pero igualmente eficientes, de cultivo hidropónico.



Lechuga cultivada en tiras con sustrato en cubos de espuma fenólica OASIS® EASY PLANT®.

En vez de tinas se utilizan macetas (bolsas de polietileno negro grueso) rellenas con un sustrato especial, en donde crecen plantas generalmente grandes como tomate o pepino. Las bolsas se sostienen por ladrillos huecos de hormigón, cuyas cavidades también se rellenan con sustrato, permitiendo el crecimiento de plantas más pequeñas (lechuga, por ejemplo).

El sistema de irrigación es parecido al riego por goteo, sólo que en vez de goteros tiene boquillas que rocían de solución nutritiva a la superficie del sustrato, a intervalos regulares de tiempo durante el cual, el reloj acciona el interruptor que prende y apaga la bomba.

Este sistema de producción ha sufrido algunas modificaciones, actualmente se maneja bolsas de plástico (blanco por fuera y negro por dentro) que existen de diferentes tamaños, calibres pero con el mismo principio, utilizando un sistema de riego por goteo para hacer más eficiente el riego con la solución nutritiva.

- **Cultivo en tubos verticales:** Son cultivos verticales en tubos de polietileno rellenos con sustratos ligeros cuyos largos van desde los 0.5 a 2 metros. Estos tubos pueden ser soportados verticalmente amarrándolos a la estructura del invernadero o haciéndoles soportes individuales con cintas de madera.

La irrigación es a base de riego por goteo, requiriéndose de dos a cuatro litros diarios de solución por tubo. La solución nutritiva, generalmente no se recircula dejándose drenar desde la base de los tubos. Cada uno o dos meses se da un lavado con agua sola a fin de eliminar sales que pudieran acumularse. Este sistema es adecuado para cultivos de pequeño porte como fresas, lechugas, espinacas, acelgas, etc., los cuales normalmente requieren una gran área de invernadero con utilización mínima del espacio vertical. Son apropiados para usarse en los huertos familiares o como curiosidad decorativa.

- **Cultivos en barras y bolsas de cultivo (slabs):** Es una técnica reciente, originada en Dinamarca y Suecia, para producir hortalizas y especies ornamentales de alto valor comercial como el tomate, pepino, pimiento y rosa en sustratos que se venden listos para usarse, en bolsas de plástico.



Cultivo de pimiento en macetas con sustrato tezontle, las plantas fueron trasplantadas en conectores de espuma fenólica OASIS® EASY PLANT®.



Barras de cultivo en espuma fenólica OASIS® EASY PLANT® colocadas en hilera.



**Barras de cultivo con espuma fenólica
OASIS® EASY PLANT® de 9 L.**



Barras de cultivo en espuma fenólica OASIS® EASY PLANT® de 8.4 y 9 L.



Se distribuyen en hileras en el invernadero y pueden estar colocados sobre canaletas que recolecten el exceso de solución nutritiva para volverla a utilizar. El riego se realiza a través de espaguetis y piquetas.

Inicialmente el sustrato usado fue la “lana de roca”, actualmente hay presentaciones de fibra de coco y espuma fenólica. Esta última en particular ha demostrado ahorros significativos de más del 50 % en el consumo de la solución nutritiva y con un manejo técnico preciso, da beneficios significativos en el incremento y calidad de la producción (inicio anticipado del periodo de fructificación y grados Brix) y sobre todo el ahorro de más del 50% de la solución nutritiva (agua y nutrientes) en comparación con otros sustratos.

Actualmente existen diferentes presentaciones de diferentes formas y volúmenes que van entre los 5 a 12 L dependiendo de la especie, el número de plantas y la distribución es que se elija para su cultivo.

Cultivo en solución

En estos sistemas, las raíces de las plantas se encuentran sumergidas parcial o totalmente en una solución con los elementos nutritivos disueltos en ella. La oxigenación de la raíz es un factor muy importante para el buen funcionamiento del sistema.

El ahorro en agua y fertilizantes son unas de sus principales ventajas; sus desventajas se deben principalmente al preciso y controlado manejo de la solución nutritiva.



Raíces de plantas de arúgula creciendo en un cultivo en solución.

Aunque en este sistema de cultivo se puede usar con éxito un gran número de soluciones nutritivas, se debe resaltar que se trata de un sistema esencialmente carente de capacidad de amortiguamiento (*Buffer*). Por lo tanto, se requiere de un control muy exacto de la solución nutritiva, sobre todo en lo referente a los niveles de pH, fosfatos y hierro. Para favorecer el crecimiento de las plantas bajo cultivo en solución se requiere manejar adecuadamente ciertas condiciones físicas, tales como:

- **Oscuridad para la solución nutritiva:** Para evitar el crecimiento de algas verdes y otras plantas acuáticas diminutas que pueden competir por el oxígeno y los nutrientes. La descomposición posterior de las algas puede llegar a ser tóxica para las raíces, interfiriendo con sus funciones y desarrollo.

- **Oxigenación:** El éxito que se obtenga con este sistema de cultivo hidropónico, depende en gran parte del suministro adecuado de oxígeno para las raíces de las plantas a través de la solución nutritiva. El suministro de oxígeno puede ser natural, o bien, forzado de diversas maneras.

El método más común para oxigenar la solución, consiste en dejar un espacio de aire entre la superficie de la misma y la parte inferior del lecho que soporta a las raíces, de tal manera que, las raíces superiores estén rodeadas por aire húmedo mientras que las inferiores están sumergidas en la solución.

Para aumentar el abastecimiento de aire a medida que crecen las raíces, hay que bajar el nivel de la solución hasta dejar un espacio máximo de 5 cm, un espacio mayor puede dañar por secamiento a las raíces superiores. También, es usual agregar oxígeno en la solución haciendo pasar burbujas de aire a través de ella mediante una bomba de aire conectada a un tubo con perforaciones de 1 mm de diámetro y 30 cm de separación, que recorre el fondo del tanque. El volumen de aire necesario depende principalmente del volumen de solución, de la temperatura y la clase de planta

Para tinas o recipientes caseros, las bombas de acuarios son adecuadas para oxigenar la solución. Otra forma de airear la solución consiste en hacerla caer al aire libre desde una altura suficiente para que pueda oxigenarse debidamente (efecto de cascada), sin embargo, la circulación de la solución debe ser lenta para no dañar a las raíces.

- **Circulación de la solución nutritiva:** es una práctica comúnmente recomendada, ya que favorece una mejor distribución de los iones nutritivos y una mejor aireación. Es de suponerse que, el movimiento de la solución a través de las raíces ayuda a estabilizar su medio ambiente. Desde luego que el movimiento debe ser lo suficientemente lento como para no dañar a las raíces.



Oxigenación por medio de una cortina flexible para acuarios en huerto hidróponico en casa.

- **Calentamiento:** algunos autores sugieren que para climas templados y fríos es conveniente calentar, aumentando entre 5 y 10 °C más de la temperatura nocturna la solución nutritiva. Esto con el objetivo de acelerar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El cambio brusco de temperatura del día a la noche, típico de los climas templados, puede ser un problema serio para el cultivo en agua ya que no hay ningún sustrato que amortigüe su efecto sobre las raíces. Cualquier cambio de solución o agua que se añada a la misma solución, debe estar aproximadamente a la misma temperatura que la solución anteriormente presente. En una instalación grande será muy conveniente contar con un tanque separado con un sistema de calefacción para precalentar el agua o solución nueva.

- **Soporte para las plantas:** en este caso se puede usar una canastilla o el mismo sustrato en que se germinó, ambos son suficientes para mantener la planta en su lugar.



Canastillas con plántulas germinada en placas de espuma féenolica OASIS® EASY PLANT® en un sistema NFT.

Variantes o técnicas del cultivo en solución

- **Cultivo en balsa:** Desarrollado por W.F. Gericke (1929), consiste básicamente en tanques o tinas hechas de cualquier material impermeable. Con una malla fijada a unos 6 a 12 cm del borde superior que sirve de soporte a las plantas en crecimiento. Las raíces descienden a través de los agujeros de la misma hasta sumergirse en la solución nutritiva, misma que, en el tanque, tiene una profundidad de 10 a 15 cm. Encima de la malla se coloca una cubierta de virutas o hebras de madera, turba vegetal, aserrín, etc., de 5 a 10 cm de espesor. Esto impide que la luz llegue a la solución, ayudar en el soporte de las plantas y permitir, hasta cierto grado, la siembra directa de semillas, sobre todo de plantas susceptibles al trasplante. La aireación se efectúa ajustando el nivel de la solución para dejar a las raíces con un pequeño espacio de aire (menos de 5 cm). Eventualmente, se pueden hacer perforaciones en la tina, a la altura del espacio de aire para favorecer la entrada del mismo a las raíces.

- **Cultivo en solución con aireación forzada por bomba:** Desarrollado por H.F. Hollis (1964), se diferencia del de Gericke en que la aireación además de dejar un espacio para las raíces, se lleva a cabo forzando aire por medio de una bomba a través de un tubo de cobre o plástico con pequeñas perforaciones (1 mm) hechas a intervalos de aproximadamente 30 cm. Este tubo recorre el fondo del tanque y burbujea aire a través de las perforaciones.

- **Cultivo en agua con aireación de cascada:** Desarrollado por Penningsfeld y Kurzmann (1975), se diferencia de las otras técnicas anteriores en que la solución circula por una bomba y se fuerza a través de una tubería que finalmente la descarga de nuevo al tanque desde una altura suficiente como para que la solución se oxigene adecuadamente.
- **Cultivo en Sistemas hidropónicos de flujo profundo:** Desarrollado por Jensen y Collins, (1985) y Massantini Es un método con facilidades para la producción a gran escala.



Sistemas hidróponicos de flujo profundo.

El sistema de producción consiste de un tanque horizontal de forma rectangular revestido con plástico; los tanques desarrollados por Jensen miden 4.0 m x 70.0 m y 30 cm de profundidad. La solución nutritiva es monitoreada, rellenada, recirculada y aerada. Los tanques rectangulares tienen 2 ventajas diferentes, el sistema de flujo profundo tiene fajas conductoras con poco rozamiento para plantar y cosechar flotadores móviles, y las plantas son tendidas en un plano horizontal simple para una máxima intercepción de la luz solar.

- **Técnica de la película nutritiva (*Nutrient Film Technique*) NFT:** La técnica de la película nutritiva comprende una serie de diseños cuyo principio básico es la continua circulación de una película muy delgada de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas.



Tipos de sistemas NFT, para crecimiento de plántulas (izquierda) y cultivo de hortalizas de hoja (derecha)

La solución nutritiva es bombeada hacia el extremo más alto de cada canal y fluye por gravedad, pasa por las raíces de las plantas hacia las tuberías de desagüe pero va irrigando la parte inferior de las raíces hasta que finalmente cae de regreso al depósito. Una ventaja principal del sistema NFT en comparación con otros sistemas, es que requiere menos solución nutritiva.

Se debe mantener un volumen constante en el depósito, lo cual se puede lograr mediante un mecanismo de flotador en sistemas comerciales o con adiciones diarias de solución. Es necesario realizar análisis químicos periódicos a la solución para ir sustituyendo las sales que se le van agotando o se puede renovar periódicamente (cada 8 a 15 días).

Aunque las plantas pueden aguantar varias horas sin recibir solución, debido a que las raíces permanecen húmedas durante algún tiempo, lo más conveniente es contar con dos bombas para tener una de repuesto en caso de que la otra se descomponga.

Como ventajas del sistema se mencionan, entre otras, las siguientes:

- Un sistema radical pequeño puede soportar a una planta muy grande.
- No hay pérdida de agua por drenaje, evaporación o filtraciones, sólo se pierde el agua transpirada. Además, como las plantas crecen en una película delgada de solución, la capacidad de almacenamiento es mínima. Ambas condiciones son de valor en zonas áridas.
- No requiere esterilizaciones.
- Se logra gran control sobre el agua y los nutrientes.
- Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.
- Los costos de instalación son comparativamente bajos.
- Puede operar casi automáticamente.

Esta técnica está en constante evolución y permite desarrollar la inventiva personal para crear nuevos y mejores diseños. La instalación es tan ligera que se puede utilizar ventajosamente en las azoteas de casas y edificios de grandes ciudades.



Sistema NFT en desniveles para aprovechar el espacio dentro del invernadero.



Sistema NFT comercial marca OASIS® EASY PLANT®, en una terraza de la Ciudad de México.

• New Growing System (NGS)

Este sistema funciona a través del uso de películas plásticas dispuestas en varias capas funcionando de forma específica. La solución nutritiva hidrata las raíces de las plantas en los primeros niveles, los excedentes descenden a través de otras películas plásticas inferiores para colectarse en el depósito de donde se irrigó y volver a circular.



Películas plásticas en un sistema hidropónico NGS.



Cultivos de lechugas en sistema NGS.



Tomate en conector de espuma fenólica
OASIS® EASY PLANT® creciendo en un sistema NGS.

Como ventajas del sistema podemos mencionar las siguientes:

- En comparación con otros sistemas, es que requiere menos solución nutritiva, menos aún que el sistema NFT. Por lo tanto, es más fácil calentar o enfriar la solución dependiendo lo que se requiera para obtener temperaturas óptimas para el mejor crecimiento radicular de la planta. Las raíces de las plantas crecen en las primeras capas plásticas sin obstruir el flujo de la solución nutritiva en la capa final para poder colectarse.
- Se logra gran control y optimización del agua y de nutrientes, ya que no hay pérdida por drenaje, evaporación o filtraciones, solo se pierde el agua transpirada por la planta. Como los volúmenes son reducidos, es más fácil desinfectar la solución nutritiva para el control o prevención de enfermedades antes de volverla a usar.
- Se logra un sistema radicular pequeño pero que puede soportar a una planta grande. Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.

Para el NGS se recomienda que las plántulas sean germinadas en sustratos que no se desintegren con el flujo continuo de agua y que puedan mantener hidratadas a las raíces.

• **Cultivo con las raíces en el aire (aeroponía):** A diferencia de las otras técnicas de cultivo en solución, en esta las raíces de la planta están dentro de un contenedor, caja o tubo plástico, sin nada más que aire alrededor pero son irrigadas con solución nutritiva mediante un nebulizador o aspersor frecuentemente.

La solución nutritiva se manda desde un tanque mediante una bomba para alimentar a los aspersores de forma constante o en ciclos de pocos segundos, dependiendo del equipo con que se cuente, pero se considera que entre más fino sea el asperjado o rociado se tendrá una mejor nutrición de las plantas.

La principal ventaja técnica de este sistema es la excelente oxigenación que se le proporciona a las raíces, que es uno de los factores limitantes de la hidroponía

Inicialmente se hacen germinar las semillas en algún sustrato, y una vez que las plántulas se han desarrollado, se insertan en la parte superior o lateral de contenedores huecos (cajas, cajones o recipientes similares), quedando las raíces en su interior y suspendidas en el aire.

El principal problema que se pudiera tener a escala comercial es el control técnico tan delicado que se requiere, aunado a lo riesgoso del sistema, pues como las raíces se encuentran en el aire requieren de una irrigación casi continua, por lo que siempre habrá que tener bombas de reserva. Si estas son eléctricas se deberá contar con bombas de gasolina de repuesto o con una pequeña planta generadora para el caso de fallas en el suministro de electricidad.



Cultivos de lechugas en el sistema aeropónico Horti tower de EASY PLANT®.

Bibliografía

Ángeles M. V. 2002. Diseño agronómico de sistemas de riego presurizado. Imprenta Universitaria, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Barbado J.L. 2005. Hidroponia. Su empresa de cultivos en agua. Editorial Albatros. Argentina.

Baudoin W.O. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Italia.

Bautista M. N., C. Chavarin P. y F. Valenzuela E. 2010. Jitomate: Tecnología para su producción en invernadero. Colegio de Postgraduados. México.

Cárdenas F. J., V. J. González y J.M. Hernández. 2003. El cultivo protegido del tomate. Ediciones Agrotécnicas. España.

Chávez A.N., Romantchik K. E., Gracia L. C. y Velázquez M. B. 2008. Desinfección de suelos y sustratos en la agricultura. Métodos y equipos. Imprenta Universitaria Universidad Autónoma Chapingo. México.

Goyal M.R. 2007. Manejo de Riego por Goteo. Extensión Agrícola. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico.

Castellano Z.J. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRI S.C. México.

Jones J. B. 2005. *Hydroponics: A practical Guide for the Soilless Grower*. Ed. CRC Press. USA.

Keith R. 2003. *How -To Hydroponics*. The Futuregarden, Inc. New York. USA.

Peter J. G. 2006. *Plant roots, Grow, Activity and Interaction with soils*. Blackwell Publishing. Oxford, UK.

Sánchez del C., F y Escalante R. E. R.1988. Hidroponia un sistema de producción de plantas, principios y métodos de cultivo. Imprenta Universitaria, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Sánchez del C., F. 2002. Descripción general del proceso de producción de jitomate basado en despunte temprano y altas densidades p. B1 – B17. In: Abraham Rojano, Waldo Ojeda y Raquel Salazar. Curso internacional de invernadero 2002. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. México.

Zarate N.B.H., Ortiz H., Carrillo R. J.C. y Montes G.R. 2007. Recirculación de la solución nutritiva; alternativa para ahorro de agua y nutrientes en tomate. Boletín No. 25. Edición de marzo 2007. Fundación Produce Oaxaca A.C. México.

oasis®

EASY PLANT®

Kits con todo lo necesario para iniciarte en la hidroponia.



Disfruta de un delicioso complemento en tus comidas con el Kit para cultivar microgreens y ten siempre a la mano tus hortalizas de hoja o tomate con el Kit para germinación, ambos, de OASIS® EASY PLANT®.

Conoce más de ellos y adquiérelos en
www.oasiseasyplant.mx