

Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT

(Nutrient Film Technique)

Campo de Prácticas Docentes e Investigación
Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios



Autores

Ing. Laura Brenes Peralta, MGGA

Ing. María Fernanda Jiménez Morales, M.Eng.

Docentes e Investigadoras de la Escuela de Agronegocios - TEC

Estudiantes Asistentes

Federico Gómez Coto

Jonathan Mena Villalta

Álvaro Saénz Guevara

Consultor técnico

Ing. Luis Fernando Campos Meléndez, M.Sc.

634
B837m

Brenes Peralta, Laura Patricia

Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique) / Laura Patricia

Brenes Peralta, María Fernanda Jiménez Morales – 1a edición.

-- Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2016.

ISBN 978-9968-641-32-6

1. Hortalizas 2. Sistema (Nutrient Film Technique)

Expresamos un especial agradecimiento al director de la Escuela de Agronegocios, Ing. Randall Chaves Abarca, a los docentes de la Escuela de Agronegocios Dr. Roel Campos, Ing. Marianella Gamboa e Ing. Felipe Vaquerano, a los estudiantes asistentes Federico Gómez Coto, Jonathan Mena Villalta y Álvaro Sáenz Guevara, al consultor técnico Ing. Luis Fernando Campos Meléndez y a los funcionarios del Campo de Prácticas Bernardo Quesada Sandoval, Rolando Piñado Solano y Minor Olivares Brenes, por el aporte brindado durante las prácticas y pruebas piloto en el sistema NFT del CPDIA. Asimismo, agradecemos las experiencias prácticas compartidas por el graduado Ing. Esteban Rojas Martínez y al Ing. Luis Vargas, del INTA, por el servicio de identificación de patógenos.

Ing. Laura Brenes Peralta e Ing. María Fernanda Jiménez Morales
Escuela de Agronegocios

Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique)

Campo de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios

Autores:

Ing. Laura Brenes Peralta, MGGA
(labrenes@itcr.ac.cr)

Ing. María Fernanda Jiménez Morales, M.Eng.
(maria.jimenez@itcr.ac.cr)

Docentes e Investigadoras de la Escuela de Agronegocios
del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Estudiantes Asistentes

Federico Gómez Coto
Jonathan Mena Villalta
Álvaro Saénz Guevara

Consultor técnico

Ing. Luis Fernando Campos Meléndez, M.Sc.

Asistentes Administrativos

Bernardo Quesada, Rolando Picado (†)

Este manual es producto de la Actividad de Fortalecimiento “Modelo de manejo de un sistema de producción de hortalizas de hoja bajo la modalidad de hidroponía NFT, tipo comercial” (cod. 5402-1801-0478), ejecutada con fondos de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, y realizada en las instalaciones del Campo de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios, ambos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago.

**TEC | Tecológico
de Costa Rica**

Cartago, 2014

Contenido

Introducción.....	6
Descripción del sistema hidropónico NFT	7
Equipo y parámetros utilizados en el monitoreo.....	10
Desarrollo de las plantas.....	12
Solución nutritiva.....	13
Principales plagas y enfermedades	15
Proceso productivo.....	19
Limpieza del sistema de hidroponía	19
Compra de almácigo	20
Trasplante.....	20
Seguimiento y control del cultivo.....	21
Entrada al invernadero	21
Labores de control y monitoreo.....	21
Cosecha	23
Trabajos citados.....	26

Índice de tablas y figuras

Tabla 1. Datos para la formulación de 10 l de solución nutritiva A y 2 l de solución nutritiva B	14
Figura 1. Cama de hidroponía NFT en invernadero del CPDIA-TEC.....	8
Figura 2. Esquema ilustrativo de sistema NFT, no está a escala	9
Figura 3. Canastilla ranurada plástica, con piedra volcánica..	10
Figura 4. Equipo de monitoreo: A) Datalogger para registro de datos de temperatura y humedad ambiental, B) Conductímetro para monitoreo de conductividad	

eléctrica-concentración, C) medidor de pH portátil para monitoreo de la acidez de la solución nutritiva	11
Figura 5. Ejemplo de siembra de cebollín y lechuga	13
Figura 6. Lechuga afectada por hongos.....	17
Figura 7. Lechuga con un cortador en sus hojas (Spodoptera sp.) Fuente: Gómez & Sáenz, 2013.....	17
Figura 8. Lechuga con signos de marchitez y raíces oscurecidas por afección a causa del hongo <i>Fusarium</i> sp.	18
Figura 9. Sistemas radiculares de lechuga: A) Raíces oscurecidas, afectadas por hongo B) Sistema radicular sano <i>Fusarium</i> sp.,	18
Figura 10. Caja plástica para recolectar lechugas listas para cosechar	24
Figura 11. Medición del diámetro y pesaje de las plantas cosechadas, en un lugar fresco y limpio.....	24
Figura 12. Corte de raíz y escurrido del latex del tallo para evitar daños en las hojas.....	25

Introducción



El término hidroponía se genera de dos palabras griegas: *hydro* (agua) y *ponos* (labor o trabajo). La unión de estas palabras significa trabajar en agua. La hidroponía puede definirse entonces como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte, siendo este medio el agua o incluso un sustrato distinto del suelo tal como lo conocemos, sino por ejemplo: granza de arroz, grava, carbón o piedra volcánica, entre otros. A este medio se le agrega una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal (Barbado, 2005).

La técnica hidropónica de *cultivo con flujo laminar de nutrientes*, conocida como NFT por sus siglas en inglés (*Nutrient Film Technique*), se originó en Inglaterra, con el fin de aumentar la productividad del sector de producción hidropónica mediante el uso total del espacio, crear un sistema cerrado donde recirculara la solución nutritiva, aprovechando al máximo el recurso hídrico, y favorecer la absorción en los sistemas radiculares de las plantas (González, 2008).

La Escuela de Agronegocios del TEC, valorando tendencias productivas actuales y de mercado, creó un invernadero en su campo experimental, con un sistema hidropónico NFT y realizó varias pruebas en el 2012, por lo que en el 2013 decidió insertar en sus actividades de fortalecimiento la propuesta llamada “Modelo de manejo de un sistema de producción de hortalizas de hoja bajo la modalidad de hidroponía NFT”, cuyo objetivo era “Definir un modelo de manejo de un sistema de producción de hortalizas de hoja bajo la modalidad de hidroponía NFT, en el Centro de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria, con miras a generar experiencias e información técnica”.

Como resultado, surgió el presente manual, que guía de manera general y básica la operación de un sistema de cultivo de este tipo, el cual se adapta principalmente a las condiciones del área descrita. Igualmente, podría utilizarse como base para la operación en otros sitios, con las adecuaciones correspondientes según clima, cultivo, etc.

Descripción del sistema hidropónico NFT



La técnica hidropónica de cultivo con flujo laminar de nutrientes, NFT (*Nutrient Film Technique*) se desarrolló para aumentar la productividad del sector de producción hidropónica. El método sufrió modificaciones en la Universidad de La Molina, en Perú, tanto en su modelo como en la solución nutritiva, al igual que la variación de la solución nutritiva aportada por el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), para el caso costarricense.

El sistema establecido en el Campo de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios del TEC (CPDIA) se encuentra localizado en la provincia de Cartago, Cantón Central, Distrito Oriental. Se ubica dentro de un invernadero con techo de plástico transparente y paredes antiáfidos; con una cámara de ingreso en la que hay un pediluvio y un aspersor con desinfectante, en este caso con una solución de Vanodine ®FAM (igualmente pueden emplearse otras disponibles en el mercado). Además tiene instalada una cobertura interna de sarán, para manejo de la temperatura. Consta de tubos de PVC de 4 pulgs. de diámetro y 6 m de largo, con tapa en sus extremos. A un extremo de cada tubo hay una perforación para el ingreso de una boquilla que inyecta la solución nutritiva recirculante, la cual proviene de un tanque de almacenamiento de 1000 l. Los tubos también tienen en la tapa del extremo opuesto una perforación conectada a una manguera, que recoge la solución nutritiva y la direcciona de retorno al tanque de almacenamiento. Los tubos están colocados sobre estructuras metálicas de 60 cm de alto, con un desnivel mínimo que permite la salida de la solución por las mangueras de las tapas. Cada tubo posee perforaciones de 4 cm de diámetro en la cara superior, a una distancia de 20 cm una de otra, donde se colocan las plantas en canastillas por donde saldrán sus raíces (ver fig. 1). Cada cama consta de 5 tubos, para un total de 7 camas de invernadero.

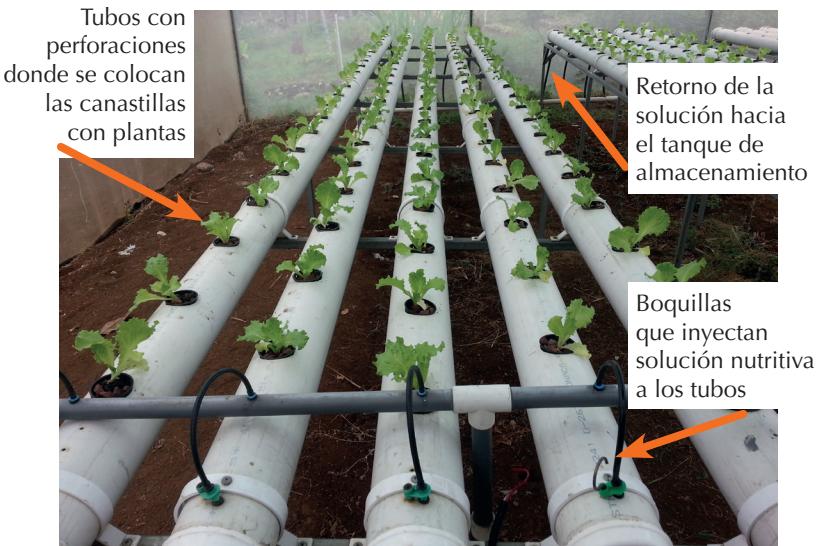


Figura 1. Cama de hidroponía NFT en invernadero del CPDIA-TEC

Es importante anotar que el tanque de almacenamiento de la solución debe mantener su contenido fresco y aislado de la luz directa, por lo que debe contar con tapa e idealmente estar bajo el nivel del suelo o en una instalación cubierta. Además, se utiliza una bomba de acero inoxidable de 3 hp, para la succión de la solución nutritiva contenida en el tanque, por lo que tiene que haber toma eléctrica. La bomba extrae la solución nutritiva y la envía a tubos de 1 pulg. para su transporte e inyección mediante las boquillas en los tubos de PVC antes descritos. Los tubos tienen un ligero desnivel (1 % como máximo), que permite que la solución fluya del punto de inyección hacia el extremo contrario y se recolecte para retornar al tanque de almacenamiento. Dicho ciclo facilita la reutilización de la solución nutritiva, para mayor aprovechamiento del recurso hídrico, y favorece la absorción en las raíces de las plantas. La siguiente figura muestra las partes antes citadas.

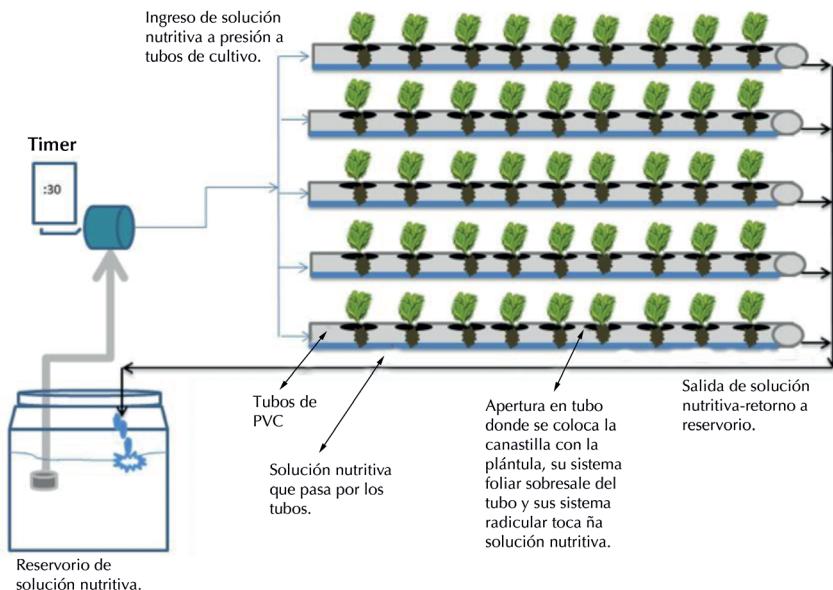


Figura 2. Esquema ilustrativo de sistema NFT, no está a escala

Fuente: Jiménez-Morales & Brenes-Peralta, 2014

Finalmente, es necesario contar con otros aditamentos en el sistema, como un “timer” o temporizador para programar los tiempos de circulación y apagado de la bomba, y equipo móvil como los respectivos medidores de pH, de temperatura y de conducción eléctrica, para monitorear la condición de la solución nutritiva que alimenta las plantas. Las canastillas donde se colocan las plantas también son importantes. Todo lo anterior puede ser adquirido en ferreterías, tiendas de equipo agrícola o de laboratorio y de proveedores para hidroponía. Es ideal poseer algún sistema de monitoreo de CO₂, temperatura y humedad relativa, para determinar las condiciones ambientales de producción y ajustar algunos procedimientos si se vuelve necesario.

La experiencia práctica en el CPDIA demostró que es preferible utilizar canastillas diseñadas para tal fin, como la que se muestra en la fig. 2 que se adquieren de ciertos proveedores en el país, pues facilitan el desarrollo de la raíz de la planta y, por tanto, la absorción de nutrientes y el crecimiento posterior, ya que son ranuradas y de un material inerte.

También puede considerarse apropiado el uso de piedra volcánica (quintilla preferiblemente) debidamente desinfectada en las canastillas, para permitir un mejor anclaje y crecimiento de la raíz de las plantas.

Esta piedra se consigue en viveros cuando son cantidades pequeñas, o en tajos si se requiere mayor volumen.



Figura 3. Canastilla ranurada plástica, con piedra volcánica

Equipo y parámetros utilizados en el monitoreo



Es vital el monitoreo diario de las condiciones ambientales y de la solución nutritiva durante el proceso productivo. Cuando las mediciones hechas están fuera de estos parámetros, pueden presentarse deficiencias en el crecimiento de las plantas, fisiopatías, intoxicaciones, quemas o problemas patológicos. A continuación se muestran imágenes de algunos de los equipos de monitoreo usados en el CPDIA.

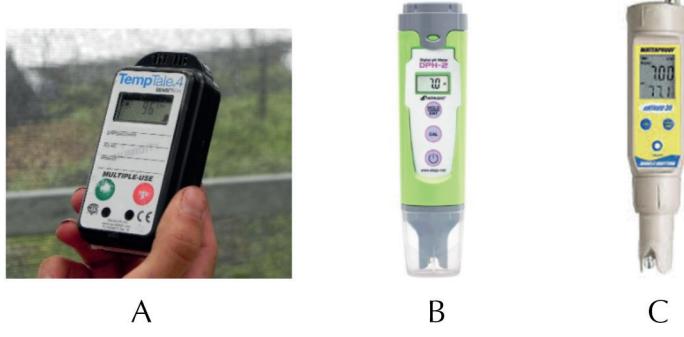


Figura 4. Equipo de monitoreo: A) Datalogger para registro de datos de temperatura y humedad ambiental, B) Conductímetro para monitoreo de conductividad eléctrica-concentración, C) medidor de pH portátil para monitoreo de la acidez de la solución nutritiva

Fuente: Imágenes del CPDIA y del catálogo digital del equipo

Es importante aclarar que se define como conductividad eléctrica a la expresión numérica de la capacidad de transportar una corriente eléctrica, la cual, en una solución acuosa como la que contiene los nutrientes en hidroponía, dependerá de la presencia de iones en el agua y su concentración total, movilidad, carga y temperatura. Por eso, para este sistema productivo se usan conductímetros que miden la *resistencia* de una solución al paso de una corriente eléctrica, usualmente en unidades de mS/cm^3 o $\mu\text{S/cm}^3$.

Dependiendo de las características del sistema y el medio en que este se encuentre, es posible manejar o corregir algunas de las variables monitoreadas. Algunas medidas por aplicar pueden ser la dilución o aumento de la concentración de las sales nutritivas, de manera que la planta cuente con los nutrientes necesarios; la corrección del pH de la solución nutritiva (ya que si no se está dentro del parámetro sugerido las sales pueden precipitar u ocasionar fitotoxicidad o deficiencia), y el manejo de la temperatura y la humedad relativa del medio a partir de ventilación o mediante la instalación de coberturas como el sarán, para proveer un medio adecuado según el cultivo del que se trate. Este último constituye un tema crítico, pues las temperaturas muy bajas disminuyen el metabolismo y el desarrollo de la planta, lo que atrasaría la cosecha, y temperaturas muy altas con baja humedad relativa aumentan las tasas de evapotranspiración y pueden causar deshidratación. Sin embargo, el hecho de colocar coberturas oscuras también disminuye la incidencia de luz y, por tanto, la tasa de fotosíntesis de las plantas; igualmente, el exceso de sombra produce enlongación de las plantas por fototropismo.

Finalmente, el manejo de uno u otro factor, además de incidir sobre la fisiología de las plantas, puede incidir sobre otros microorganismos del medio que podrían ser patógenos, como hongos y bacterias que causen daños al cultivo.

A continuación se citan algunos parámetros técnicos recomendados para la producción de hortalizas de hoja como la lechuga:

- Temperatura: de 15 °C a 25 °C
- Humedad relativa: de 80 % a 95 %
- Concentración de la solución nutritiva: 1,2 a 1,8 mS/cm³
- pH: 6

Desarrollo de las plantas



En este sistema del CPDIA, se ha trabajado hasta el momento con hortalizas, a saber, lechuga (*Lactuca sativa*) y cebollín (*Allium cepa* o *Allium fistulosum*), y se ha tenido como resultado como rendimientos de producción hasta del 90 %, luego de realizar algunas pruebas. En general, estas hortalizas se cosechan cuando aún están en etapa de desarrollo vegetativo, pues su parte comercializable es justamente la hoja; por lo tanto, la solución nutritiva debe adecuarse a las necesidades de esa etapa de crecimiento.

En el caso de la lechuga, según la variedad de la que se trate, se toman como indicadores de desarrollo el color y tamaño. Posteriormente, se toman como indicadores de que ya es tiempo de cosecha la formación de cabeza si es una lechuga como la *americana* (*Lactuca sativa* var. *Capitata*), el tamaño de las hojas y los días transcurridos desde el trasplante, los cuales varían entre los 45 y 60 días aproximadamente. Para el cebollín, igualmente se considera el tiempo transcurrido después del trasplante hasta la cosecha, así como el largo y el grueso de las hojas.

En las pruebas realizadas en el sistema NFT del CPDIA, se cosechó a los 49 días; se obtuvieron lechugas con pesos de 217 g y diámetro de 42,5cm, y cebollines con un largo de hoja promedio de 51 cm. Se ha probado cosechar lechugas a los 60 días, logrando tamaños y pesos mucho mayores, pero es necesario tener especial cuidado, pues se han observado avances en las fases fenológicas del cultivo, cuyos indicadores

muestran que se ha pasado del tiempo de cosecha. Un ejemplo puntual es el inicio del desarrollo de tallo, lo que posteriormente adelanta la inflorescencia de la lechuga. Usualmente, en el mercado nacional, no se comercializan lechugas pasado ese punto.



Figura 5. Ejemplo de siembra de cebollín y lechuga

Fuente: Gómez & Sáenz, 2013

Solución nutritiva



La solución nutritiva contiene todos los nutrientes necesarios para que las plantas se desarrollen adecuadamente en un tiempo esperado, según las prácticas de cultivo y de comercialización aceptadas en el mercado al que se destine. Partiendo del caso experimentado en el CPDIA, se sugiere dejar las plantas 24 horas en agua recirculante después del trasplante para evitar el estrés en el sistema radicular, y luego iniciar la adición de la solución nutritiva en una concentración baja (no mayor de 1,2 mS/

cm³), para aumentarla paulatinamente hasta una concentración de 1,5 mS/cm³ y mantenerla durante la mayor parte de la etapa de desarrollo de la planta; puede elevarse hasta 1,8 mS/cm³ hacia la última semana antes de cosecha.

En el CPDIA, la solución empleada que dio resultados positivos consta de la combinación de una solución madre A y una solución madre B, cada una con aportes de nutrientes específicos. Estas se describen a continuación:

Tabla 1. Datos para la formulación de 10 l de solución nutritiva A y 2 l de solución nutritiva B

Solución madre A (por cada 10 litros de agua)	Solución madre B (por cada 2 litros de agua)
340 g fosfato monoamónico (12-60-0)	220 g sulfato de magnesio
2080 g de calcio	12 ml de metalosato de hierro
1100g de nitrato de potasio	12 g de nutrientes menores (Fetrilon Combi 1 ®)
	1,2 g de ácido bórico

Fuente: Ing. Luis Fernando Campos Meléndez, citado por Gómez, F. y Sáenz, A. (2013), con datos del INA y de Molina (2012)

La forma de preparación de la solución también es importante; esta se describe a continuación:

En dos recipientes limpios y debidamente desinfectados se depositarán las soluciones madre A y B, una en cada recipiente, resguardadas de la luz directa y a temperaturas frescas. Para la preparación de las soluciones se siguen los pasos enumerados y se usan como referencia las cantidades para producir 10 litros de solución A y 2 litros de B, pues son las cantidades máximas que usualmente se consumen en este sistema (estos componentes se podrán ajustar para obtener cantidades mayores o menores, según se requiera en cada ciclo productivo; por ejemplo, si se desea preparar la mitad de solución A, o sea 5 litros, se usará la mitad de los gramos que se indican de cada sal nutritiva).

Solución A

- Fosfato monoamónico (12-60-0): 340 gramos
- Nitrato de calcio : 2080 gramos
- Nitrato de potasio: 1100 gramos

Pasos:

1. Medición de 5 litros de agua y vertido en un recipiente plástico que luego se pueda tapar, preferiblemente opaco u oscuro.
2. Adición, una por una, en el orden escrito anteriormente, de las sales nutricionales antes mencionadas. Cada una de las sales se agrega solo hasta que la anterior esté completamente disuelta.
3. Adición de agua hasta completar un volumen de 10 litros y agitación durante 10 minutos hasta disolver por completo las sales.

Solución B

- Sulfato de magnesio : 220 gramos
- Metalosato de hierro : 12 cc (equivalente a 4 gramos de quelato de hierro)
- Fetrilon Combi 1 : 12 gramos
- Ácido bórico (Borosil) : 1,2 gramos

Pasos:

1. Medición de 1 litro de agua y vertido en un recipiente plástico que luego se pueda tapar, preferiblemente opaco u oscuro
2. Adición, una por una, en el orden escrito anteriormente, de las sales nutricionales antes mencionadas. La siguiente hasta que la anterior se disuelva.
3. Adición de agua hasta completar un volumen de 2 litros y agitación durante 10 minutos hasta disolver por completo las sales.

Principales plagas y enfermedades



La experiencia en este sistema hidropónico, demostró que las hortalizas cultivadas están propensas, como la teoría lo indica, al ataque de plagas y enfermedades.

El manejo de estas radica principalmente en la introducción de plantas provenientes de un almácigo confiable en términos de sanidad, y la selección de variedades adecuadas al sitio de siembra, así como Buenas Prácticas Agrícolas. Entre estas prácticas se pueden citar la desinfección del sistema, de equipos y de las personas que ingresen y manipulen

alguna porción del sistema; el uso adecuado de las puertas de la cámara de ingreso al invernadero y el uso de mecanismos de control de plagas y enfermedades, si es que estas se presentan, sea mediante productos de desinfección como el cloro o el peróxido de hidrógeno, o de productos biológicos o agroquímicos en las dosis indicadas por el proveedor o un técnico. Algunos de ellos pueden ser aplicados foliarmente, como los agroquímicos o agrobiológicos, y otros a la solución nutritiva, como el cloro y algunos agroquímicos, aunque no todos en el mercado nacional tienen expresadas las dosificaciones para los sistemas recirculantes a la fecha. También es importante propiciar una buena nutrición de las plantas, y manejar la temperatura y oxigenación de la solución nutritiva, así como la temperatura y humedad ambiental relativa, pues algunas de esas condiciones pueden favorecer el desarrollo de patógenos o bien, desencadenar afecciones fisiológicas en el cultivo.

En general, en las hortalizas de hoja, según su variedad, las principales plagas que se presentan son los áfidos y los insectos cortadores usualmente en estado larval, y enfermedades producidas por bacterias como la *Erwinia* sp., y hongos como el *Fusarium* sp. y el *Alternaria* sp.

Igualmente, cuando existe un desbalance nutricional, además de ocasionar una mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades, pueden observarse fisiopatías propias de la deficiencia de nutrientes o de la toxicidad de estos.



Figura 6. Lechuga afectada por hongos. Fuente: Gómez & Sáenz, 2013



Figura 7. Lechuga con un cortador en sus hojas (Spodoptera sp.)
Fuente: Gómez & Sáenz, 2013



Figura 8. Lechuga con signos de marchitez y raíces oscurecidas por afección a causa del hongo *Fusarium* sp. Fuente: Gómez & Sáenz, 2013

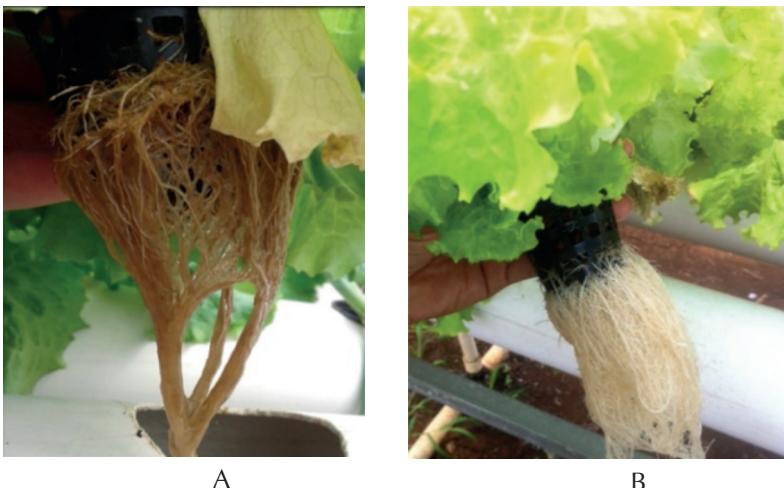


Figura 9. Sistemas radiculares de lechuga:
A) Raíces oscurecidas, afectadas por hongo
B) Sistema radicular sano *Fusarium* sp.,
Fuente: Gómez & Sáenz, 2013 y las autoras 2014

Proceso productivo



Para asegurar el éxito de las siembras, es vital seguir las recomendaciones de lavado y desinfección del sistema, adquisición y preparación del almácigo antes del trasplante, monitoreo de variables y cosecha. Además, es vital verificar en todo momento que no existen fugas de agua o solución nutritiva en el sistema, para que esto no genere succión de aire ni recalentamiento de la bomba eléctrica. Se describen las labores requeridas a continuación.

Limpieza del sistema de hidroponía

Este proceso puede iniciarse algunos días antes de la siembra del producto, e incluye las siguientes tareas:

1. Lavado exhaustivo de los tubos con jabón y agua. Pueden pasarse esponjas o cepillos por la superficie, de un extremo a otro de cada uno de los tubos. Esta acción se repite varias veces, con el fin de eliminar cualquier tipo de contaminación del sistema. Posteriormente se debe lavar el interior de los tubos preferiblemente con una hidrolavadora o a presión, así como el tanque donde se verterá la solución nutritiva.
2. Llenado del tanque con agua limpia a un 50 % de su capacidad como máximo, para la desinfección con peróxido de hidrógeno al 3 % y activación de la circulación por el sistema. Se incluye el ajuste del *timer* con el fin de hacer circular esta solución por 30 minutos y reposar también por 30 minutos. Esta parte concluye con la eliminación de la solución de los tubos y el tanque, esto para evitar el gasto de electricidad excesivo, aunque se puede dejar en circulación continua por varias horas.
3. Llenado del tanque con agua limpia a un 50 % de su capacidad como máximo y activación de la circulación del sistema para su desinfección con cloro 5 %; ajuste del timer con el fin de hacer circular la solución para desinfección por 30 minutos y reposar por 30 minutos también.
4. Liberación de los fluidos de la desinfección con una hidrolavadora o sistema a presión. Llenado del tanque a la capacidad de siembra; de esta manera, el tanque está listo para el trasplante.

- Nota: hoy hay disponibles en el mercado otros productos de desinfección a base de cloro, amonio cuaternario y más. Lo importante es asegurarse de que la solución desinfectante circule internamente por el sistema y pueda ser eliminada posteriormente. También se debe recordar que existen productos de este tipo que actúan por contacto, así que la eliminación de materia orgánica y el lavado previo son vitales para la efectividad de su acción desinfectante.

Compra de almácigo

El almácigo se debe adquirir de un establecimiento que cumpla las normas sanitarias y de producción básicas para evitar problemas de patógenos en el sistema, una vez seleccionadas las variedades de cultivos por sembrar. Los almácigos se transportan cuidadosamente para evitar ocasionar daños en las plántulas y a horas frescas para prevenir su deshidratación y el estrés por calor.

Trasplante

- Se recomienda iniciar por una inmersión de las raíces de las plantas en una solución de peróxido de hidrógeno al 0,5 % por 1 minuto, para su desinfección. En estos casos se han trasplantado las plántulas junto con adobe, aunque en algunas prácticas se trasplanta la raíz desnuda; sin embargo, esas prácticas no han sido exitosas, particularmente en el CPDIA, dadas las condiciones sanitarias y ambientales con que se ha contado.
- Enseguida, se deben introducir la piedra volcánica que servirá como sustrato para la planta (si es que se usa este sustrato también) y las canastillas, por 5 minutos para su desinfección en una solución de peróxido de hidrógeno al 1 % o al 3 %.
- Continúa el proceso con la colocación de cada planta junto con unidades de piedra volcánica en las canastas destinadas para la siembra.
- Se activa el sistema NFT con tiempos alternos de circulación de agua de 15 minutos (encendido) y de cese de la circulación de 45 minutos (apagado), por 24 horas.
- Al cumplirse las 24 horas de activación, se incorporan las soluciones nutritivas en estas proporciones: 2,5 cc de la solución A / litro de agua y 1 cc de la solución B / litro de agua, hasta

ajustar el sistema a una lectura de conductividad de 1,2mS/cm³ como máximo.

6. Luego deben ajustarse los tiempos de recirculación a 30 minutos encendido y 30 minutos apagado hasta que la conductividad sea homogénea. Posteriormente, según la temperatura ambiental y del sistema de circulación, podrá reducirse el tiempo de circulación en encendido, lo cual ahorrará electricidad; sin embargo, si la temperatura del agua de recirculación es más elevada de lo recomendado, se sugiere aumentar los tiempos de circulación para mejorar la oxigenación de las raíces y favorecer la disipación de calor del medio. En el CPDIA se han manejado tiempos de 15 minutos encendido y 1 hora apagado.

Seguimiento y control del cultivo

Entrada al invernadero

Según las Buenas Prácticas Agrícolas, toda persona en contacto con el cultivo debe portar ropa limpia. Para el ingreso al invernadero, la persona autorizada debe entrar a la cámara de ingreso por la puerta 1; una vez adentro, la puerta 1 se cierra automáticamente y la persona se desinfecta las manos y los zapatos con una solución de peróxido de hidrógeno, alcohol en gel, yodo u otro producto disponible en el mercado, como Vanodine®. Posteriormente, procede a abrir la puerta 2, ingresa al invernadero y cierra la puerta. Es importante llevar ropa limpia y no haber estado en contacto con otros cultivos para evitar introducir huevecillos, larvas o esporas de hongos, así como restos de otras plantas que traigan consigo posibles patógenos.

Labores de control y monitoreo

Los primeros días de cada semana (lunes por ejemplo) durante todo el proceso productivo, se puede dar la adición de cloro al 0,05% al sistema de circulación para una desinfección preventiva. Deben considerarse para este fin el estado sanitario de las plantas y las prácticas efectuadas en el sistema, la fuente de agua y la procedencia del almácigo, así como la molécula de cloro usada, pues puede tender a precipitar y afectar el pH de la solución.

Diariamente se realiza un monitoreo del sistema, anotando humedad relativa (%), temperatura (°C) y concentración de CO₂ (ppm), así como temperatura (°C), conductividad (mS/cm³) y acidez (pH) de la solución nutritiva recirculante, y se procede a la corrección de estos factores en caso de ser necesario.

Algunos ejemplos de corrección se comentan acá:

- Temperatura. Esta no debe sobrepasar preferiblemente los 20 °C en el sistema recirculante ni los 30 °C en el ambiente protegido. Agregar coberturas de sarán, colocar aislantes térmicos al reservorio de agua, mejorar la aireación de la infraestructura con ventilas o monitores y aumentar los tiempos de circulación del sistema favorecerán la disminución de la temperatura.
- Conductividad. Idealmente debe oscilar entre los 0,8 mS/cm³ y los 1,5 mS/cm³ en las primeras dos semanas de vida de las plantas, y no sobrepasar los 1,8 mS/cm³ al final del ciclo según la experiencia en el CPDIA. Si esta es menor de lo recomendado se sugiere agregar más solución nutritiva de manera gradual y permitir la homogenización de la solución para volver a monitorear. Si la conductividad está por encima del rango recomendado, se deberá agregar agua para disolverla.
- Acidez. Esta deberá tender a la neutralidad (pH de 6 ó 7). En caso de ser menor, se recomienda revisar la solución nutritiva y valorar la adición de un regulador de pH o buffer, básico si es el caso. Si es mayor de 7 se recomienda acidificar. Una forma simple de hacerlo puede ser agregando unas pocas gotas de jugo de limón; luego se espera hasta que recircule la solución y una vez homogenizada se realiza otro monitoreo.
- Presencia de plagas y enfermedades. Se pueden hacer algunas aplicaciones foliares en caso de que la barrera física del invernadero haya sido vulnerada, empleando productos biológicos (ISK® para mosca blanca; Chilagro®, como repelente; *Trichoderma*, *Beauveria* o *Metarrizium* de acuerdo a su acción antagónica contra plagas y enfermedades, según corresponda). También se pueden aplicar fungicidas al medio circulante, aunque no existe amplia disponibilidad de productos para NFT con un fin fungicida. En el CPDIA se tuvo la experiencia con dosis de *drench*, pero se requiere más investigación. También se puede aplicar el producto Kilol® para prevenir la acción de bacterias principalmente.
- La observación del sistema en general y del estado físico de las plantas se debe realizar a diario también, y en el caso de encontrarse alguna lesión aparente, se procede a retirar la planta del sistema preferiblemente, para prevenir la contaminación de todo el lugar, o se procede con aplicaciones de productos pertinentes.

Cosecha

La cosecha de la lechuga se realiza a los cuarenta y nueve días o siete semanas después de que esta fue trasplantada, o bien tomando como indicador el tamaño, según la experiencia y los requisitos del mercado. Las actividades incluyen las siguientes:

1. Retiro de plantas del sistema y colocación en cajones plásticos limpios. Evitar colocar más de dos capas de lechugas, para no ocasionar daños en las hojas.
2. Traslado a un espacio cómodo, resguardado del sol y limpio, para realizar las siguientes labores: retiro de la canastilla y la piedra volcánica donde se encuentra sostenida la lechuga. Las canastillas y la piedra se pueden limpiar, desinfectar y reutilizar en otra siembra.
3. Registro de datos productivos para poder llevar el control del producto y los resultados del proceso de cultivo, que incluye aspectos como cantidad, peso, diámetro y presencia de plagas o enfermedades.

A continuación se muestran algunas imágenes de las labores realizadas luego de la cosecha. Según el mercado, usualmente se acostumbra a eliminar la raíz; si esto se hace es importante cortar la raíz sin eliminar hojas sanas y dejar escurrir el latex para evitar manchas o daños en las hojas. En otros casos, existen clientes que prefieren que se deje la raíz como evidencia de que se trata de un producto hidropónico.



Figura 10. Caja plástica para recolectar lechugas listas para cosechar



Figura 11. Medición del diámetro y pesaje de las plantas cosechadas, en un lugar fresco y limpio



Figura 12. Corte de raíz y escurrido del latex del tallo para evitar daños en las hojas

Una vez anotados los datos anteriores para un posterior análisis, el producto deberá acondicionarse según las indicaciones del cliente y el proceso de comercialización que se seguirá, que pueden incluir la realización de operaciones como lavado, escurrido, empacado y almacenamiento. Este último, según la variedad de la hortaliza, se acostumbra que sea a temperaturas entre 0 °C y 5 °C con humedades relativas entre el 95 % y el 98 % (UC Davis Postharvest Technology Center, 2014).

La importancia de estas labores radica en que todos los datos arrojados son los que indican el rendimiento de producción del sistema y permiten determinar su eficiencia, y si se está cumpliendo con las características que el mercado pide (Brenes, 2010).

Trabajos citados



- Barbado, J. (2005). *Hidroponía*. Obtenido de <http://books.google.co.cr/s?id=aa4A0GakMRsC&printsec=frontcover&dq=hidroponia&hl=es&ei=abJwT7axBoyTtwew1uicBg&sa=>
- Brenes, L. (2010). *Análisis multicriterio de sistemas de producción de lechuga*. Curso Tópicos Avanzados de Gerencia y Gestión Ambiental, Maestría en Gerencia y Gestión Ambiental. Costa Rica: Centro Interamericano de Posgrados.
- Gómez, F. & Sáenz, Á. (2013). *Informe de labores de asistencia en proyecto TEC-VIE: Sistema de producción de hortalizas hidropónicas tipo NFT*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- González, R. (2008). Hidroponía en NFT. Obtenido de *Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos*: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP2\(10\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP2(10).pdf)
- Jiménez-Morales, M. & Brenes-Peralta, L. (2014). Experiencia de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT. *Tecnología en Marcha* vol. 27, 56-64.
- UC Davis Postharvest Technology Center (20 de enero de 2014). *Indicadores básicos: recomendaciones para mantener la calidad postcosecha*. Obtenido de <http://postharvest.ucdavis.edu/indicadoresbasicos/>

