

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/277012808>

La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")

Research · May 2015

CITATIONS

22

READS

3,299

2 authors:



Gilda Carrasco

Universidad de Talca

76 PUBLICATIONS 891 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Juan Izquierdo

SEDRA y Academia Chilena de Ciencias Agronómicas

133 PUBLICATIONS 686 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Nutritive efficiencies in horticultural crops [View project](#)



Development and implementation of a vertical agriculture module through testing and low-cost technological integration for continuous horticultural production [View project](#)

La información, denominaciones y puntos de vista que aparecen en este libro no constituyen la expresión de ningún tipo de opinión de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), con respecto a la situación legal de cualquier país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, o en lo concerniente a la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas específicas, marcas de productos o ciertas compañías manufactureras, no implica que ellas estén siendo recomendadas por la FAO, por sobre otras de la misma naturaleza y características, que no aparezcan indicadas en el texto.

La Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe autoriza la reproducción fiel del contenido total o parcial de este libro, siempre que se haga sin fines comerciales y se mencione la fuente del documento. Se agradecerá enviar a esta Oficina Regional un ejemplar del material reproducido.

Registro de Propiedad Intelectual N° 95. 473

ISBN: 956 - 7059 - 16 - 0

Editorial Universidad de Talca

Talca, Febrero de 1996

Diseño Gráfico
Marcela Albornoz Dachelet

Revisión de Textos
María Cecilia Tapia Castro

Fotografías
Gilda Carrasco Silva

Dibujos
Pabla Rebolledo González

Impreso en Chile
Impresora Gutenberg - Talca

Fotografía portada: Estación Experimental Panguilemo, Universidad de Talca, Chile

**ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN**

UNIVERSIDAD DE TALCA

MANUAL TECNICO

**LA EMPRESA HIDROPONICA DE MEDIANA ESCALA:
LA TECNICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA
RECIRCULANTE ("NFT")**

**Gilda Carrasco, Ph. D.
Profesor, Escuela de Agronomía
Universidad de Talca, Chile**

**Juan Izquierdo, Ph. D.
Oficial Regional de Producción Vegetal
Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe**

**OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE
1996**

INDICE

PROLOGO	10
NOTA DE LOS AUTORES	11
CAPITULO 1	12
INTRODUCCION	12
CAPITULO 2	13
LA TECNICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE	13
ANTECEDENTES	13
COMPONENTES Y MATERIALES DEL SISTEMA "NFT"	14
Estanque colector	14
Canales de cultivo	18
Bomba	22
Red de distribución	24
Tubería colectora	24
REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA "NFT"	26
Altura de la lámina de la solución nutritiva	26
Flujo de la solución nutritiva	27
Oxigenación de la solución nutritiva	28
Pendiente	29
Longitud de los canales de cultivo	29
Localización del sistema "NFT"	30
CAPITULO 3	31
SOLUCION NUTRITIVA: FORMULACION Y MANEJO	31
ELECCION DE LAS SALES MINERALES SOLUBLES	32
Fuentes de nitrógeno (N)	32
Relación Potasio (K)/Nitrógeno (N)	32
Hierro (Fe)	33
FORMULACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA	33
Tipos y elección de formulaciones nutritivas	34
Preparación de soluciones nutritivas concentradas	34
Análisis químico del agua y corrección de la formulación	35
MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA	37
Conductividad eléctrica	37
pH	37
PREPARACION Y MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE	38
Control diario de la solución nutritiva	39
Duración y renovación de la solución nutritiva	39

Intermitencia del flujo de la solución	40	
CAPITULO 4	41	
ESPECIES HORTICOLAS: ALMACIGO Y ESTABLECIMIENTO	41	
ELECCION DE LA ESPECIE Y EL CULTIVAR	41	
ASPECTOS GENERALES DE LA PRODUCCION DE ALMACIGOS	42	
Almácigo de hortalizas de hoja	43	
Almácigo de hortalizas de fruto	44	
Riego y nutrición de la almaciguera	45	
Momento del trasplante	45	
ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO EN EL SISTEMA "NFT"	45	
MANEJO DE CULTIVOS EN EL SISTEMA "NFT"		47
LECHUGA	47	
Tipos y cultivares	47	
Estacionalidad de cultivo	49	
Observaciones de la especie	49	
TOMATE	50	
Tipos y cultivares	51	
PEPINO	52	
Cultivares	52	
Observaciones de la especie	52	
MELON	53	
Tipos y cultivares	53	
ALBAHACA	55	
CAPITULO 5	56	
UTILIDAD ECONOMICA DEL SISTEMA "NFT"		56
COSTOS DE INVERSION	56	
Otros costos de inversión	56	
Capital de trabajo	57	
Depreciación	57	
COSTOS OPERACIONALES	58	
INGRESOS POR VENTAS	59	
COSTO TOTAL	59	
UTILIDAD	59	
INDICE DE RENTABILIDAD	59	

BIBLIOGRAFIA

60

INDICE DE FIGURAS

1. Sistema de recirculación continua y sus elementos constituyentes: 1. estanque colector; 2. canales de cultivo; 3. bomba; 4. red de distribución y 5. tubería colectora	15
2. Canal confeccionado con polietileno para cultivos altos, por ejemplo para tomate	18
3. Tubería colectora abierta	25
4. Tubería colectora cerrada	25
5. a) Pendiente longitudinal y b) pendiente transversal en el sistema de recirculación continua	29

INDICE DE FOTOGRAFIAS

1. Estanque colector de plástico cubierto con polietileno coextrusado	15
2. Estanque colector de PVC	15
3. Estanque colector de fibra de vidrio	16
4. Estanque colector con tapa	16
5. Canal de baja altura, de sección rectangular	19
6. Canal de cultivo de asbesto, de tipo ondulado	19
7. Cubierta de poliestireno expandido individual para canal de tipo ondulado	20
8. Cubierta de poliestireno expandido para varios canales de cultivo	20
9. Canales de cultivo de PVC de sección semicircular (tomate, pepino, pimentón, melón, etc.)	21
10. Canal conformado por polietileno coextrusado, especialmente utilizado para cultivos altos, como por ejemplo: pepino	21
11. Bomba impulsora no sumergible instalada con el estanque colector	23
12. Bomba no sumergible con tubo de descarga de PVC	23
13. Tubería de distribución de la solución nutritiva	25
14. Tubería de retorno de la solución nutritiva y acumulación de raíces en la salida del canal	26
15. Lámina fina de solución nutritiva que permite la exposición de la mayor parte de las raíces	27

16. Lámina de solución nutritiva y raíces desarrolladas en un canal de sección rectangular	27	
17. "Colchón de raíces" de <i>Tagetes erecta</i>	28	
18. Turbulencia originada al retomar la solución al estanque colector		28
19. Técnica de la solución nutritiva recirculante al aire libre (Campo demostrativo hortícola de la Universidad Ain Sham, El Cairo, Egipto)	30	
20. Técnica de la solución nutritiva recirculante bajo invernadero (Estación Experimental Panguilemo, Universidad de Talca, Talca, Chile)	30	
21. Estanques contenedores de soluciones concentradas y de solución ácida para la Solución Cooper	35	
22. Medidores portátiles de pH (a la izquierda de la fotografía) y conductividad eléctrica (a la derecha)	38	
23. Programador de detención de circulación de solución nutritiva	40	
24. Almaciguera en túnel	42	
25. Plantas de almácigo en sustrato, sembradas en líneas	43	
26. Cubo de poliuretano de baja densidad para almácigo de lechuga		44
27. Plantas de lechuga del cultivar "Parker", con dos hojas verdaderas creciendo en cubos de poliuretano	44	
28. Cubo de poliuretano de baja densidad para tomate	46	
29. Planta de lechuga con 5 hojas verdaderas, óptimo estado de desarrollo para el trasplante	46	
30. Lechuga tipo mantecosa, cultivar "Española"	48	
31. Lechuga tipo mantecosa, cultivar "Divina"	48	
32. Lechuga tipo mantecosa, cultivar "Sierra"	49	
33. Lechuga tipo hoja suelta, cultivar "Parker"	49	
34. Cultivo de tomate "cherry" en el sistema "NFT"	52	
35. Cultivo de melón en el sistema "NFT"	54	

INDICE DE CUADROS

1. Cálculo de la capacidad del estanque según la especie cultivada	17
2. Elementos minerales esenciales para las plantas	31

3. Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía	32
4. Rangos de concentración de elementos minerales esenciales según diversos autores	33
5. Ajuste de una formulación de solución nutritiva en base a un análisis químico de agua	36
6. Corrección de la Solución Wye según cálculos en Cuadro 5	36
7. Ficha del cultivo de lechuga en el sistema "NFT"	50
8. Ficha del cultivo de tomate en el sistema "NFT"	51
9. Ficha del cultivo de pepino en el sistema "NFT"	53
10. Ficha del cultivo de melón en el sistema "NFT"	54
11. Ficha del cultivo de albahaca en el sistema "NFT"	55
12. Costos de inversión	57
13. Depreciación del equipo	58
14. Costos operacionales para una cosecha de lechugas en la unidad "NFT"	58

PROLOGO

Entre los mandatos más sustantivos recibidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el desarrollo y la transferencia de tecnología apropiada adquieren, a la luz de los actuales desafíos de mega-urbanización, pobreza urbana y limitaciones alimentarias, una especial significación.

En el contexto anterior, conceder una atención prioritaria a la agricultura periurbana y al suministro y distribución de alimentos en los núcleos urbanos para hacer frente al proceso de urbanización acelerada, es parte de las líneas generales del programa de mediano plazo de la FAO. Dicha acción requiere de mecanismos de adopción y puesta en marcha de procesos productivos hortícolas orientados al mercado.

La hidroponía a escala popular, esfuerzo auspiciado por la FAO a nivel regional desde 1992, ha sido demostrada como una herramienta útil en la lucha contra la pobreza. Sin embargo, intentar un enfoque de nivel empresarial de mediana escala requiere un sistema tecnológico acorde. Dentro de este contexto, se destacan los resultados promisorios obtenidos desde 1993 por el programa de investigación en cultivos hortícolas de la Escuela de Agronomía de la Universidad de Talca en Chile.

El presente manual preparado como un aporte a los productores suburbanos y rurales intenta dar un paso adelante en la tecnología básica de producción hidropónica de hortalizas a nivel popular, propuesta en la publicación de la FAO y el PNUD, **La huerta hidropónica popular**, publicada en 1993 por la **Oficina Regional** de la FAO.

El manual **La empresa hidropónica a mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")** intenta entregar una nueva contribución al desarrollo de empresas de pequeña y mediana escala de producción hortícola, a través de una tecnología intermedia de amplia utilización en países desarrollados. Dicha tecnología apropiada a las condiciones prevalecientes de los países de América Latina y el Caribe es presentada a través de un documento de autoinstrucción apto para su difusión.

La hidroponía de mediana escala, en su nivel básico o tecnificado representa una opción complementaria para obtener diversos productos hortícolas de alta calidad y sanidad, apropiados para su comercialización a través de empresas flexibles y eficientes, dirigidas a la creciente demanda actual de hortalizas.

Alvaro Rojas Marín
Rector
Universidad de Talca

Severino de Melo Araujo
Subdirector General y
Representante Regional de FAO

NOTA DE LOS AUTORES

Preparar este manual ha sido un desafío. Su objetivo es promover que otros profesionales, personas interesadas e instituciones de los países de América Latina y el Caribe conozcan, adopten y especialmente transfieran la técnica de la solución nutritiva recirculante "NFT" en empresas de producción hidropónica de hortalizas.

El desafío es múltiple dado que, además, queremos vincular esta tecnología a un mercado creciente y exigente, abriendo oportunidades para la creación de empresas de mediana escala, operativas en el contexto de la problemática que afecta a las zonas periurbanas marginalizadas de nuestras ciudades.

Este desafío ha sido también valientemente aceptado por jóvenes estudiantes, técnicos y personas que, a través de un proceso en marcha y reciente, están colaborando dedicadamente con la investigación y la transferencia de esta tecnología en Chile.

Métodos y técnicas de agricultura urbana, orientadas a la superación de la pobreza y al desarrollo equitativo, requieren un especial esfuerzo de todos y para todos. Confiamos que con la ayuda brindada y recibida, hemos dado realmente un pequeño paso adelante.

Los autores

CAPITULO I

INTRODUCCION

La posibilidad de producir alimentos, especialmente hortalizas de alta calidad, reviste importancia en zonas altamente pobladas. Sin embargo, su factibilidad está limitada por el rápido crecimiento de la ciudad y de la industria utilizando la mayor parte de los suelos cercanos a los centros urbanos.

La reducción del espacio de suelo cultivable, la menor disponibilidad de agua saneada para el riego y el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de las hortalizas, especialmente las de consumo en fresco, han hecho que las técnicas hidropónicas de cultivo sean potencialmente atractivas.

Iniciativas anteriores promovidas por la FAO, han sido orientadas a la formación, en distintos países de América Latina y el Caribe, de monitores populares capacitados en la tecnología de la "huerta hidropónica popular" (Marulanda e Izquierdo, 1993), cuyo principal objetivo es satisfacer la demanda por hortalizas del núcleo familiar.

En tales condiciones, para abastecer en forma permanente al mercado, se requiere de otros sistemas de mayor nivel tecnológico como lo es el sistema de la solución nutritiva recirculante, "NFT"®. Este sistema posibilita cultivar un gran número de especies hortícolas, principalmente de hoja y fruto.

El sistema "NFT", desarrollado y utilizado por muchos países del hemisferio norte, ha requerido invertir en insumos de alto costo lo que limitó su aplicación en América Latina y el Caribe. Sin embargo, actualmente, es posible lograr implementar este sistema con materiales y equipos de menor precio, ya sea, a través de la utilización de madera, diferentes tipos de plástico (PVC, polietileno, poliuretano, poliestireno), caños y bombas de agua de costo reducido.

La ventaja del sistema "NFT", que destaca en relación a otros sistemas hidropónicos, es la alta calidad obtenida de diferentes productos hortícolas, en un corto periodo de cultivo como también de rendimiento. La constante oferta de agua y elementos minerales permite a las plantas crecer sin estrés y obtener el potencial productivo del cultivo. Además, es posible obtener precocidad lo que para algunos mercados locales conlleva un mejor precio.

CAPITULO 2

LA TECNICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE

ANTECEDENTES

El sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" -Nutrient Film Technique-, fue desarrollado en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. A diferencia del sistema propuesto para las huertas hidropónicas populares, las plantas se cultivan en ausencia de sustrato, por lo cual las plantas se encuentran suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte. Otra característica del sistema, es la necesidad de contar con una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva.

Su creador, el Dr. Allan Cooper, montó originalmente un sistema consistente de un complejo circuito de canales de concreto donde el flujo de la solución nutritiva se mantenía gracias al funcionamiento de dos bombas. Luego, este sistema fue simplificado al diseñarlo con una sola bomba impulsora, aunque persistió por largo tiempo la utilización de canales de cemento. Desde esa época, parte de la producción bajo invernadero fue reemplazada por la técnica "NFT" debido a la alta incidencia y costo del control de enfermedades de suelo. Países del norte de Europa, especialmente, han utilizado el sistema bajo invernadero para cultivar hortalizas de consumo en fresco y de alta calidad. Destaca la producción de lechugas con un alto número de rotaciones anuales y la de tomates, con un período extendido de producción que permite la obtención de muy altos rendimientos.

El sistema "NFT" está siendo implementado, en sus distintas formas, especialmente en zonas áridas de América Latina. Sin embargo esta técnica es posible expandirla también a productores o empresas de otras condiciones agroecológicas. Para ello es importante un conocimiento previo de las técnicas hidropónicas de carácter popular o periurbano y contar con un nivel de inversión mayor al requerido para éstas, con la finalidad de aumentar la capacidad de producción por unidad de superficie y de tiempo de cultivo. Su éxito en condiciones locales, se basa asimismo en la utilización y apropiación de materiales existentes en las cercanías y contar con personal idóneo en las técnicas de preparación y manejo de soluciones nutritivas, del sistema y del cultivo de la especie elegida.

Una de las ventajas que ofrece el sistema "NFT" es su mayor eficiencia en cuanto a la utilización de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, de agua y oxígeno. En contraste a los sistemas hidropónicos populares de sustrato sólido o a "raíz flotante", el "NFT" maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva que es constantemente renovada y por ende el crecimiento es acelerado siendo posible obtener en el año más ciclos de cultivo. Con la ausencia de sustrato se evitan las labores de desinfección de éste, así como se favorece el establecimiento de una alta densidad de plantación.

Entre las desventajas señaladas para el sistema "NFT" destaca la necesidad de una mayor inversión inicial, sin embargo, en la medida que ésta se realice con materiales de fácil acceso, el costo de implementación disminuirá, siendo una técnica competitiva con otras en sistemas de cultivo forzado.

Otro requerimiento que se destaca, es la necesidad de contar con personal adiestrado en nociones básicas de química para la preparación de soluciones nutritivas. A través de la transferencia tecnológica y capacitación es posible lograr un equipo preparado al respecto, y no sólo en soluciones nutritivas, sino también en el manejo de las bombas impulsoras y del cultivo.

La mayor adopción del sistema "NFT" radica no sólo en la posibilidad de reducir la inversión inicial y en poseer conocimientos técnicos, sino además de contar con un mercado que facilite la comercialización, valorando la alta calidad que caracteriza a los productos obtenidos por "NFT". Así, se hace imprescindible, antes de decidir su adopción, la necesidad de realizar un proyecto de inversión.

COMPONENTES Y MATERIALES DEL SISTEMA "NFT"

El sistema básico "NFT" (Figura 1) se constituye de cinco elementos iniciales:

- Estanque colector
- Canales de cultivo
- Bomba
- Red de distribución
- Tubería colectora.

A continuación se detallan las características más relevantes de cada elemento y los materiales factibles de utilizar para su implementación.

ESTANQUE COLECTOR

El estanque colector tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del período de cultivo. Existe una gran gama de tipos de contenedores que pueden utilizarse como estanques colectores de solución nutritiva (Fotografías 1, 2 y 3). Sin embargo, su elección debiera estar basada en el tipo de material, tamaño y aislación. Si se desconoce la reacción del material con la solución nutritiva, es necesario previamente realizar alguna prueba para evaluar la reacción química existente entre ambos. En otras palabras, es vital observar si ocurre algún tipo de corrosión del estanque y cambio de color de éste o la solución. Si así ocurriera, ese estanque no debiera utilizarse.

Si se cuenta con contenedores de metal o asbesto, se aconseja aislar su cara interior con una capa de pintura epóxica. La aislación interna de los estanques metálicos con una bolsa de polietileno de gran calibre no es relevante pues, aparte de ser una labor engorrosa, es insegura por la posibilidad de que el polietileno presente futuras roturas. Idealmente, los estanques colectores debieran ser de material PVC o de fibra de vidrio tratado para sustancias tóxicas. Estos últimos de mayor costo, representan un ahorro por su durabilidad. No es aconsejable localizarlos bajo el nivel de suelo donde exista una napa freática, por posibles levantamientos y ruptura de la instalación.

Actualmente, se ofrecen en el mercado estanques de segunda mano o desecho a reducido costo. Si éste es el caso, es aconsejable averiguar qué tipo de resina u otra sustancia ha sido almacenada en el estanque, pues es posible que su contenido original sea tóxico para las plantas, y a pesar de repetidos lavados, pudieran aún contener trazas de la sustancia inicial.

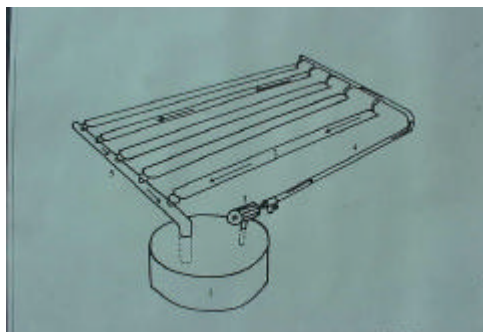


Figura 1: Sistema de recirculación continua y sus elementos constituyentes: 1) estanque colector; 2. canales de cultivo; 3. bomba; 4. red de distribución y 5. tubería colectora



Fotografía 1: Estanque colector de plástico cubierto con polietileno coextruido



Fotografía 2: Estanque colector de PVC



Fotografía 3: Estanque colector de fibra de vidrio



Fotografía 4: Estanque colector con tapa

La elección de un estanque colector no sólo está determinada por el material constituyente, sino también por su capacidad de almacenamiento de solución nutritiva. El volumen del estanque está en función directa del número de plantas, especies a cultivar y modalidad de corrección química de la solución nutritiva (sistema de corrección manual o automático). Los siguientes ejemplos clarifican este concepto.

En el caso del tomate, especie de gran desarrollo comparado a la lechuga, en pleno período productivo y en verano, consume un volumen aproximado de 2,5 litros por planta y por día, de solución nutritiva diluida (es decir, agua más solución concentrada).

Una planta de pepino en época de fructificación y desarrollo de frutos requiere aproximadamente 3 litros por planta al día, a diferencia de una planta de lechuga que consume alternativamente 0,3 litros de solución.

Por otra parte, no sólo es necesario dimensionar la capacidad del estanque en base al volumen requerido de solución según las necesidades fisiológicas de la planta en particular y la época del año, sino también en relación al volumen remanente en el estanque, el cual asegura que la bomba no deje de funcionar. En el Cuadro 1 se describe un ejemplo de cómo calcular la dimensión del estanque según la especie en cultivo. Para producir 1.200 lechugas en 50 m², el estanque debería contener al menos 450 litros de solución. Además, no se debe olvidar que al momento de elegir el tamaño del estanque se deberá contemplar si a futuro se trabajará con mayores superficies o con otra especie de mayor demanda hídrica.

Cuadro 1:
Cálculo de la capacidad del estanque según la especie cultivada

Especie	Volumen aproximado de solución consumida (l planta/día) ⁽¹⁾	Densidad de plantación (planta/m ²)	Capacidad aproximada del estanque ⁽²⁾ (l/m ²)
Lechuga	0,3	24	9
Tomate	2,5	5	16
Pepino	3,0	5	19

⁽¹⁾ Para una planta en su máximo estado de desarrollo

⁽²⁾ Este valor al multiplicarse por la superficie real de cultivo estima el tamaño del estanque. Se considera un 25 % más del volumen consumido como volumen remanente

En la medida que se cuente con un estanque de pequeña capacidad, el volumen de la solución disminuirá rápidamente por lo que las correcciones de la solución serán más frecuentes, incluso llegando a más de una corrección por día, lo que hace prácticamente al sistema inoperable. Por este motivo al contar con instrumentos manuales que controlan la solución nutritiva, se deberá optar por volúmenes de solución al menos que dupliquen los requerimientos diarios del cultivo.

A su vez, si se cuenta con un estanque colector de gran volumen, los cambios de temperatura de la solución nutritiva serán más graduales en relación a la temperatura ambiental. Este aspecto es de suma importancia en zonas donde se registran amplias fluctuaciones de temperaturas entre el día y la noche, especialmente en zonas con veranos calurosos y donde se cultive bajo invernadero. Al trabajar en ambiente de cultivo forzado y con este sistema hidropónico, sumado a la utilización de un estanque pequeño bajo estas condiciones, la temperatura de la solución puede alcanzar cifras muy altas dañando irreversiblemente las raíces, y por lo tanto al cultivo.

La aislación del estanque colector es otro elemento a considerar en el éxito de la conservación de la solución. El estanque colector debe permanecer cubierto para evitar el desarrollo de algas, las cuales consumen oxígeno de la solución, aumentan la degradación de compuestos químicos de ésta y favorecen su contaminación con restos orgánicos. Así, es vital que el estanque sea cubierto con una tapa de fácil remoción y que también posibilite el paso de la parte final del tubo colector hacia el interior del estanque (Fotografía 4). Si se considera la compra de algún estanque sin cubierta, es aconsejable fabricar una tapa con polietileno coextrusado, con la cara interna de color negro, y la externa -de color blanco opaco- que evite el calentamiento de la solución.

CANALES DE CULTIVO

El sistema "NFT" se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, o sea, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas. Así, al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas.

La segunda función de los canales y de igual importancia a la anterior, es permitir que la solución nutritiva pase en forma expedita a través de ellos. Así, es recomendable utilizar canales de sección rectangular, ya que ésta permite mantener la fina lámina de solución circulante en la sección transversal a lo largo del canal. También se requiere que la superficie de los canales sea lisa para facilitar el rápido desplazamiento de la solución a través del canal de cultivo.

Existen diferentes tipos de canales de cultivo de acuerdo a la especie a cultivar. Si se cultiva alguna de pequeño tamaño -lechuga por ejemplo-, se aconseja utilizar un canal de baja altura (Fotografías 5 y 6) que permita la sujeción de la planta y su contenedor (cubo de espuma por ejemplo). Este se recubre con algún material aislante, de bajo costo y fácil reposición, como lo es el poliestireno expandido ya sea para cubrir un canal individual (Fotografía 7) o varios, a través del uso de una lámina del mismo material (Fotografía 8).

En el caso de un cultivo de crecimiento alto como lo es el tomate, se requiere la implementación de canales (Fotografía 9) que permitan mantener tanto a las plantas de mayor desarrollo aéreo y radical, como también a sus contenedores. Generalmente se trabaja con mangas abiertas de polietileno coextrusado formando un canal sostenido (Figura 2). Este tipo de material **permite** su reutilización, limpiándolos antes de establecer el siguiente cultivo. Son recomendables, estos canales, para especies como tomate, pimentón, berenjena, melón, pepino y zapallito italiano (Fotografía 10).

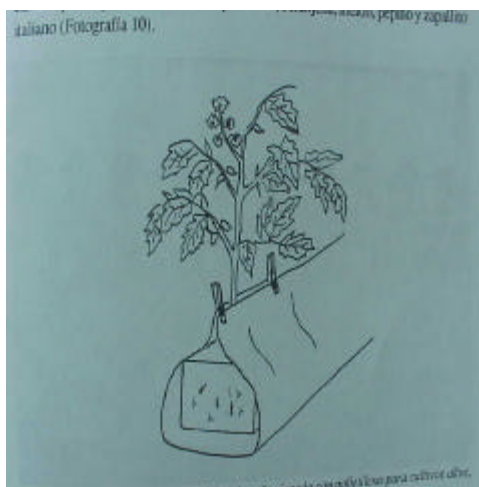


Figura 2: Canal confeccionado con polietileno para cultivos altos, por ejemplo para tomate



Fotografía 5: Canal de baja altura, de sección rectangular



Fotografía 6: Canal de cultivo de asbesto, de tipo ondulado



Fotografía 7: Cubierta de poliestireno expandido individual para canal de tipo ondulado



Fotografía 8: Cubierta de poliestireno expandido para varios canales de cultivo



Fotografía 9: Canales de cultivo en PVC de sección semicircular (tomate, pepino, pimentón, melón, etc.)



Fotografía 10: Canal conformado por polietileno coextrusado, especialmente utilizado para cultivos altos, como por ejemplo: pepino

BOMBA

Corresponde a uno de los componentes claves del sistema, el cual requiere una preocupación especial no sólo en cuanto a su elección, sino también a su operación. Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el estanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo. Por ello, dependiendo de la magnitud del módulo de producción y grado de supervisión debieran considerarse dispositivos de alarma que indiquen una interrupción no deseada. Una detención prolongada puede traer serios inconvenientes que inclusive causarían la pérdida total de la producción.

Dentro de la gran variedad de tipos de bombas y características de funcionamiento (Fotografías 11 y 12), destacan las de accionamiento eléctrico de operación sumergida o no sumergida. Aun cuando las primeras son de operación más silenciosa y requieren menor cantidad de energía eléctrica para su puesta en marcha, su costo es varias veces superior a las del segundo tipo por la calidad del blindaje que necesitan para evitar la entrada de líquido, en este caso solución nutritiva, al sistema eléctrico del motor.

Entre las de operación no sumergida, destacan por su menor costo las de tipo centrífugo, unicelular, de eje horizontal, accionadas por un motor eléctrico monofásico o trifásico, montadas en un solo cuerpo.

La necesidad del "cebado", es decir, mantener la tubería de succión y cámara de la bomba completamente llena de líquido, y el requerimiento de mayor cantidad de accesorios para su instalación, no resultan ser inconvenientes de importancia para constituirse en una buena alternativa para el sistema "NFT".

La elección de una bomba adecuada a las reales necesidades del módulo productivo, es de particular importancia no sólo por la inversión inicial, sino especialmente por los gastos posteriores de operación y mantenimiento, gravitantes dentro de los costos de producción.

Para la selección de la bomba deben considerarse los siguientes aspectos:

- a) Solidez y calidad de los componentes del motor y bomba. Con la utilización de una bomba sólida y constituida por elementos de buena calidad se permitirá resistir una gran cantidad de horas de funcionamiento, como lo son las requeridas para cualquier especie que se establece en el sistema "NFT".
- b) Resistencia de la bomba a la acción corrosiva de la solución nutritiva a través del tiempo. Si la bomba no es resistente a la corrosión, la vida útil de ésta disminuirá rápidamente, por lo cual se deberán reponer frecuentemente los elementos deteriorados para mantener su operación.
- c) Caudal de operación en relación a la altura manométrica requerida y eficiencia. Dado que en general existe una escasa diferencia de altura entre el nivel mínimo de solución nutritiva dentro del estanque y el punto más alto de los canales de cultivo, la bomba deberá ser capaz de impulsar eficientemente (a baja altura manométrica) un caudal máximo equivalente al producto del caudal que se maneja para cada canal de cultivo (2-3 litros por minuto) por el número de canales de cultivo. Este valor debe aumentarse en un 20% como margen de seguridad frente a mayores demandas de alguna especie que se cultive eventualmente en el sistema.

Es importante considerar las futuras ampliaciones del módulo productivo, de manera de evaluar el tamaño más conveniente. Ello puede considerarse, desde un comienzo, la adquisición de una bomba de mayor tamaño, con los consiguientes costos de operación, o simplemente contar posteriormente con otra unidad acorde al incremento de la superficie productiva.

La bomba debe localizarse en forma próxima al estanque colector, sobre una base firme para evitar movimientos y vibraciones. Al mismo tiempo, deberá tenerse especial preocupación de no hacer funcionar la bomba en seco y adoptar las protecciones termoelectricas necesarias que eviten la pérdida total de la bomba frente a eventuales fallas en el sistema.

Por lo general, la bomba es instalada al nivel superior del estanque colector siendo necesario que la tubería de succión cuente con una válvula de retención para mantener el sistema de succión "cebado" frente a detenciones voluntarias o involuntarias como podría ser una caída de la energía en el sector.

Finalmente, es necesario que su funcionamiento sea observado periódicamente, no sólo en términos del flujo que se está entregando tanto en la parte alta, como en la más baja de los canales de cultivo, sino además, en términos de ruidos o vibraciones que puedan detectarse, lo cual sería indicativo de un funcionamiento defectuoso que requeriría una reparación.



Fotografía 11: Bomba impulsora no sumergible instalada con el estanque colector



Fotografía 12: Bomba no sumergible con tubo de descarga de PVC

RED DE DISTRIBUCION

La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo. En la actualidad se utiliza este tipo de materiales que han desplazado los de aleación metálica, ya que éstos interactúan con los elementos minerales que componen la solución nutritiva. En relación a su dimensión, depende del volumen a transportar a través del sistema, sin embargo como el flujo requerido no supera los 2 a 3 litros por minuto, normalmente el diámetro de las tuberías es de 1 pulgada.

Si se trabaja con sistemas de cultivo de pequeña superficie (menor a 100 m²) no es necesario utilizar tuberías de PVC, y con sólo ocupar mangueras de jardín, de diámetro interno de 1 a 2 cm, sería suficiente para distribuir la solución nutritiva hacia los canales de cultivo (Fotografía 13). Para superficies mayores, donde los canales de cultivo son de gran longitud, y por lo tanto, el volumen de solución circulante es superior, es recomendable la utilización de tuberías de PVC.

TUBERIA COLECTORA

La tubería colectora recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el estanque (Fotografía 14). La localización de esta tubería se ubica frente y en un nivel más bajo que la altura inferior de los canales, de esta forma la solución nutritiva desciende por gravedad, oxigenándose. Además, esta tubería se encuentra en pendiente descendente hacia el estanque colector. Al final de ésta, se requiere colocar un codo de PVC recubierto con material aislante (polietileno) para facilitar su caída.

Los materiales preferentemente utilizados son aquellos que no reaccionan con alguno de los elementos minerales disueltos en la solución nutritiva. Así, actualmente se usan tuberías de PVC, o también es posible acondicionar alguna canaleta abierta de madera u otro material, recubierto con plástico para su aislación.

De la superficie de cultivo y las temperaturas máximas obtenidas dependerá la utilización del tipo de tubería colectora: abierta (Figura 3) -recomendable para pequeñas superficies, bajo un régimen de temperaturas moderadas-, para así evitar cualquier taponamiento producto de las raíces que desembocan en los canales de cultivo. Se recomienda cubrirla con algún polietileno opaco (de preferencia color blanco), para evitar la contaminación de la solución nutritiva y su evaporación.

Se utiliza una tubería colectora cerrada (Figura 4) cuando se cuenta con superficies mayores y en ambientes cálidos, prefiriéndose la inclusión de aberturas individuales frente a cada canal para así recibir la solución nutritiva. El diámetro de esta tubería debería ser igual o mayor al ancho del canal de cultivo, ya que la acumulación de raíces de las plantas del borde podría taponearla (Fotografía 14).

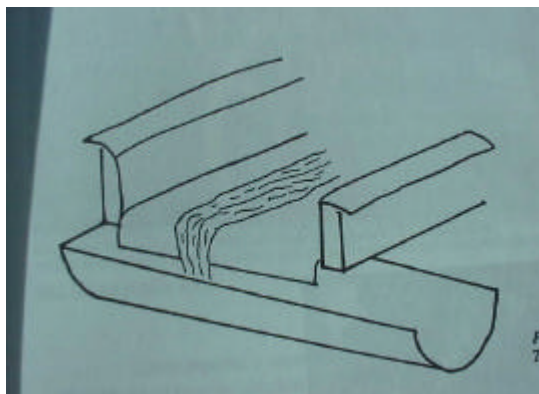


Figura 3: Tubería colectora abierta

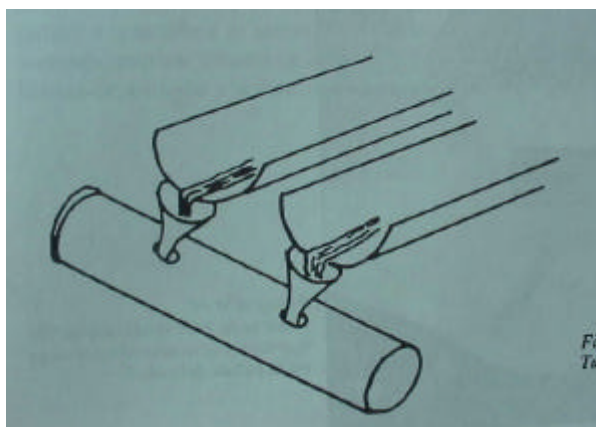


Figura 4: Tubería colectora cerrada



Fotografía 13: Tubería de distribución de la solución nutritiva



Fotografía 14: Tubería de retorno de la solución nutritiva y acumulación de raíces en la salida del canal

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA "NFT"

Para la obtención de una producción comercial exitosa, es necesario conocer los requerimientos de este sistema hidropónico los cuales se describen a continuación.

ALTURA DE LA LÁMINA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

El sistema "NFT" consiste en recircular en forma permanente una lámina fina de solución nutritiva que permita la oxigenación de las raíces y el aporte de agua y sales nutritivas durante todo el período de cultivo. Idealmente, esta lámina no debería alcanzar una altura superior a los 4 a 5 mm, para favorecer así la aireación de la solución y por ende la oxigenación de las raíces. Con esta lámina delgada de solución nutritiva las raíces no se asfixian, al no encontrarse enteramente sumergidas (Fotografía 15).

Otro aspecto a considerar para asegurar la escasa altura de la lámina de solución, es el tipo de sección del canal de cultivo a utilizar. Los canales con sección cóncava, obtenidos generalmente al cortar en forma longitudinal tubería de PVC, o las de tipo ondulado (planchas de asbesto), dificultan tanto el logro de una lámina fina circulante en el sistema, como también la obtención de un sistema radical expandido a lo ancho del canal de cultivo. De preferencia, entonces, se aconseja emplear canales de sección rectangular que faciliten la obtención de la lámina de solución y la distribución transversal de las raíces (Fotografía 16).



Fotografía 15: Lámina fina de solución nutritiva que permite la exposición de la mayor parte de las raíces



Fotografía 16: Lámina de solución nutritiva y raíces desarrolladas en un canal de sección rectangular

FLUJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA

Para el logro y mantención de la lámina de solución nutritiva recirculante, es recomendable ajustar su flujo en aproximadamente 2 litros por minuto. Este caudal permite que las raíces de las plantas posean una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes. Sin embargo, a través del período de crecimiento del cultivo, el flujo de la solución puede aumentarse, para favorecer el contacto íntimo de la solución con las raíces, ya que éstas crecen en tal magnitud que se entrecruzan originando un conglomerado, que comúnmente se denomina "colchón de raíces" (Fotografía 17). Este "colchón" es un impedimento para el libre paso de la solución nutritiva y su absorción. Además, se forman "bolsones" de solución al interior de éste, los cuales favorecen no sólo la acumulación de sales, sino también la muerte sectorizada de raíces al no recibir solución nutritiva. Por esta razón, para especies de gran desarrollo radical (tomate, pepino por ejemplo) se hace necesario, desde el momento que se forma el "colchón de raíces" hasta el fin del cultivo, aumentar la tasa de flujo sobre los 2 litros por minuto hasta visualizar que las raíces son efectivamente alcanzadas por la solución nutritiva.

Por el contrario, si se cuenta con canales de sección cóncava, es recomendable disminuir la circulación de solución a un flujo que permita cumplir el principio de este sistema hidropónico, es decir, que las raíces no se encuentren sumergidas, y sólo una lámina delgada de solución, circule a través de ellas.

OXIGENACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA

La solución nutritiva se oxigena no solamente por su circulación a través de los canales de cultivo, sino principalmente, al caer abruptamente sobre el remanente de solución en el estanque colector, donde se produce turbulencia y por lo tanto su aireación. De esta forma es aconsejable dejar la mayor distancia posible entre la desembocadura de la tubería colectora y el nivel de solución en el estanque para facilitar la aireación de ésta. Es aconsejable considerar al menos 50 cm de altura (Fotografía 18).



Fotografía 17: "Colchón de raíces" de *Tagetes erecta*



Fotografía 18: Turbulencia originada al retornar la solución al estanque colector

PENDIENTE

Para que la solución nutritiva fluya constantemente en el sistema, se requiere que ésta sea impulsada desde el estanque hacia la parte elevada de los canales de cultivo, y luego descienda a través de ellos por gravedad. Este descenso se produce gracias a la pendiente longitudinal de los canales de cultivo (Figura 5). En general, se recomienda que esta inclinación sea de alrededor de un 2 %. Pendientes superiores a 4%, dificultan la absorción de agua y nutrientes por las raíces del cultivo; en cambio las pendientes menores a 2%, no facilitan el adecuado retorno de la solución al estanque colector, ni tampoco la mantención de la altura de la lámina de solución nutritiva.

Se recomienda aumentar la pendiente de los canales, sólo en el caso de que se cultive alguna especie que presente un gran desarrollo radical, que impida el paso sostenido de la solución nutritiva. De esta forma se evitaría el estancamiento de la solución en el interior del "colchón de raíces".

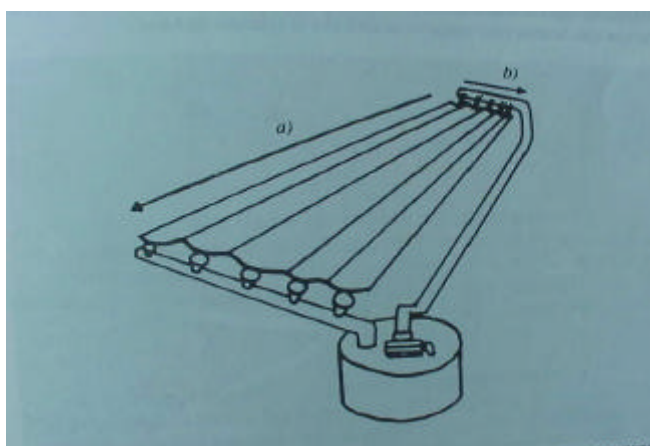


Figura 5: a) Pendiente longitudinal y b) pendiente transversal en el sistema de recirculación continua

Además de la pendiente longitudinal de los canales de cultivo, también debe existir pendiente transversal a los canales de cultivo en la tubería colectora, como se muestra en la Figura 5. La magnitud de esta pendiente debiera ser de similar valor que la pendiente longitudinal, para que se permita el fácil retorno de la solución nutritiva al estanque.

LONGITUD DE LOS CANALES DE CULTIVO

Para la mantención de los requerimientos mencionados anteriormente, se necesita además considerar un largo máximo de canales de cultivo no superior a los 15 metros. De esta forma, se logra que la solución nutritiva se mantenga con un adecuado contenido de oxígeno posible de ser absorbido por las raíces de las plantas. Longitudes superiores a la indicada posibilitan la existencia de baja concentración de oxígeno en solución y por lo tanto conlleva un menor crecimiento de las plantas, especialmente de las ubicadas en el extremo final del canal. Además, al trabajar con canales muy extensos se dificulta la sujeción de éstos.

LOCALIZACION DEL SISTEMA "NFT"

El sistema de solución nutritiva recirculante puede ser establecido, ya sea, al aire libre (Fotografía 19) como también bajo invernadero (Fotografía 20). Sin embargo, en base a la inversión inicial realizada y, a que generalmente su objetivo es la obtención de productos "primores" de mayor precio, se recomienda establecer este sistema bajo un sistema forzado.

Es recomendable que el invernadero en el cual se monte el sistema "NFT", se localice cercano a la fuente de agua y a la eléctrica. Además, es recomendable ubicarlo en un lugar protegido de vientos fuertes y en lo posible próximo a una casa habitación, para así contar con el resguardo de los materiales y productos existentes en el invernadero.



*Fotografía 19: Técnica de la solución nutritiva recirculante al aire libre
(Campo demostrativo hortícola de la Universidad Ain Sham,
El Cairo, Egypto)*



*Fotografía 20: Técnica de solución recirculante bajo invernadero
(Estación Experimental Pangullemo, Universidad de Talca,
Talca, Chile)*

CAPITULO 3

SOLUCION NUTRITIVA: FORMULACION Y MANEJO

En hidroponía, los elementos minerales nutritivos esenciales son aportados exclusivamente en la solución nutritiva, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua (Cuadro 2). Por esta razón, la formulación y control de la solución junto a una adecuada elección de las fuentes de las sales minerales solubles, se constituyen en una de las bases para el éxito del cultivo hidropónico. En el sistema "NFT" este aspecto es de suma importancia.

La eficiencia de utilización de los nutrientes por las plantas depende del sistema hidropónico elegido. En el caso de esta técnica, la eficiencia de utilización es continua, pues al existir una circulación permanente de la solución nutritiva, la oferta de nutrientes en las raíces es constante. Además, la solución se formula de tal forma que suministre un nivel adecuado de todos los nutrientes, permitiendo así, un fácil manejo de ésta. Los aspectos de elección de sales solubles, la formulación y manejo de la solución nutritiva se explican en este capítulo.

Cuadro 2:

Elementos minerales esenciales para las plantas

Elemento mineral	Símbolo químico	Peso atómico
MACRONUTRIENTES		
Nitrógeno	N	14
Fósforo	P	31
Potasio	K	39
Calcio	Ca	40
Magnesio	Mg	24
Azufre	S	32
MICRONUTRIENTES		
Hierro	Fe	56
Manganeso	Mn	55
Zinc	Zn	65,5
Boro	B	11
Cobre	Cu	64
Molibdeno	Mo	96
Cloro	Cl	35,5

ELECCION DE LAS SALES MINERALES SOLUBLES

Las sales fertilizantes utilizadas para la preparación de soluciones nutritivas que se usan en el sistema "NFT", se caracterizan por su alta solubilidad, de esta forma se deberán elegir aquellos que se presentan en sus formas hidratadas. A continuación se mencionan algunos de los más requeridos en hidroponía con sus respectivas fórmulas químicas y constantes de solubilización (Cuadro 3).

Cuadro 3:
Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía

Nombre químico	Fórmula química	Solubilidad (gramos por litro)
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1220
Nitrato de potasio	KNO_3	130
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	279
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	230
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	710
Sulfato de potasio	K_2SO_4	111
Sulfato de manganeso	MnSO_4	980
Acido bórico	H_3BO_3	60
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	310
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	960
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	430

FUENTES DE NITROGENO (N)

Considerando que en el caso del nitrógeno, el uso de una fuente amoniacal reduciría el costo de la solución nutritiva, existen sin embargo, evidencias a nivel experimental que una proporción mayoritaria de NH_4 , sería perjudicial, por ejemplo, para el crecimiento del tomate. Por consiguiente, se recomienda que al formular una solución no debería incluirse más allá de un 20% de esta forma nitrogenada, empleando sales nítricas para suplir la mayor parte del nitrógeno de la solución.

RELACION POTASIO (K)/NITROGENO (N)

Durante la fase del llenado de frutos, las especies hortalizas como el tomate, pepino y melón, demandan potasio (K) en mayor proporción que nitrógeno (N) para la formación de frutos firmes y de mayor calidad. Ello constituye una preocupación del productor al cultivar estas hortalizas en un sistema "NFT" donde se trabaja con una sola formulación durante el cultivo para facilitar su manejo. Sin embargo, ya que se recircula una solución nutritiva constantemente, las plantas son cultivadas con una alta oferta de nutrientes observándose que éstas cuentan con el aporte adecuado de potasio (K), aún trabajando con

concentraciones bajas de este elemento. Por otra parte, esta inquietud sería superada al escoger una solución nutritiva que cuenta con una relación K/N de 2: 1.

Alternativamente, algunos estudios sugieren que se debería suplementar la solución con potasio (K) desde el inicio de la fructificación, incrementando esta relación K/N a 2,5:1. Para ello, en forma práctica se suplementa con potasio (K) por medio de un mayor aporte (20 - 25%) de la solución concentrada que posee la fuente de potasio (K), no importando que la concentración de otros elementos aumente proporcionalmente, pues este incremento no sería perjudicial para las plantas. Otra alternativa recomendable es la aplicación foliar de soluciones (de rápida absorción a nivel foliar) ricas en K y Ca.

HIERRO (Fe)

El hierro (Fe) se encuentra disponible en el mercado bajo la forma de distintas sales. Sin embargo, algunas de ellas no permiten una adecuada absorción de este elemento por las plantas. Esto ocurre porque las sales férricas son inestables y son fácilmente transformadas en formas insolubles y por lo tanto de difícil absorción. Por esta razón se recurre a las formas "queladas", es decir, aquellas sales en las cuales el ión hierro se encuentra unido a un compuesto orgánico. Un ejemplo de quelato de hierro es la sal EDTA.

FORMULACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA

La formulación de una solución nutritiva se refiere a la concentración de los elementos nutritivos que la componen, expresados, generalmente, en partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/l) o gramos por 1000 litros (g/1000 l). A lo largo del proceso de investigación y desarrollo del sistema "NFT", se han descrito un gran número de formulaciones que difieren en los fertilizantes que aportan los elementos nutritivos, pero no mayormente en los rangos de concentración óptimos de cada elemento, como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4:

Rangos de concentración de elementos minerales esenciales según diversos autores

	Concentración (ppm)						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48	--	64	158	68	--
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	--

(1) Hoagland y Arnon (1938)

(2) Hewitt (1966)

(3) FAO (1990)

(4) Jensen (s/fecha)

(5) Larsen (s/fecha)

(6) Cooper (1979)

(7) Steiner (1984)

Fuente: (1), (2), (3) y (7) en Windsor and Schwarz (1990); (4) y (5) en Lorenz and Maynard (1988); (6) en Cooper (1988)

TIPOS Y ELECCION DE FORMULACIONES NUTRITIVAS

¿Cuáles son los parámetros que determinan la elección de una formulación en particular, especialmente si se encuentran disponibles diferentes formulaciones y la concentración de nutrientes esenciales es similar?

Uno de los aspectos a considerar, es la incorporación mínima de elementos minerales no esenciales para el crecimiento de las plantas (sulfatos por ejemplo), ya que su acumulación aumenta la concentración de sales de manera innecesaria, que de llegar a un nivel límite, inhibe la absorción de agua por las plantas. De esta forma, la formulación elegida debería contener aquellos fertilizantes que aporten en mayor proporción los elementos esenciales y, en una reducida cantidad aquellos no deseados.

Otra razón de buscar esta combinación, y que es de vital importancia, se relaciona al manejo de la solución. Más adelante se explica con detalle que la corrección de la solución nutritiva en este sistema se basa en la estimación de la concentración de nutrientes a través de la conductividad eléctrica. Así, al existir una gran acumulación de elementos no esenciales se interfiere con la estimación del contenido de los elementos requeridos por las plantas.

También es necesario evaluar el costo de la solución nutritiva al momento de optar por una formulación. Estudios preliminares¹ en lechuga, para este sistema hidropónico sobre la eficiencia de diferentes tipos de solución nutritiva, han mostrado que no existirían diferencias entre el rendimiento y calidad del cultivo al utilizar las soluciones de Cooper, Wye y HHP (FAO). Así, en base a estos antecedentes, para el caso en particular de estas tres soluciones, se debiera optar por la más económica y de fácil corrección.

PREPARACION DE SOLUCIONES NUTRITIVAS CONCENTRADAS

El sistema hidropónico "NFT" mantiene constantemente en circulación a la solución nutritiva, por lo cual se requiere buscar una modalidad práctica y de fácil adición de nutrientes a medida que éstos son absorbidos por las plantas. Así, se recurre a la utilización de una solución concentrada, la cual se aplica en pequeños volúmenes a la solución circulante para su corrección. Las diversas formulaciones existentes en la literatura, generalmente son presentadas en esta forma, con el nombre de soluciones concentradas o "stock". Estas formulaciones se presentan como el contenido de sales fertilizantes requeridas para ser diluidas en un volumen conocido de agua para así aportar una concentración determinada de elementos minerales.

Generalmente la formulación concentrada se separa en dos soluciones concentradas, denominadas Solución Concentrada A y Solución Concentrada B (Fotografía 21). El propósito de separar los fertilizantes en dos grupos se basa en reacciones de ciertas sales que forman compuestos de muy baja solubilidad y por lo tanto precipitan. Por ejemplo si se mezcla en una solución concentrada nitrato de calcio y sulfato de magnesio, se obtendrá un precipitado de sulfato de calcio. De esta forma, la solución concentrada A (o también llamada Solución A) se compone de nitrato de calcio, como única sal o junto a quelato de hierro, mientras que en la solución concentrada B (o Solución B) se mezcla el resto de los fertilizantes. Además, la modalidad de dos soluciones concentradas, permite realizar un fácil ajuste de la relación de K/N en la solución nutritiva para el cultivo de tomate por ejemplo, al separar una gran proporción del elemento mineral nitrógeno (N) -existente en la Solución A- del potasio (K) presente en la Solución B.

¹ Proyecto hidroponía, DIAT, Universidad de Talca, Chile



Fotografía 21: Estanques contenedores de soluciones concentradas y de solución ácida para la Solución Cooper

ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA Y CORRECCIÓN DE LA FORMULACIÓN

En la introducción de este manual se señalaba la importancia de la calidad del agua a utilizar. Pero no solamente se debe tener en cuenta su calidad bacteriológica, sino también su calidad química, es decir su aporte de elementos minerales. Por este motivo, se deberá realizar al menos un análisis químico del agua² al inicio del cultivo para conocer si existe un aporte significativo de algunos elementos minerales.

Para diferentes zonas y épocas del año, el contenido de algunos elementos en el agua fluctúa, por lo que algunos investigadores indican ajustar la formulación de la solución. Sin embargo, para ello se deberá contar con un laboratorio en las cercanías, como también con los recursos económicos para cubrir los costos de los diversos análisis a realizar en forma regular para mantener la solución nutritiva ajustada a las variaciones de la composición mineralógica del agua.

Si la concentración de calcio y/o magnesio en el agua local fuera superior a las 30 partes por millón, se podría ajustar la solución nutritiva para abaratar su valor. En los cuadros siguientes se presenta un ejemplo de corrección, de acuerdo al análisis químico del agua local. En el Cuadro 5 se muestra el análisis que indica que el agua analizada contiene calcio (Ca) y magnesio (Mg), la formulación de la solución escogida y luego la corregida. Este ajuste se explica a través de la siguiente ecuación para cada elemento mineral existente en el agua:

$$\text{Concentración en la formulación} - \text{Concentración en el agua} = \text{Concentración a aplicar}$$

Para efectos de este ejercicio, se indica una formulación de la Solución Wye que fue estimada para alcanzar una C.E. aproximada de 2,5 mS/cm. Además, se considera como mezcla de quelatos el producto comercial "Sequelene (R)", aunque éste puede ser reemplazado por otro similar.

La corrección de la formulación concentrada considera la reducción del aporte de nitrato de calcio y nitrato de magnesio. La disminución del contenido de nitrógeno (N) se contrarresta con el aumento en la concentración de nitrato de potasio aplicada (Cuadro 6). La corrección de la solución debe ser previamente analizada según el costo de cada sal fertilizante.

² El análisis químico de agua se realiza a través de espectrofotometría o potenciometría en una institución que provea estos servicios

Cuadro 5:**Ajuste de una formulación de solución nutritiva en base a un análisis químico de agua**

Elemento	Análisis de agua (ppm)	Formulación de Solución Wye(*) (ppm)	Formulación ajustada (ppm)
N	0	165	165
P	0	35	35
K	0,9	339	339
Ca	36,8	78	41,2
Mg	5,8	23	17,2
S	0	49	49
Fe	0	5	5
Mn	0	0,2	0,2
B	0	0,11	0,11
Cu	0	0,1	0,1
Mo	0	0,03	0,03
Zn	0	0,14	0,14

Cuadro 6:**Corrección de la Solución Wye según cálculos realizados en Cuadro 5**

Solución Wye * (g/l)	Solución Wye ajustada según análisis (g/l)
Solución Concentrada A:	
Nitrato de calcio 43,3	23,05
Solución Concentrada B:	
Nitrato de potasio 82,95	113,9
Nitrato de magnesio 32,7	25,03
Monofosfato de potasio 20,7	20,7
Sulfato de potasio 36,65	36,65
Quelato de hierro 4	4
Mezcla de quelatos 0,0125	0,0125

* Adaptado de Varley and Burrage, 1981

MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Es posible determinar la concentración de cada uno de los elementos nutritivos en la solución a través del análisis químico. Alternativamente a nivel de la empresa de mediana escala, operar el sistema "NFT" requiere realizar controles o estimaciones diarias de la concentración de los elementos nutritivos. En el primer caso muestrear la solución y llevarla a analizar a algún laboratorio, se transforma en una tarea engorrosa y de alto costo, además de desconocer oportunamente el estado real de la solución. La propuesta sugerida en este manual estima la concentración total de elementos nutritivos disueltos en solución por medio de la conductividad eléctrica utilizando un conductivímetro portátil (Fotografía 22), en general de costo no muy alto.

La efectividad del uso de este estimador -la conductividad eléctrica (C.E.)-, se basa en el concepto de la proporcionalidad de la conductividad eléctrica de una solución en relación a la concentración de sales disueltas, junto con utilizar una solución nutritiva que contiene una baja concentración de elementos no esenciales. Por esta razón, uno de los éxitos del sistema "NFT" se encuentra en la elección de una adecuada formulación de la solución nutritiva.

La unidad de la C.E. es el milisiemens (mS/cm) - anteriormente conocido como milimhos (mmho)-, pero en hidroponía para fines prácticos, se trabaja con el Factor de conductividad (Fc), que se define como:

Factor de conductividad (Fc) = C.E. (mS/cm) x 10, es decir, un Fc=20 equivale a 2 mS/cm.

El rango de conductividad eléctrica usualmente requerido para un adecuado crecimiento del cultivo, se encuentra entre un Fc de 15 a 30. La utilización del valor inferior de este rango o uno superior dependerá de la especie y sus requerimientos según su hábito de crecimiento, como también de la C.E. del agua con la cual se prepara la solución nutritiva. Por ejemplo para un cultivo de lechuga recién establecido (con un estado de desarrollo de 5 hojas verdaderas) el factor de conductividad no debería ser superior a 15. Por otra parte, se debe cuidar no sobrepasar el límite superior de 30, ya que debido a una mayor concentración de elementos minerales disueltos en la solución nutritiva, la absorción de agua, y por ende la de nutrientes, disminuye afectando así el crecimiento del cultivo.

La medición de la conductividad eléctrica se realiza a través de un medidor portátil o automático. No se debe descuidar la calibración del instrumento según lo indicado por su proveedor.

pH

Otro parámetro que se debe controlar para mantener disponibles los elementos nutritivos en la solución nutritiva es el pH, o sea el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El rango de pH en el cual los nutrientes se encuentran disponibles ocurre entre 5,5 y 7. Para medir el pH se utiliza un medidor portátil (Fotografía 22), el cual debe estar calibrado durante todo el período de uso, de acuerdo a las instrucciones comerciales.

Las correcciones de pH generalmente se realizan para acidificar la solución al rango óptimo anteriormente señalado. Esto se explica en el hecho de que a medida que se repone el volumen consumido, se agrega agua hasta obtener el volumen inicial aumentándose el pH.

Para disminuir el pH a un valor mínimo de 5,5, se agrega una solución ácida, la cual se compone de una mezcla de ácido nítrico (HNO_3) y ácido ortofosfórico (H_3PO_4) en una proporción de 3 : 1, preparada al 5%. Es decir, al preparar 10 litros de solución con la mezcla indicada, se agrega a 9.500 cc de agua contenidos en un contenedor, 380 cc de ácido nítrico (HNO_3) y 120 cc de ácido ortofosfórico (H_3PO_4). Si no se

dispusiera de alguno de estos dos ácidos, se sugiere preparar la solución con el ácido existente, agregando 500 ml de ácido nítrico (HNO_3) o ácido ortofosfórico (H_3PO_4) a 9.500 cc de agua.

La manipulación de la solución ácida como también su preparación, la debe realizar una persona responsable que use gafas y guantes protectores para evitar quemaduras por ácido. Además, debe cuidar que no existan derrames de los ácidos concentrados ni de la solución ácida. Tampoco se debe olvidar que al prepararla, siempre el ácido se debe agregar a un volumen de agua previamente depositado en el estanque contenedor. De otra forma es posible que ocurra una explosión. Los tipos de ácidos utilizados no requieren ser productos puros, por el contrario, utilice de preferencia ácidos ofrecidos para uso comercial con un 85 % de pureza. Además son de menor costo.

Si se requiere alcalinizar la solución nutritiva, o sea aumentar el pH hasta el rango óptimo, se deberá preparar una solución básica al 10% de hidróxido de potasio (KOH) para luego aplicar un pequeño volumen a la solución. Los gránulos de este compuesto se agregan a 500 cc de agua agitando constantemente hasta disolver la sal. Luego se rellena con el agua restante hasta alcanzar 1 litro de solución.



Fotografía 22: Medidores portátiles de pH (a la izquierda de la fotografía) y conductividad eléctrica (a la derecha)

PREPARACION Y MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE

Al establecer las plantas en el sistema "NFT", se recircula sólo agua sin sales nutritivas por al menos 24 horas. Posteriormente se procede a aplicar los nutrientes y alcanzar la concentración deseada. Sin embargo, se sugiere comenzar con niveles bajos de factores de conductividad entre 15 y 18, para evitar estrés al cultivo. A la semana de establecidas las plantas, se sugiere alcanzar el rango de conductividad preestablecido de acuerdo a la especie.

El volumen de solución nutritiva a utilizar, está en relación al número de plantas a cultivar. Observaciones realizadas de absorción de solución nutritiva en el sistema "NFT", indican que para el cultivo de lechuga desde el establecimiento de éste con 4 a 5 hojas verdaderas a roseta, una planta absorbe, por día, aproximadamente entre 50 y 100 ml de solución. Posteriormente, ya al alcanzar las plantas su tamaño comercial, absorben al día aproximadamente entre 200 y 300 ml de solución nutritiva. Además, se debe

considerar un 25 % más del volumen requerido para que éste permanezca en el estanque colector y permita el funcionamiento constante de la bomba.

Luego de definir este volumen, se procede a medir y registrar el pH del agua utilizada. Enseguida se agregan volúmenes iguales de solución concentrada A y de solución concentrada B por separado, agitando constantemente entre aplicaciones, evitando así la precipitación de las sales fertilizantes. Para la obtención del rango deseado de factor de conductividad (Fc) se aplican volúmenes iguales de solución concentrada A y B, se mide la conductividad eléctrica, repitiendo esta operación las veces que sea necesario hasta alcanzar el valor Fc requerido. Por ejemplo una aplicación de 5 litros de cada solución concentrada a 600 litros de agua permitiría alcanzar un Fc de 15 aproximadamente, dependiendo del Fc del agua empleada. Luego es necesario medir el pH obtenido con las soluciones concentradas aplicadas, y si el pH encontrado es superior al requerido, se agrega solución ácida en pequeños volúmenes hasta alcanzarlo, no olvidando agitar la solución cada vez que se aplique la solución ácida. Finalmente se enciende la bomba y se comienza con la recirculación de la solución.

CONTROL DIARIO DE LA SOLUCION NUTRITIVA

Al utilizar un sistema manual de control de solución, ésta requiere ser corregida a diario, como se explica detalladamente a continuación. Inicialmente se detiene el funcionamiento de la bomba por algunos minutos y se espera que la mayor parte de la solución circulante retorne al estanque colector. Posteriormente, se rellena con agua hasta el nivel inicial de solución (marcado en el estanque colector), luego se agita la solución y se mide el pH primeramente. Si el pH es superior al valor mínimo del rango óptimo de pH -5,5- se aplica un pequeño volumen de solución ácida a la solución, se agita profusamente y se mide el pH nuevamente. Esta operación se repite hasta alcanzar el pH deseado.

Luego, se mide el Fc de la solución por medio del medidor de conductividad eléctrica. Si el valor obtenido es inferior al valor mínimo del rango de conductividad eléctrica, se aplican volúmenes iguales de solución concentrada A y de solución concentrada B, se agita y se vuelve a medir. Si aún el valor de conductividad eléctrica fuese menor al rango requerido, se repite la operación antes explicada. La anotación de los valores de Fc y pH en todas las lecturas así como las correcciones realizados serán muy útiles para evaluar el funcionamiento del sistema.

DURACION Y RENOVACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA

La duración de la solución nutritiva está en función de su formulación y los cuidados en su mantención. Si la fórmula contiene altas concentraciones de iones indeseados (sulfatos, carbonatos) la cantidad de elementos nutritivos esenciales puede estimarse a través de la conductividad eléctrica por un período extenso de uso. Así, es factible mantener una solución nutritiva en circulación con sólo correcciones frecuentes de conductividad eléctrica y pH por un período de 3 a 4 meses, que por ejemplo para condiciones locales cubriría el tiempo de cultivo de tomate³.

La mantención de la solución no sólo se basa en las correcciones diarias de ajuste de volumen de agua, conductividad eléctrica y pH, sino también, que debe encontrarse limpia y en la oscuridad, condición que se logra al mantener permanentemente el estanque colector y los tubos colectores cubiertos. De esta forma se reduce la proliferación de algas y la evaporación de la solución, como también la inclusión de animales.

³ Referido al cultivo de tomate en invernadero en la zona central de Chile

INTERMITENCIA DEL FLUJO DE LA SOLUCION

El principio del sistema "NFT" se basa en la circulación constante del flujo de solución permitiendo una oferta regular de oxígeno, agua y elementos nutritivos a las plantas. Sin embargo, se han realizado investigaciones para evaluar regímenes de intermitencia con el fin de favorecer la precocidad en tomate. Estos cortes de suministro de solución son de pequeña duración por lo que no afectarían el desarrollo del cultivo. Otra razón del uso de este sistema con circulación intermitente es la reducción del consumo de energía eléctrica lo que incidiría en los costos variables de producción.

Estudios preliminares realizadas en lechuga⁴ confirmarían que sería posible detener la bomba por algunas horas durante la noche e incluso por períodos cortos a través del día, sin afectar el rendimiento y calidad de las plantas. Sin embargo, aún es necesario repetir estas experiencias en éste y otros cultivos, especialmente para el periodo estival.

Si se utilizara un sistema intermitente en una instalación comercial, la detención de la bomba se hace posible por medio del uso de un reloj "timer" al cual se le define previamente el momento de detención y encendido del sistema (Fotografía 23).



Fotografía 23: Programador de detención de circulación de solución nutritiva

⁴ Proyectos hidroponía, DIAT y Carta Acuerdo FAO - Universidad de Talca, Chile

CAPITULO 4

ESPECIES HORTICOLAS: ALMACIGO Y ESTABLECIMIENTO

El sistema hidropónico "NFT" es recomendado especialmente para el cultivo de especies hortícolas de fruto y hoja, ya que el crecimiento y desarrollo de especies de raíces y bulbos es limitado por la sujeción de estos órganos, la baja altura del canal de cultivo y de la lámina de solución.

A continuación se analizan los aspectos esenciales para el establecimiento de cultivos hortícolas, desde la elección de la especie hasta su establecimiento.

ELECCION DE LA ESPECIE Y EL CULTIVAR

El empleo de un sistema de cultivo que requiere de una inversión en su montaje inicial, como lo es el sistema "NFT", se justifica con la obtención de una producción comercial altamente rentable y en una disminución de los riesgos de producción. De ahí la razón de elegir especies hortícolas de alta producción por unidad de superficie, como lo son por ejemplo el tomate, pepino, frutilla, melón, pimentón, entre otras. En el norte de Europa, el tomate producido en este sistema bajo invernadero calefaccionado, y en producción por alrededor de 9 meses, rinde aproximadamente 45 kilogramos por metro cuadrado. Para pepino, es posible obtener 20 frutos por planta, es decir más o menos 150 frutos por metro cuadrado. En el cultivo de frutilla es posible obtener sobre 900 gramos de fruto por planta.

La producción de tomate "cherry" o "cóctel" en este sistema de cultivo ha sido evaluada a través de un ensayo en condiciones locales bajo invernadero⁵ obteniendo para 6 racimos cosechados en un período de dos meses sobre 120 frutos/planta, o sea, aproximadamente 2.000 gramos por planta. Estos valores al ser analizados por su superficie de cultivo alcanza a 10 kg por metro cuadrado.

Para especies como lechuga, en las cuales la planta completa constituye la producción de cultivo, este sistema ofrece la posibilidad de reducir el tiempo de producción y aumentar el número de rotaciones, al reemplazar inmediatamente la planta a medida que se cosecha, en los espacios de cultivo libres, con plantas provenientes de la almaciguera. Además, se permite una mayor precocidad como también la posibilidad de aumentar la densidad de plantación en relación a la empleada en el suelo, pues gracias al paso de la solución nutritiva en forma circulante la eficiencia de absorción de los elementos nutritivos es muy alta incluso con un gran número de plantas por unidad de superficie. Por ejemplo para una producción primaveral de lechugas, si se cultiva con una densidad de plantación de 24 plantas por metro cuadrado para una superficie útil de 100 m², luego de tres meses es factible cosechar un total de 7.200 lechugas. Para obtener un número similar de lechugas pero cultivadas en el suelo, se requerirían al menos seis veces esa área de cultivo.

Otro aspecto a considerar es la elección del cultivar, el cual debe ser de alta calidad culinaria, larga vida poscosecha y de gran aceptación por el consumidor.

La introducción de nuevos cultivares e híbridos en la producción comercial de hortalizas es constantemente evaluada por empresas de semillas y otras instituciones, sin embargo, la mayoría de estas pruebas se realizan sólo para cultivos en suelo, por lo cual, se hace conveniente evaluar estas nuevas semillas en sistemas hidropónicos.

⁵ Proyecto hidroponia, DIAT, Universidad de Talca, Chile

Por ejemplo para el cultivo de lechuga, se favorece el cultivo de las de tipo butterhead, también llamadas "mantecosas". El cultivo de tomate en este sistema hidropónico se practica con cultivares híbridos de crecimiento indeterminado para obtener una alta y sostenida producción de frutos en el tiempo. Lo mismo ocurre para pepino. Mayores antecedentes son entregados al final de este capítulo.

ASPECTOS GENERALES DE LA PRODUCCION DE ALMACIGOS

Todas las especies establecidas en un sistema "NFT" se deben sembrar previamente en algún sustrato, ya sea, para ser trasladadas al sistema definitivo a raíz desnuda o a raíz cubierta, utilizando algún tipo de contenedor.

El lugar físico de producción de plantas se conoce como almaciguera (Fotografía 24), y es en este lugar donde se siembra y se le brindan los cuidados para la obtención de plantas en óptimo estado de desarrollo y así luego llevarlas al sistema de solución nutritiva recirculante.

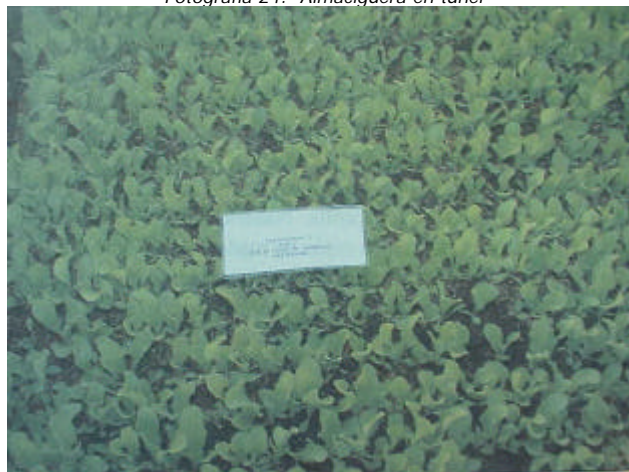
Al considerar la ubicación de la almaciguera, las condiciones de luminosidad, temperatura y humedad deben ser cuidadas para un óptimo crecimiento de las plantas, asegurando la mayor cantidad de luz sobre éstas evitando sombreamiento, temperaturas lo más cercano a las óptimas de crecimiento sin heladas y sin excesos de humedad. Mayores antecedentes sobre este tema fueron ampliamente analizados en el Manual de FAO sobre hidroponía popular.

La semilla a utilizar se remoja, generalmente, acelerando así su germinación. Este remojo no debería superar las 48 horas para evitar su deterioro. Es recomendable utilizar algún tiesto plástico con agua limpia.

Si se trasplanta a raíz desnuda, se sembrará sobre alguna mezcla de sustrato, como por ejemplo, arena con cascarilla de arroz o aserrín. Lo importante es considerar que cualquier sustrato a utilizar, se debe encontrar limpio, de preferencia remojado con antelación para favorecer la limpieza y la germinación de granos de arroz en el caso de la cascarilla. Posteriormente esta mezcla se colocará en algún tipo de contenedor, en un cajón de madera por ejemplo, y previamente humedecido se procede a sembrar. Es aconsejable sembrar en líneas distanciando cada semilla al menos 3 cm aproximadamente (Fotografía 25). La profundidad de siembra es de alrededor de 1 cm. Luego de haber alcanzado las plantas 5 hojas verdaderas, se extraen cuidadosamente del sustrato con la ayuda de alguna herramienta menor (cuchara por ejemplo), evitando la destrucción de las raicillas. Para favorecer esta labor se hace indispensable contar con un sustrato suficientemente húmedo.



Fotografía 24: Almaciguera en túnel



Fotografía 25: Plantas de almácigo en sustrato, sembradas en líneas

Luego de la extracción de las plantas desde la almaciguera y antes del establecimiento definitivo de ellas al sistema de recirculación, se procede al lavado de raíces. Para esta operación simple de realizar, se requiere de un balde con agua limpia en la cual se sumergen y agitan las raíces de las plantas. Es recomendable tomar la planta por su cuello.

Si se desean trasplantar a raíz cubierta, se utilizan contenedores que permiten el crecimiento de las raíces en su interior, y así al momento del trasplante, se lleva cada contenedor individual al sistema de recirculación. Los contenedores más comúnmente utilizados son las espumas plásticas de poliuretano de baja densidad (Fotografía 26). Se recomienda utilizar una espuma de densidad no superior a 10 kg/m^3 , de esta forma, se asegura que las raíces la traspasen fácilmente.

Otro tipo de contenedor utilizado es la bolsa de plástico negro, que se rellena con algún sustrato inerte, como arena, cascarilla o perlita por ejemplo, que permite además, brindar un mejor sostén a la planta dado a la altura de la bolsa. Al momento de llevar estos tipos de contenedores al sistema hidropónico definitivo, a las bolsas se les retira su base, para que así las raíces queden en contacto directo con la lámina de solución nutritiva recirculante.

ALMACIGO DE HORTALIZAS DE HOJA

La preparación de un almácigo de lechuga, espinaca, apio u otra hortaliza de hoja consiste, generalmente, en la siembra de semillas en cubos de poliuretano de baja densidad, aunque también es posible cultivar las plantas a raíz desnuda. La época de siembra de la almaciguera para el cultivo de lechuga abarca todo el año, sin embargo para lograrlo, se requiere utilizar diferentes cultivares de lechuga específicos para cada estación. Para el caso de otras hortalizas de hoja, también se requiere considerar la estacionalidad del cultivo y los cultivares recomendados para la época.

En general los almácigos de hortalizas de hoja son simples de realizar. Se utilizan los cubos de poliuretano (Fotografías 26 y 27) como medio de sostén de las plantas o también se cultivan directamente en alguna mezcla de sustrato para trasplantarlas a raíz desnuda. Si se ocupan bandejas de plástico o de poliestireno expandido forradas de alguna lámina de polietileno delgado, se localizan estas bandejas en algún lugar protegido, en el invernadero, de preferencia bajo túnel, para así obtener una producción de mayor precocidad.



Fotografía 26: Cubo de poliuretano de baja densidad para almácigo de lechuga



Fotografía 27: Plantas de lechuga del cultivar "Parker", con dos hojas verdaderas creciendo en cubos de poliuretano

ALMACIGO DE HORTALIZAS DE FRUTO

Los cultivos de tomate, pepino, melón, entre otros, se caracterizan por un gran crecimiento vegetativo. Esta estructura aérea se acompaña de un gran sistema radical, el cual debe ser firmemente soportado. Por este motivo el almácigo de estas especies se realiza a raíz cubierta, es decir utilizando algún tipo de contenedor que permita sujetar la planta especialmente al establecerla en el sistema de recirculación de solución. Generalmente en Europa se han ocupado cubos de lana de roca, sin embargo este producto es posible reemplazarlo por cubos de poliuretano de baja densidad (10 kg/m^3), cortados de un volumen de 288 cm^3 ($6 \times 6 \times 8 \text{ cm}$) (Fotografía 28). También es posible utilizar bolsas plásticas rellenas con sustratos ya antes mencionados. Para que las raíces se encuentren en contacto con la lámina de la solución nutritiva es

necesario perforar el fondo de ésta. La altura de la bolsa debe ser al menos de 6 cm para favorecer el crecimiento de las raíces al interior de ella.

RIEGO Y NUTRICION DE LA ALMACIGUERA

El almácigo debe ser rigurosamente cuidado especialmente manteniéndolo húmedo constantemente, pero, evitando el aposamiento de los contenedores para que así dispongan de una adecuada aireación. Para regar la almaciguera, es recomendable utilizar una regadera evitando el chorro directo de agua que se obtendría de una manguera sin pistón regulador.

Los nutrientes, aportados por una solución nutritiva, deberían ser entregados a las plantas después de la emergencia. Para ello, es posible utilizar la solución HHP en concentración media (2,5 cc de Solución A y 1 cc de Solución B) empezando por un riego semanal hasta llegar antes del trasplante con un riego con solución nutritiva cada tercer día. Los días en que no se ha regado con solución se debe mantener húmedo el almácigo solamente con agua. También es posible aplicar la solución nutritiva elegida para el sistema de recirculación, sin embargo, ésta se prepara a una concentración menor y que estimada en conductividad eléctrica, no debiera superar a un rango de Fc de 12.

MOMENTO DEL TRASPLANTE

En general, las plantas cultivadas en cualquier tipo de contenedor son llevadas al sistema definitivo de establecimiento cuando éstas poseen 5 hojas verdaderas (Fotografía 29), sin considerar el primer par de hojas embrionarias llamadas cotiledones. En este estado de desarrollo, las plantas cuentan con raíces lo suficientemente largas para estar en contacto con la solución nutritiva recirculante y así absorber los elementos nutritivos y agua combinados.

ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO EN EL SISTEMA "NFT"

Antes de establecer el cultivo en el sistema "NFT", éste debe ser puesto en marcha "blanca", revisando que todos los elementos que lo constituyen se encuentren en funcionamiento. Inicialmente, se hace circular agua y no solución nutritiva, pues las plantas requieren al menos un período de 24 horas de acondicionamiento en el sistema. Además, en este lapso se revisará acuciosamente la existencia de goteras, para así posteriormente no perder solución.

Una vez trasplantadas es muy convergente verificar que las raíces de las plantas se encuentren en contacto directo con la solución nutritiva, ya que, cuando se colocan las plantas en el sistema, especialmente aquellas que fueron sembradas en cubos de espuma o esponja plástica, sus raíces pueden quedar atrapadas entre el contenedor y el borde interno del orificio de la lámina de poliestireno.

Anteriormente se explicó la preparación de la solución nutritiva recirculante. A continuación, se reiteran en forma resumida los pasos a seguir en esta operación.

1. Detener la circulación de la solución nutritiva
2. Rellenar con agua hasta alcanzar el volumen deseado en el estanque
3. Medir el pH
4. Si el pH es mayor a 6,5 corregir agregando solución ácida hasta alcanzar un pH entre 5,5 y -6,0
5. Medir la Conductividad eléctrica (Fc)
6. Agregar volúmenes iguales de soluciones concentradas A y B por separado agitando constantemente hasta alcanzar el rango de Fc deseado⁶
7. Se enciende la bomba



Fotografía 28: Cubo de poliuretano de baja densidad para tomate



Fotografía 29: Planta de lechuga con 5 hojas verdaderas, óptimo estado de desarrollo para el trasplante

⁶ Según se indica en el capítulo 3

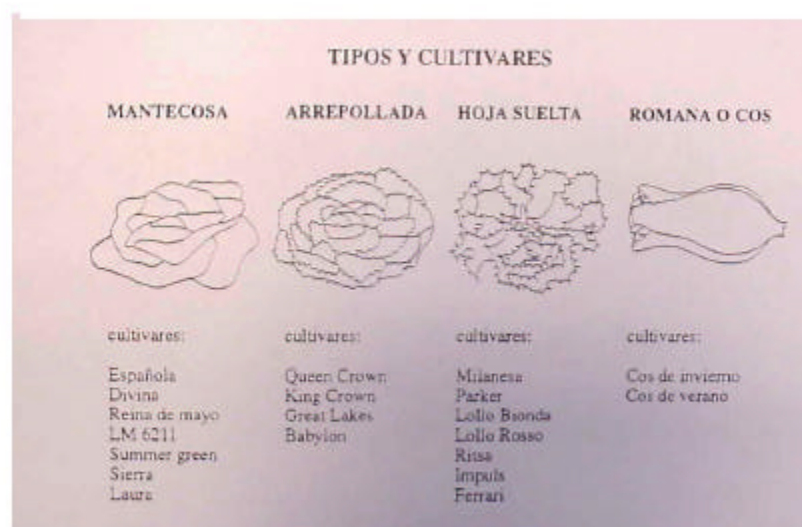
MANEJO DE CULTIVOS EN EL SISTEMA "NFT"

A continuación se presentan las fichas de cultivo de las principales especies hortícolas aptas para ser cultivadas en el sistema "NFT".

LECHUGA

Lactuca sativa L.

La lechuga es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Perteneció a la familia de las Compuestas. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía. Es la principal especie de hoja cultivada en el sistema "NFT", ya que es posible obtener lechugas de alta calidad en varias cosechas al año.



Entre los diferentes tipos de lechuga, las "butterhead" o "mantecosas" (Fotografías 30, 31 y 32) son las más cultivadas en este sistema hidropónico, ya que destaca su mejor calidad en relación a las cultivadas en suelo y al aire libre. Las lechugas "mantecosas" forman una cabeza central, sus hojas son de textura suave de alta palatabilidad; son precoces en relación a otros tipos de lechuga existiendo variedades de otoño-invierno y primavera-verano.

Las lechugas tipo "cos" o "romana" se caracterizan por sus hojas de mayor altura y forma oblonga. Se cultivan en menor escala en "NFT" por la dificultosa sujeción de las plantas en los días previos a la cosecha debido a su gran altura.

Las lechugas de hoja arrepollada mal denominadas "escarolas", presentan grandes cabezas de hojas crespas, mayor resistencia a la emisión del tallo floral ("florecimiento o "subida") comparada a las "mantecosas". Cuando se cultivan este tipo de lechugas en "NFT", se deben cuidar las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad del invernadero, para así obtener una lechuga de cabeza firme y alto valor comercial. La temperatura óptima para la formación de la cabeza es de alrededor de 20°C. Para la

obtención de lechugas de mayor cabeza se requiere un mayor número de hojas por lo que se debe mantener mayor tiempo el cultivo, lo que debiera ser analizado económicamente.

Dentro de las lechugas de hoja suelta aptas para "NFT" existen cultivares que tradicionalmente se han cultivado en el suelo, como lo son Milanese y Parker (Fotografía 33). Sin embargo, es necesario tener presente que este tipo de lechuga es de menor precio de venta y por lo tanto hace menos rentable la inversión. Algunos productores tradicionales les amarran las hojas, sin embargo al cultivarlas en el sistema "NFT" no se hace necesario esta práctica, pues se sujetan unas con otras.

También existe la posibilidad de comercializar las hojas de éstas u otras lechugas en bolsas como ensaladas de "cuarta generación". Además, existen nuevos cultivares de hoja suelta que generalmente son conocidos y consumidos principalmente en países desarrollados, como elementos decorativos para platos junto a mariscos y pescados. Otras de hojas con bordes crespos, las cuales son conocidas como "oakleaf", de color de hoja verde o rojizo, se presentan como una alternativa atrayente como producto "gourmet".



Fotografía 30: Lechuga tipo mantecosa, cultivar "Española"



Fotografía 31: Lechuga tipo mantecosa, cultivar "Divina"



Fotografía 32: Lechuga tipo mantecosa, cultivar "Sierra"



Fotografía 33: Lechuga tipo hoja suelta, cultivar "Parker"

ESTACIONALIDAD DE CULTIVO

Altas temperaturas producen la inducción del tallo floral de la lechuga, perdiéndose así su calidad comercial. Esta es la causa de la búsqueda de nuevos cultivares resistentes al florecimiento en época estival y por esta razón es posible cultivar lechuga utilizando variedades de primavera-verano y otoño-invierno según la época de cultivo.

OBSERVACIONES DE LA ESPECIE

Dentro de la problemática ambiental actual sobre la acumulación de nitratos en hortalizas de hoja, la lechuga se destaca por ser una de las especies de mayor acumulación en épocas del año donde existe una reducida intensidad lumínica, condición encontrada en los países del norte de Europa y especialmente bajo invernadero. Investigaciones realizadas con animales de laboratorio, han revelado que el consumo excesivo de nitrato en la dieta sería peligroso, pues éste es el precursor de ciertos compuestos cancerígenos. Por esta razón existe actualmente preocupación por cultivar lechugas con un contenido reducido de nitratos.

Resultados de investigaciones han mostrado que el contenido de nitratos disminuye a partir del mediodía, lo que permite aconsejar que se realice la cosecha a partir de esa hora, evitando las cosechas nocturnas o matinales. Más antecedentes del cultivo se encuentran en la ficha del cultivo (Cuadro 7).

Cuadro 7:

Ficha del cultivo de lechuga en el sistema " NFT"

ANTECEDENTES DEL CULTIVO	
Rango de temperatura óptimo de germinación	4,5- 27°C
Tiempo aproximado de germinación	6 - 12 días
Nº aproximado de semillas/gramo	800
Longevidad de la semilla	3 años
Nº plantas/m ² en sistema "NFT"	22 - 24 según el cultivar
Tiempo aproximado de trasplante a cosecha	25 - 40 días
SISTEMA "NFT"	
SOLUCION NUTRITIVA	
Factor de conductividad	15 - 25
pH	5,5 - 6,5
Consumo de solución aproximado por planta	0,25 litros/planta
CANAL DE CULTIVO	
Tipo de canal	bajo
Ancho mínimo de canal	6 cm

TOMATE

Lycopersicum esculentum Mill.

El tomate (Fotografía 34), pertenece a la familia de las Solanáceas, es la principal hortaliza de consumo en fresco en América Latina y el Caribe, se caracteriza por su alto rendimiento en el sistema "NFT". Se cultiva en este sistema principalmente bajo invernadero para favorecer las cosechas tempranas, aunque generalmente es cultivado al aire libre en época de altas temperaturas. El tomate necesita de diversos cuidados culturales similares a los requeridos para el cultivo establecido en suelo bajo invernadero, no sólo en el establecimiento de éste, sino también en su conducción, raleo de frutos, control de plagas y enfermedades, etc. Los antecedentes del cultivo de tomate se muestran en el Cuadro 8.

TIPOS Y CULTIVARES

TOMATE CONSUMO FRESCO

cultivares:

Agora
Carmelo
Max
FA 144

TOMATE "COCTEL" O CHERRY

cultivares:

Sweet cherry
T-139
T-124

Cuadro 8:

Ficha del cultivo de tomate en el sistema "NFT"

FICHA DEL CULTIVO

Rango de temperatura óptimo de germinación	15 - 29°C
Tiempo aproximado de germinación	8 - 11 días
N° aproximado de semillas/gramo	250 - 400
Longevidad de la semilla	3 años
N° plantas/m ² en sistema "NFT"	5 - 6
Tiempo aproximado desde trasplante a cosecha del primer racimo	45 - 50 días

SISTEMA "NFT"

SOLUCION NUTRITIVA

Factor de conductividad	25 - 30
pH	5,5 - 6,5
Consumo de solución aproximado por planta	2,5 litros/planta

CANAL DE CULTIVO

Tipo de canal	alto
Ancho mínimo de base de canal	16 cm



Fotografía 34: Cultivo de tomate "cherry" en el sistema "NFT"

PEPINO

Cucumis sativus L.

El pepino (Fotografía 10), pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, y se constituye en una de las especies más cultivadas en el sistema "NFT", por presentar precocidad y un alto rendimiento por planta en un período corto de cultivo, requisitos en las condiciones locales de América Latina y el Caribe. En el Cuadro 9 se informa acerca de algunos aspectos esenciales del cultivo en este sistema productivo.

CULTIVARES

Existen diferentes tipos de cultivares de pepino, diferenciándose en los tipos de flor existentes en la misma planta. Las utilizadas con fines comerciales corresponden a las monoicas (Slicemaster, Everslice) y ginoicas (Dasher II, Alaska, Encore).

OBSERVACIONES DE LA ESPECIE

Al cultivar pepino en "NFT" por un período prolongado, se ha observado que presenta un gran crecimiento de raíces en su etapa inicial y la formación de un gran colchón de raíces y muerte parcial de ellas. Esto se traduce en una reducción en rendimiento y también en la presencia esporádica de desórdenes nutricionales. Sin embargo, al cultivarse esta especie como "primor", es decir, ser cosechado en forma anticipada y por un período corto de producción, los problemas antes indicados, no se presentan en una magnitud tal, lo que conlleva a considerar esta especie como una alternativa productiva.

Cuadro 9:
Ficha del cultivo de pepino en el sistema " NFT"

FICHA DE CULTIVO	
Rango de temperatura óptimo de germinación	25 - 35°C
Tiempo aproximado de germinación	6 - 9 días
N° aproximado de semillas/gramo	35
Longevidad de la semilla	6 años
N° plantas/m ² en sistema de recirculación de solución	5 - 6 según el cultivar
Tiempo aproximado desde trasplante a cosecha del primer fruto	45-50 días
SISTEMA "NFT"	
SOLUCION NUTRITIVA	
Factor de conductividad	30 - 35
pH	5,5 - 6,5
Consumo de solución aproximado por planta	3,0 litros/planta
CANAL DE CULTIVO	
Tipo de canal	alto
Ancho mínimo de base de canal	18 cm

MELON

Cucumis melo L.

Atractiva por sus sabrosos frutos, esta especie hortícola de la familia de las Cucurbitáceas, también es posible de cultivarse en este sistema hidropónico (Fotografía 35). Para ello se eligen variedades de frutos pequeños y se conducen las guías de la planta en forma vertical para obtener así una alta densidad de cultivo optimizando el sistema. En el Cuadro 10 se indican mayores antecedentes de la especie.

TIPOS Y CULTIVARES

De las 12 variedades botánicas existentes de melón, principalmente se cultivan tres. Ellas son: var. *reticulatus*, *inodorus* y *cantaloupensis*. Para este sistema se recomendarían sólo los melones reticulados (Mission, Topscore, Hilene, etc.) y cantalupos (Ogen, Galia, etc.), dado su menor peso y tamaño.



Fotografía 35: Cultivo de melón en el sistema "NFT"

Cuadro 10:
Ficha del cultivo de melón en el sistema "NFT"

FICHA DE CULTIVO

Rango de temperatura óptimo de germinación	24 - 35°C
Tiempo aproximado de germinación	8 - 11 días
N° aproximado de semillas/gramo	22 - 35
Longevidad de la semilla	6 años
N° plantas/m ² en sistema de recirculación de solución	5 - 6 según el cultivar
Tiempo aproximado desde trasplante a cosecha del primer fruto	45 - 50 días

SISTEMA "NFT"

SOLUCION NUTRITIVA

Factor de conductividad	30 - 35
pH	5,5 - 6,5
Consumo de solución aproximado por planta	2,5 litros/planta

CANAL DE CULTIVO

Tipo de canal	alto
Ancho mínimo de base de canal	16 cm

ALBAHACA*Ocimum basilicum L.*

La albahaca es una especie aromática perteneciente a la familia de las Labiadas, que se utiliza en diferentes recetas (pastas, salsas, guisados, etc.). Es una planta que requiere clima cálido para su cultivo, por lo que en el sistema "NFT" y en invernadero, es posible obtenerla en forma anticipada a comienzos del periodo estival como "primor".

Es una especie de almácigo-trasplante, por lo cual se siembra en cubos de espuma o sobre sustrato, trasplantándola a raíz cubierta o raíz desnuda, respectivamente. Se establece con 5 hojas verdaderas al sistema "NFT", y se cosecha por hojas o planta entera cuando alcanza una estatura aproximada de 15 a 20 cm. En el Cuadro 11 se presentan mayores antecedentes de su cultivo.

Cuadro 11:
Ficha del cultivo de albahaca en el sistema "NFT"

FICHA DEL CULTIVO	
Rango de temperatura óptimo de germinación	20°C
Tiempo aproximado de germinación	10 - 20 días
N° aproximado de semillas/gramo	800
N° plantas/m ² en sistema de recirculación de solución	20
Tiempo aproximado desde trasplante a cosecha	25 - 35 días
SISTEMA NFT	
SOLUCION NUTRITIVA	
Factor de conductividad	15 - 20
pH	5,5 - 6,5
CANAL DE CULTIVO	
Tipo de canal	bajo
Ancho mínimo de base de canal	6 cm

CAPITULO 5

UTILIDAD ECONOMICA DEL SISTEMA "NFT"

Para incorporar esta técnica de cultivo como una alternativa productiva de especies hortícolas, primeramente se deberá conocer el valor de inversión requerido, los costos operacionales de producción y la utilidad de la Unidad productiva. Este análisis requiere de la preparación de un proyecto, el cual permitirá evaluar la factibilidad de obtención de utilidades al corto y mediano plazo. Si la producción es realizada en condiciones de temperaturas mínimas limitantes al crecimiento de la mayoría de las hortalizas, será necesario construir o adecuar un invernadero cuyo costo se deberá agregar a la inversión total.

El presente manual ha sido preparado como guía orientativa a los que se inician en esta modalidad intermedia de producción intensiva de hortalizas de alta calidad a través del sistema "NFT" y dirigida al mercado. No se ha pretendido efectuar una evaluación económica sino entregar a título de ejemplo, un cálculo de la inversión requerida y de las utilidades a obtenerse de una unidad productiva mínima. Para ello hemos considerado los siguientes supuestos:

1. Se cuenta con el terreno e invernadero propio, el cual posee instalaciones de agua y energía eléctrica con una superficie de 420 m², con 280 m² cultivables.
2. Se ha asumido asimismo, que se cultivará lechuga cultivar "Española" a una densidad de plantación de 24 plantas por m², es decir, se establecerán 6.720 plantas por cada periodo productivo.
3. Se planea obtener un periodo de cultivo promedio desde trasplante a cosecha de 35 a 40 días a lo largo del año, por lo que se espera obtener aproximadamente de 8 a 9 cosechas anuales.
4. Se trabajará con un sistema "NFT", de circulación continua de 24 horas.
5. Con el objetivo de simplificar el cálculo en este ejemplo, no se han considerado las amortizaciones del capital de trabajo durante la puesta en marcha de la unidad productiva, asimismo, no se ha considerado el costo alternativo del dinero.
6. Para efectos de este ejercicio hemos considerado que los costos de inversión son amortizados en dos años a través de las primeras 16 cosechas en forma lineal.

COSTOS DE INVERSION

Para establecer una unidad "NFT", es necesario considerar los costos de los elementos que la componen y la puesta en marcha del sistema, los cuales se describen en el Cuadro 12.

OTROS COSTOS DE INVERSION

Aparte de los costos de inversión ya indicados, existen otros que facilitarán la marcha del negocio. Así por ejemplo, se sugiere considerar hacer algunos gastos en publicidad a través de avisos y preparación de dípticos. También existen gastos de contabilidad y administración, que deben ser tomados en cuenta. Asimismo, es importante entrenar al personal de la empresa, facilitando su participación en cursos, la visita de especialistas en el tema y la adquisición de publicaciones. En este ejemplo, los gastos mencionados anteriormente no han sido considerados.

Cuadro 12:
Costos de inversión

INVERSIONES	VALOR (US\$)*
Equipo:	
Bomba	263
Estanque colector	755
Tubería distribuidora, colectora y accesorios	410
Canales de cultivo	1.870
Estanques de solución	250
Instrumentos:	
Medidor portátil de pH	105
Medidor portátil de CE	110
Balanza (precisión 1 g) 475	
Total	4.238
Inversión por m ²	15,13

* Para la estimación de los valores se ha utilizado el cambio operacional de 400 \$CH = 1 US\$

CAPITAL DE TRABAJO

Este ítem corresponde a los costos de ventas, remuneraciones y pagos de comercialización de los primeros tres meses de iniciada la empresa. Se considera este periodo ya que durante los dos primeros meses se trabajará en la instalación del sistema "NFT", y después de 35 días, aproximadamente, se obtendrá la primera cosecha para la venta.

DEPRECIACION

La depreciación del equipo se indica a continuación, en el Cuadro 13.

Cuadro 13:
Depreciación del equipo

ITEM	TIEMPO (años)	MONTO ANUAL DEPRECIADO (US\$)
Sistema NFT:		
- Bomba	8 años	32,8
- Estanque colector	5 años	151,0
- Tubería distribuidora, colectora y accesorios	5 años	126,8
- Balanza	5 años	95,0
- Medidor de pH	3 años	35,0
- Medidor de CE	3 años	36,7
TOTAL		477,3

COSTOS OPERACIONALES

Los costos operacionales comprenden los insumos directos de producción, la mano de obra y la depreciación del equipo para una cosecha de lechugas (Cuadro 14).

Cuadro 14:
Costos operacionales para una cosecha de lechugas en la unidad " NFT"

COSTOS OPERACIONALES	CANTIDAD REQUERIDA	VALOR TOTAL (US\$)	VALOR UNITARIO (US\$/m ²)
Semilla	10 g	0,4	0,0016
Solución nutritiva	0,317 l	187,43	0,743
Cubo de espuma	6800 cubos	9,76	0,039
Poliestireno (0,5m ²)	126 láminas	81,9	0,325
Energía eléctrica	630 KW	97,65	0,3875
Mano de obra	52,5 JH	262,5	1,0416
Depreciación		59,66 (*)	
Subtotal		699,3	
Costo de venta (3%)		20,97	
Imprevistos (5%)		34,96	
Total		755,23	2,69

(*) Este valor se ha obtenido al dividir la sumatoria de la depreciación por 8 cosechas realizadas anualmente

INGRESOS POR VENTAS

Según los antecedentes locales, el precio de venta por mayor se ha estimado para los efectos de este ejercicio, en 0,25 US\$ por lechuga de buena calidad (peso mínimo aproximado de 250 g por unidad). Se estima un 1% de pérdidas lo que resulta en 6.652 plantas aptas para la venta por cosecha, lo que permite obtener un ingreso total de US\$ 1.663,2, es decir, US\$ 5,94/m² por cosecha de lechugas.

COSTO TOTAL

El costo total es la sumatoria de todos los costos involucrados, en otras palabras, el costo de inversión más el costo variable de operación. De acuerdo al supuesto 6, se ha dividido la inversión por 16, y cada fracción de este costo se ha sumado al costo variable de cada cosecha. Es decir:

Costo inversión total/m ²	:	US\$ 15,13 : 16 =	US\$ 0,94
Costo variable/m ²	:		US\$ 2,69
Costo total/m ²	:		US\$ 3,63

UTILIDAD

Con la información generada anteriormente es posible estimar la utilidad por cosecha para los dos primeros años, como se muestra a continuación:

$$\text{Utilidad} = \text{Ingreso total} - \text{Costo total}$$

$$\text{Utilidad} = \text{US\$ } 5,94/\text{m}^2 - \text{US\$ } 3,63/\text{m}^2 = \text{US\$ } 2,31/\text{m}^2$$

INDICE DE RENTABILIDAD (I.R.)

Para los años 1 y 2:

$$\text{I.R.} = \frac{\text{Utilidad}}{\text{Inversión total}} \times 100 = \frac{2,31}{0,94} \times 100 = 106,38 \%$$

El anterior ejemplo puede ser considerado como una base para calcular la rentabilidad de otros cultivos aptos para producción hidropónica a través del sistema "NFT".

BIBLIOGRAFIA

- Abou-Hadid, F., Sharaf, A., El-Asdoudi, A., El-Beltagy, A.S., El- Behairy, U.A. and Burrage, S.W. 1993. The effect of continuous and intermittent flow on growth characters, chemical compositions and yield of lettuce grown in NFT hydroponics. *Egyptian Journal of Horticulture* 18 (2): 141 -1 50. (Abstract).
- Adams, P. 1980. Nutrient uptake by cucumber from recirculating solutions. *Acta Horticulturae* 98: 119-126.
- Adams, P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. *Acta Horticulturae* 361: 245-257.
- Adams, P. and Grimmett, M.M. 1986. Some responses of tomatoes to the concentration of potassium in recirculating solutions. *Acta Horticulturae* 178: 29-35.
- Adams, P. and Massey, D.M. 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. Proc. Sixth Internat. Congress Soilless Culture, Lunteren. 1984. Wageningen, ISOSC: 71-79.
- Benoit, F. and Ceustermans, N. 1980. The effect of gully length NFT tomatoes, peppers and lettuce. ISOSC. Proc. 5th Intern. Congress on Soilless Culture. Wageningen. 197-204.
- Benoit, F. and Ceustermans, N. 1986. Survey of a decade of research (1974-1984) with NFT on glasshouse vegetables. *Soilless Culture* 2:5-17.
- Benoit, F. and Ceustermans, N. 1989. Recommendations for the commercial production of butterhead lettuce in NFT. *Soilless Culture* 5(1): 1 -1 1.
- Burrage, S.W. 1993. Nutrient film technique in protected cultivation. *Acta Horticulturae* 323: 23-38.
- Burrage, S.W. and Varley, M.J. 1980. Water relations of lettuce grown in nutrient film culture. *Acta Horticulturae* 98: 79- 86.
- Carrasco G. 1992. **Nitrate accumulation in red chicory (*Cichorium intybus* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown by Nutrient Film Technique.** Ph. D. Thesis. Wye College. University of London (ed.). Londres. 184 pp.
- Carrasco, G. and Burrage, S.W. 1993. Diurnal fluctuations in nitrate accumulation and reductase activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Nutrient Film Technique. *Acta Horticulturae* 323: 51-59.
- Carrasco G. and Burrage, S.W. 1993. Diurnal fluctuations in nitrate uptake and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown using Nutrient Film Technique. *Acta Horticulturae* 339: 137 - 147.
- Carrasco, G., Burrage, S.W. and Kazakidou, D. 1993. Nitrate accumulation in red chicory (*Cichorium intybus* L.) grown at a low light intensity. *Acta Horticulturae* 361: 274 - 28 1.
- Carrasco, G. 1993. Acumulación de nitratos y actividad de la nitrato reductasa en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y radicchio (*Cichorium intybus* L.) cultivadas bajo dos intensidades de luz. *Simiente* 63 (4): 241 - 242. (Resumen).
- Carrasco, G. and Burrage, S.W. 1994. The effect of nutrient solution on the nitrate accumulation in red chicory (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum*). En: VI Congreso Latinoamericano de Horticultura y XVII Congreso Argentino de Horticultura. Córdoba. (Resumen).

- Cooper, A.J. 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 3: 251-258.
- Cooper, A. 1978. Commercial applications of NFT. Grower Books (ed). Londres. 184 pp.
- Cooper, A. 1988. "1. The system. 2. Operation of the system". In: **The ABC of NFT. Nutrient Film Technique**. Grower Books (ed.). London. pp 3-123.
- D'Agliano, G. Carrai, C. and Bigongiari, G. 1994. Preliminary evaluation of a hydroponic recirculating nutrient system for gerbera cultivation. *Acta Horticulturae* 361: 414-422.
- Dougias, J.S. 1990. **Cómo cultivar sin tierra**. 52 ed. El Ateneo (ed.). Buenos Aires. 156 pp.
- El-Asdoudi, A., Sharaf, A., Abou-Hadid, F., El-Beltagy, A., El-Behairy, U.A. and Burrage, S.W. 1993. The effect of continuous and intermittent circulation on growth characters, chemical compositions and yield tomato. *Horticultural Abstracts* 64:3669.
- El-Behairy, U.A., Abou-Hadid, A.F., El-Beltagy, A.S. and Burrage, S.W. 199 1. Intermittent circulation for earlier tomato yield under nutrient film technique. *Acta Horticulturae* 287: 267-272.
- Economakis, C. 1992. The influence of solution heating and intermittent circulation on tomatoes in Nutrient Film Technique. *Acta Horticulturae* 323: 81-85.
- Fritz, D. und Stolz, W. 1989. **Gemusebau**. Verlag Eugen Ulmer (ed.) Stuttgart. 379 pp.
- Giaconi, V y Escaff, M. 1993. **Cultivo de hortalizas**. Editorial Universitaria. (8ª ed.). Santiago. 332 pp.
- Graves, C .J. 1983. The nutrient film technique. *Horticultural Reviews* 5:1-44.
- Graves and Hurd, R. 1983. Intermittent solution circulation in the nutrient film technique. *Acta Horticulturae* 178: 79-84.
- Graves C. J. 1986. A summary of work on solution heating and intermittent solution circulation for tomatoes in nutrient film technique. *Acta Horticulturae* 178: 79-84.
- Hessayon, D. G. 1991. **The vegetable expert**. pbi Publications. Herts. 128 pp.
- Jackson, M. B. 1980. Aeration in the nutrient **film** technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide. *Acta Horticulturae* 98-. 61-77.
- Kazakidou, D. and Burrage, S.W. 1994. The production of African Marigold (*Tagetes erecta* L.) by the nutrient film technique. The influence of solution conductivity on growth and caretonoid levels. *Acta Horticulturae*, 361: 332-340.
- INIA-LA PLATINA. 1993. Curso internacional: Producción de hortalizas protegidas bajo plástico. Serie La Platina N° 50. Santiago.
- Lorenz, O. and Maynard, D. 1988. "Part 2: Vegetable growing and greenhouse vegetable production". In: **Knott's handbook for vegetable growers**. John Wiley & sons (eds.). 53-65 pp.
- Maher, M.J. 1980. Effect of root zone warming, flow rate and propagation system on tomato crop performance in NFT. *Acta Horticulturae* 98: 45-51.
- Maroto, J.V. 1989. **Horticultura herbácea especial**. Mundi-Prensa (3a ed.). Madrid. 566 pp.

- Martínez, E. y García, M. 1993. **Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo**. Ediciones de Horticultura, S.L. (ed.). Reus. 123 pp.
- Marulanda, C. e Izquierdo, J. 1993. **Manual técnico. La huerta hidropónica popular**. FAO y PNUD (eds.). Santiago. 118 pp.
- Milthorpe, F.L. and Moorby, J. (1979). "The absorption and transport of mineral nutrients". In: **An introduction to crop physiology**. 2nd edition. University Press (ed.). Cambridge. 59-95.
- Molyneux, C.J. 1989. **A practical guide to NFT**. Nutriculture Ltd. (ed.). Lancashire. 153 pp.
- Pérez, J.L. 1984. "Capítulo IX. Otros sistemas de cultivo. Cultivo en película nutritiva". En: **Cultivo de pepino en invernadero**. 161-164.
- Ramírez, J., Carrasco, G. y Rodríguez, E. 1995. Evaluación de la productividad y calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) cultivada en el sistema hidropónico "Nutrient Film Technique"-NFT-intermitente. *Simiente* 65 (1-3):43. (Resumen).
- Resh, H. 1992. **Cultivos hidropónicos**. Mundi-Prensa (ed.). Madrid. 369 pp.
- Udagawa, Y. and Aoki, H. 1992. Studies on the practical application of NFT in Japan. The effects of flow rate of continuous nutrient solution supply and intermittent nutrient solution supply of growth and yield of strawberry grown in NFI. *Horticultural Abstracts* 62: 8084.
- Van der Boon, J. Steenhuizen, J.W. and Steingrover. E.G. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH_4NO_3 , ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *Journal of horticultural Science* 65(3):309-321.
- Varley, J. and Burrage, S.W. 1981. New solution for lettuce. *Grower* 95(15): 1925.
- Went, F.W. and Overland Sheps, L. 1969. "5. Environmental factors in growth and development". In: **Plant Physiology. A treatise. Vol. VA: Analysis of growth: behavior of plants and their organs**. Steward F.C. (ed.). New York. 362-363.
- Winsor, G., Hurd, R. and Price, D. 1985. **Nutrient film technique. Grower's bulletin 5**, 2nd ed. Glasshouse Crop Research Institute (ed.). Littlehampton. 60 pp.
- Winsor, G. and Schwarz, M. 1990. **Soilless culture for horticultural crop production. FAO Plant Production and Protection**. Paper 101. FAO (ed). Roma. 188 pp-