

Universidad de Costa Rica
Escuela de Agronomía
Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno

Freddy Soto Bravo.

Alajuela, 2018

Producción de lechuga con la técnica de lámina de nutrientes modificada (NFT).

La técnica de la película de nutrientes, conocida como NFT (Nutrient Film Technique) por sus siglas en inglés, fue desarrollada en Inglaterra por Allen Cooper en el año 1965. Es ampliamente utilizada en el mundo, principalmente para el cultivo de hortalizas de hoja, aunque también se produce frutos como chile dulce, tomate y pepino, entre otros. Los altos costos de inversión inicial son compensados por los bajos costos operacionales y una alta productividad en comparación con el uso tradicional del suelo.

El NFT original consiste en hacer circular permanentemente una delgada lámina de solución nutritiva en el fondo de un canal que tiene una pendiente de 1 a 2%. La solución es recirculada través del sistema radical del cultivo, con el objetivo de que las raíces dispongan de suficiente oxígeno disuelto para su metabolismo.

En Costa Rica, se utiliza el NFT modificado (Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. 1999), el cual consiste en mantener en el canal de cultivo, previamente nivelado, una reserva de agua de 3 a 5 centímetros de altura, la cual se recircula periódicamente para mantener una adecuada concentración de oxígeno en el esta.

Este sistema de manejo permite un margen de seguridad en el tiempo en caso de que falle la electricidad, puesto que el contenedor tiene una reserva de agua importante. Además, permite un ahorro significativo de electricidad al no trabajar la bomba durante las 24 horas.

Aunque lo ideal es que el cultivo en NFT este bajo condiciones protegidas, el alto costo de la inversión inicial limita su uso en cultivos como lechuga. Sin embargo, existen experiencias de producción en NFT al aire libre con muy buenos resultados. El manejo y ajuste de la solución nutritiva en función del clima, es un factor importante para tomar en cuenta, ya que en periodos de fuertes lluvias se da un efecto de dilución y disminución de la conductividad eléctrica que

afecta el peso y la calidad del producto. Para esto se recomienda, dejar una llave de paso con una desviación en el tubo de recolección de drenaje a la entrada del reservorio, para evacuar el exceso de agua de lluvia captada en los tubos, de manera que no diluya la que hay en el tanque.

Requerimientos nutricionales en el sistema “NFT”.

No hay estudios que permitan recomendar con exactitud cual es la mejor formula nutritiva para la nutrición de lechuga hidropónica en NFT. Los requerimientos y formulas nutricionales pueden variar debido a las diferencias climatológicas y varietales, por tanto, no existe una solución nutritiva ideal. La literatura al respecto es amplia y dispersa, lo cual puede observarse en el cuadro 1. Bemardes (1997), afirma que una solución nutritiva a ser utilizada en un cultivo hidropónico depende de la variedad, la estrategia de crecimiento, las condiciones climáticas, el estado del año, la luminosidad y la altitud local de cada país, por lo que es necesaria la adecuación de las fórmulas nutritivas según la región. Alta precipitación con baja intensidad lumínica y altas humedades relativas, así como la alta luminosidad acompañada de altas temperaturas y bajas humedades relativas afectan el patrón normal de crecimiento y absorción mineral ya que se altera el flujo de transpiración normal, uno de los mecanismos predominantes en la absorción mineral.

Furlani et al. (1999), menciona que muchos cultivos hidropónicos no tienen éxito principalmente debido al desconocimiento de los aspectos nutricionales del sistema de producción. Greenwood y Cleaver (1974), establecen que la lechuga responde bien al fósforo y nitrógeno, pero no al potasio. Splittstoesser (1974), expresa que al aumentar los niveles de nitrógeno, la proteína total y el peso fresco de la planta son mayores. Deficiencias de calcio produce desordenes fisiológicos o quema de bordes en las hojas jóvenes conocido como Tipburn (Beninni *et al*, 2003). Goto *et al*. (2001), cita que la lechuga inicialmente consume cantidades relativamente pequeñas de nutrientes, pero es muy exigente en nutrientes en la fase final del ciclo.

Así, con un adecuado manejo de la nutrición, la calidad de la lechuga puede incrementarse, características tales como tamaño, sabor, crugencia, turgencia y apariencia. Es

importante señalar que normalmente los consumidores le dan más atención a atributos como la apariencia y la textura, que a los atributos nutricionales.
para todas las especies vegetales en condiciones de cultivo.

Cuadro 1. Diferentes concentraciones minerales (mg/L) para lechuga hidropónica utilizadas por diversos autores en diferentes países.

Nivel	Cationes			Aniones			Menores					
	Ca	K	Mg	N	S	P	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo
Máximo	300	497	126	235	228	77	5,57	0,15	7,00	1,15	3,00	0,15
Mínimo	20	45	15	90	22	20	0,20	0,02	0,3	0,04	0,07	0,01

Fuente: Elaboración propia a partir de rangos de soluciones nutritivas creadas por diversos autores.

Vida útil de la solución nutritiva.

Las soluciones nutritivas se preparan a partir de soluciones concentradas (o soluciones madres), solución A la cual consta de los fosfatos, sulfatos y nitratos, la solución B que contendrá todos los elementos menores y la solución C que contiene el calcio.

La vida útil de la solución nutritiva en NFT, son aspectos de gran importancia y muy discutidos por algunos investigadores. Sin embargo, esto depende mucho de la época climática y de la calidad del agua, factores que determinan la acumulación de iones nocivos para las plantas y el desbalance de cationes y aniones en la solución nutritiva. El productor debe ser capaz de “leer planta” para determinar por sus propios criterios cual es el momento óptimo de renovar solución nutritiva. Al inicio, cuando se pone solución nueva, se observa una excelente calidad de plantas, sin embargo, conforme se sacan mas ciclos de cultivo, es factible observar una disminución en la calidad del cultivo, lo cual es un indicador para la renovación.

Resh (1997), considera que la vida útil de una solución nutritiva depende principalmente del porcentaje de iones acumulados no utilizados por las plantas de forma inmediata. Por otra parte, Backes *et al.* (2003) consideran que una solución nutritiva no debería ser empleada por un período superior a tres meses, recomendando una renovación completa de la misma después de

ese período. Mientras que Castellane y Araújo (1995) afirman que el período útil de una solución nutritiva es de tres a cuatro semanas, en cuanto para Santos (2000) un período de utilización de una solución esta comprendido entre los 60 y 90 días.

El factor clima, variedad y la falta de información en la nutrición mineral en NFT hacen difícil estandarizar su manejo, y los productores deben de hacer pruebas de acierto y error hasta lograr un plan de nutrición estable, que en muchos casos termina con problemas en la producción.

Cuadro 10. Parámetros técnicos por semana en producción de lechuga en la técnica NFT al inicio, final del y promedio por tubo.

SEMANA	pH			CE			T ^a			O ₂		
	inicio	Final	Prom.	inicio	Final	Prom.	inicio	Final	Prom.	inicio	Final	Prom.
SEMANA 1	6,46	6,44	6,45	2,02	2,18	2,10	24,39	24,34	24,36	4,53	5,19	4,86
SEMANA 2	6,46	6,39	6,42	2,20	2,41	2,30	24,44	25,54	24,99	3,74	3,70	3,72
SEMANA 3	6,88	6,78	6,83	1,64	1,71	1,68	24,57	24,26	24,42	3,21	2,63	2,92
SEMANA 4	7,02	6,71	6,87	1,45	1,34	1,40	24,55	24,19	24,37	3,05	1,55	2,30
SEMANA 5	6,82	6,53	6,67	2,43	2,76	2,60	25,38	25,14	25,26	3,72	1,94	2,83
Promedio	6,73	6,57	6,65	1,95	2,08	2,01	24,67	24,69	24,68	3,65	3,00	3,33

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DEL SISTEMA NFT.

Antes de establecer un proyecto comercial en NFT es importante identificar cuales son los diferentes componentes del sistema, para determinar con exactitud que es lo que se requiere para el tamaño de la unidad productiva, sin hacer inversiones excesivas.

El diseño del sistema de riego consta de tanque reservorio, canales de cultivo, bomba de agua, un panel de control de ciclos de riego, tuberías de alimentación, boquillas de alimentación y tubería recolectora de drenaje.



Figura 1. Componentes de un sistema de producción en NFT.

1- Tubos o canales de cultivo: Normalmente se utilizan módulos de 10-12 tubos de PVC a lo ancho y de largo variable que va desde 6 hasta 18 metros, en algunos casos. El diámetro es de 3 pulgadas, colocados sobre soporte a unos 60 centímetros de altura, separados a 18-20 centímetros, y perforados a lo largo cada 20-25 centímetros según la densidad de siembra deseada.

2- Tubería de alimentación: El sistema de alimentación de los canales está compuesto de una tubería de distribución y boquillas de diferentes caudales, desde 50 hasta 120 L/h que abastecen de solución nutritiva al inicio de cada uno de los tubos. El diámetro de la tubería de alimentación depende del caudal total a bombear, que a su vez depende del tamaño del proyecto, específicamente del área de los sectores de riego y del caudal y número de boquillas a operar.

3- TANQUE RESERVORIO. La capacidad del tanque se puede calcular en función del número total de lechugas a producir y en base al total de tubos o canales de producción.

En el cuadro 2, por ejemplo, se observa que el consumo promedio de solución desde la 1 hasta semana 5 es aproximadamente de 0.2 litros por lechuga/día. Si la producción es de 1120 unidades por semana (cuadro 3), en un ciclo escalonado de 5 semanas (5600 lechugas en total), y se maneja todo en un solo sector de riego, el requerimiento del tanque es de 2250 litros. Este valor se obtiene de multiplicar 5600 lechugas por 0.2 litros (1120 litros), sin embargo, considerando

que en general la velocidad de alimentación de solución en los tubos es mayor que el retorno al tanque, este valor se duplica (2250 litros). Así se evita el riesgo de que el tanque quede vacío antes de finalizar un ciclo de riego.

Observando el cuadro 3, si se calcula según el número de tubos, el volumen es de 3000 litros. Este se obtiene al multiplicar la cantidad total de tubos (200) por el volumen aproximado del tubo lleno hasta mitad (15 litros).

Cuadro 2. Consumo promedio semanal de agua en lechuga cultivada en NFT en época de transición de verano a invierno.

Criterio	Semanas (sdt)					Promedio
	1	2	3	4	5	
Días después del trasplante (ddt)	7	15	21	28	35	7
Lechugas/m ²	25	25	25	25	25	25
Volumen de solución/planta/día (ml)	112	176	224	236	244	198,4
Volumen de solución/planta/semana (ml)	784	1232	1568	1652	1708	1388,8
Volumen de solución/planta/ciclo (ml)	3920	6160	7840	8260	8540	6944
Volumen de solución/m ² /día (L)	2,8	4,4	5,6	5,9	6,1	4,96
Volumen de solución/m ² /semana (L)	19,6	30,8	39,2	41,3	42,7	34,72
Volumen de solución/m ² /ciclo (L)	98	154	196	206,5	213,5	173,6

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 2 se muestra el comportamiento en consumo de agua de la lechuga en NFT. Se da un marcado incremento en el consumo desde la semana 1 a la semana 4, esto se debe a que en este periodo hay un acelerado aumento en el área foliar o superficie de transpiración, lo cual se evidencia en el incremento del número y longitud de las hojas. Entre la semana 4 y 5 el consumo de agua se estabiliza. En esta etapa se produce una compactación de hojas internas propio del acogollado, la superficie foliar expuesta a la evaporación se estabiliza, por lo que no incrementa significativamente el flujo de transpiración. Sin embargo, la compactación de cabeza produce un aumento muy significativo en el peso unitario.

4- Capacidad de la bomba: Está definido en parte por el caudal que se requiere mover para la correcta y uniforme alimentación de los canales de cultivo. Este caudal depende de la cantidad y del caudal de las boquillas de alimentación. Es muy usual en Costa Rica, utilizar boquillas tipo rondo de diferentes caudales que van desde 50 hasta 120 litros hora. Es importante recordar que entre mayor caudal por boquilla, se requiere bombas de mayor potencia de bombeo, lo cual incrementa los costos de inversión inicial. Por otra parte, boquillas de mayor caudal requieren tiempos de recirculación de la solución menores y se puede obtener un ahorro de electricidad, lo cual depende de los recursos disponibles y de la expectativa de crecimiento. En el ejemplo del cuadro 3, se tiene que el caudal de la boquilla es de 30 litros hora por 200 canales de cultivo, da un total de 6000 litros por hora. Con este dato y la presión de operación de la boquilla se busca el modelo analizando la curva típica de la bomba, caudal vs. presión.

5- Tubería de recolección de solución drenada. Esta debe tener suficiente diámetro para recolectar el volumen drenado de todos los canales de cultivo, en general se utiliza un diámetro de 2 o 3 pulgadas.

6- Calibración y evaluación del programa de reciclaje.

Antes de establecer un proyecto en NFT es indispensable un buen diseño hidráulico del sistema, considerando todos los aspectos técnicos involucrados. Por tanto, un buen diseño y la evaluación del sistema antes de entrar en operación, es una herramienta útil, necesaria y obligatoria.

Es común observar entre los productores en esta técnica, aplicar programas copiados de otros países, tal como reciclajes de 15 minutos cada hora, sin tomar en cuenta criterios técnicos del diseño hidráulico del sistema.

El tiempo de recirculación de la solución nutritiva depende del caudal horario de las boquillas utilizadas y de la longitud del canal de cultivo.

El registro diario de estas variables permitió concluir que el manejo dado a la solución nutritiva respecto a reposiciones y número de veces que se debe reciclar diario y durante la semana es el adecuado.

El coeficiente de uniformidad de distribución del agua (CU) del sistema de alimentación de los tubos, es de suma importancia tanto para determinar si hay correcta distribución del agua como para asegurarse de una adecuada renovación y oxigenación del remanente de solución nutritiva que queda en el tubo después de cada riego.

Un tubo de tres pulgadas con una lamina de cuatro centímetros, tiene un volumen aproximado de 15 litros de solución nutritiva, el cual hay tener la certeza de recambiarlo en cada ciclo de riego. Para la evaluación del sistema se hace un muestreo de la descarga de 16 boquillas de alimentación durante tres minutos, y con esta información se calcula el CU. Sin embargo, aunque este sea excelente (95.3%), esto no asegura una adecuada renovación y oxigenación de la solución remanente en los tubos.

En el ejemplo del cuadro 3, el caudal promedio obtenido en el muestreo es de 30 litros hora, al relacionarlo con el caudal recirculado en el tiempo de riego establecido (30 minutos) para canales de un tubo (1 metro), se obtiene un volumen recirculado de 15 litros por riego cada hora, esto asegura que se renueva todo el volumen de 15 litros que hay remanente en el tubo, obteniéndose consecuentemente una optima oxigenación del sistema radical a lo largo del tubo. En el caso de utilizar canales de dos tubos (12 metros) el tiempo de recirculación es de una hora ya que el volumen remanente a recircular se duplica (30 litros) y el caudal de las boquillas es de 30 litros hora. En este caso se observa que la capacidad requerida para la bomba es menor que el caso de los canales de seis metros, no obstante, que el tiempo de bombeo se duplica.

Cuadro 3. Diseño de un sistema de producción en NFT utilizando canales de un o dos tubos.

Datos del sistema		Canal de un tubo	Canal de dos tubos
Caudal prom. boquilla evaluada (L/H)		30	30
Canales/modulo		10	10
Total de modulos		20	10
Canales totales en todo el sector		200	100
TOTAL BOQUILLAS/area		200	100
PLANTAS POR CANAL		28	56
Total de plantas		5600	5600
Programa de riego			
Nº de riegos/dia		8	8
Duracion por riego (minutos)		30	60
Tiempo total de riego/dia (minutos)		240	480
Intervalo entre riegos (horas)		1	1
VOLUMEN RECIRCULADO	Canal/riego (L)	15	30,0
	Modulo/riego (L)	150	300
	Area total/riego (L)	3000	3000
CAUDAL TOTAL	L/H	6000	3000
	L/MIN.	100	50
Capacidad del tanque:			
1- En función del volumen total de tubos: L		3000	3000
2- En función del consumo de agua/día		2240	2240
Capacidad de la bomba (L/H):		6000	3000
Calculo del volumen del tubo o canal de cultivo			
Tubos por canal	Volumen (litros)		
Un tubo	Lleno total	Lleno a 4 CM	Lleno 4 cm
Dos tubos	29,14	14,6	29,1392

Fuente: Elaboración propia.

Limpieza de los canales de cultivo.

Después de la cosecha, normalmente se procede a la limpieza y desinfección de los canales de cultivo. La limpieza se realiza utilizando una sonda que consta de una manguera con cierta rigidez, pero a la vez flexibilidad para adaptarse a las limitaciones de espacio, sobre todo en invernadero. La sonda consta de una especie de hisopo áspero en uno de sus extremos, el cual se introduce a lo largo del tubo con cierto movimiento para despegar la capa de residuos orgánicos “biofilm” de las paredes del tubo. Seguidamente se enjuaga con suficiente agua y

luego se aplica algún desinfectante como cloro, extracto de semilla de cítricos (killol o biocto), peróxido o ácido peracético, el cual se hace recircular por los canales de riego, y al final se enjuaga con suficiente agua para no dejar residuos.

Esta es una labor que demanda mucha mano de obra, comparada con los sistemas de cultivo en piedrilla en bancales. Quizás por esta razón, algunos productores han optado por lavar el tubo, solo después de 8 a 10 ciclos de cosecha, cuando ya la población de algas en el fondo del canal limita el libre flujo del agua. Esto a simple vista, parece muy arriesgado, pues hace a un lado todas las teorías de asepsia y prevención, sin embargo, muchos agricultores lo practican con muy buen éxito. Una de las posibles explicaciones de este fenómeno es que en el fondo del tubo se crea una flora microbiana benéfica que más bien protege a las raíces de los cultivos. Contrario sucede cuando se desinfecta totalmente los tubos, si las medidas de prevención fallan y se introduce un patógeno, se produce una epidemia total ya que no hay microorganismos antagonistas en el medio.

Rendimientos de lechuga en el sistema NFT.

Cuadro 1. Peso promedio de lechuga var. Gulf stream en sistema hidropónico NFT a las 5 y 6 semanas después del trasplante en 10 cajas de producto fresco.

Nº caja	Peso promedio	
	Unitario a la semana 5	Unitario a la semana 6
1	353,8	398,2
2	357,1	431,4
3	350,0	423,1
4	357,3	463,1

5	355,4	440,7
6	349,3	405,5
7	372,2	419,8
8	351,0	561,1
9	356,0	472,7
10	409,2	486,7
Promedios	361,1	450,2

Independiente de los aspectos de calidad del producto final tales como tamaño, aspecto visual (color y brillo), crujencia, sabor, sanidad, limpieza e inocuidad, el peso promedio unitario es un parámetro importante para tomar en cuenta al comercializar en cadenas de supermercados, ya que se establece como norma general pesos mínimos de 250 a 300 gramos. El peso promedio a la semana 5 oscila de 350 a 410 gramos, mientras que a la semana 6 el peso vario entre 398 y 561 gramos.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- 1- HOWARD M. RESH. 2001. CULTIVOS HIDROPONICOS. NUEVAS TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN. 5ª Edición. Madrid, España. Ediciones Mundi – Prensa. 558 p.
- 2- MIGUEL URRESTARAZU GAVILAN. 2000. Manual de cultivo sin suelo. Madrid, España. Ediciones Mundi- Prensa. 648 p.

3- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Gilda Carrasco. Juan Izquierdo. 1996. Manual técnico. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT). Talca Chile. Editorial Universidad de Talca. 105 p.

5- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE HIDROPONIA Y NUTRICION MINERAL. 1999. Curso práctico internacional de hidroponía. Lima, Perú. 91 p.

BACKES, F. SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; NOGUEIRA, H.; MANFRON, P.; CASAROLI, D. 2003. Reposición de nutrientes durante tres cultivos de lechuga en hidroponía. Horticultura Brasileira, 21 (4), 12 pp

BEMARDES, L. 1997. Hidroponia da alface- uma história de sucesso. Tomada: Estación Experimental de hidroponía “alface & cia”, p 135.

BENINNI, E.R.Y.; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J. 2003. Manejo do cálcio em alface de cultivo hidropônico. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 21, n. 4, p. 605-610, octubre-diciembre.

CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. 1995. Cultivo sem solo-hidroponia. Jaboticabal: FUNEP, 43p.

CERDAS, M; BARRANTES, M. 2005. Estudio de caracterización de lechuga (*Lactuca sativa*): cosecha invernal 2005 para desarrollo de reglamento técnico. Consejo Nacional de Producción (CNP), Dirección de Calidad e Inocuidad Agroalimentaria Área Laboratorio. San José, Costa Rica. 20p.

FURLANI PR; SILVEIRA LCP; BOLONHEZI D; FAQUIM V. 1999. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: IAC. 52p. (Boletim técnico, 180).

GOTO, R.; GUIMARAES, V.; ECHER, M. 2001. Aspectos Fisiológicos E Nutricionais No Crescimento e Desenvolvimento de Plantas Hortícolas. En: Beckes, *et al.* Reposição de nutrientes em solução nutritiva para cultivo hidropônico de alface. Ciencia rural, set-oct, v 34, número 005. pp: 1407-1414.

GREENWOOD, D.J.; CLEAVER, M. 1974. Fertilizer worth millions in wasted each year. National Vegetable Research Station. 23p.

- RESH, H.M. 1997. Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción. 4 ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, p 509.
- SANTOS, O.S. 2000. Soluções nutritivas para alface. In: SANTOS, O. Hidroponia da alface. Santa Maria: UFSM, p: 90-101.
- SOTO, F. 2006. Producción de lechuga (*lactuca sativa*) con la técnica de lámina de nutrientes modificada (nft). Instituto nacional de aprendizaje Núcleo gestión de formación y servicios tecnológico. Agropecuarios. Subsector productivo fitotecnia. Área funcional hidroponía. Uruca, San José, Costa Rica. p 38.