

<https://doi.org/10.5154/r.ctas.01>

Versión en español

Rendimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivadas con sistemas NFT modificados en tiempos de pandemia

Historial del artículo:

Recibido: Noviembre 17, 2021

Aceptado: Junio 09, 2022

*Autor de correspondencia:

agustin.lopezh@gmail.com

Alfredo Rodríguez-Delfín¹; Agustín de J. López-Herrera^{2*}; Vicente Rojas-Rojas¹; Brian Fabio García-Galindo²

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Av. La Molina s/n. La Molina Lima, Perú.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco Edo. de México. C. P. 56230.

Resumen

Debido a la pandemia causada por el COVID-19 a nivel mundial, es necesario replantear la forma de producir hortalizas en los espacios libres de las viviendas, porque muchas personas perdieron sus puestos de trabajo y requieren ingresos. Una forma de producir plantas en las viviendas es a través de la hidroponía o cultivo sin suelo. Para este fin, se realizó un ensayo para evaluar el crecimiento y rendimiento de una variedad de lechuga tipo crespa con la técnica de película nutriente (NFT; *Nutrient Film Technique*) modificada. Se evaluaron tres sistemas NFT modificados: 1) horizontal de ocho canales de cultivo, 2) piramidal de 10 canales y, 3) piramidal de 13 canales. Se encontraron diferencias significativas en el número de hojas, longitud de raíz, peso seco y peso fresco de la planta, así como rendimiento en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ y kg por sistema NFT. El mayor peso fresco de la planta y rendimiento se alcanzó en producto cultivado con el sistema NFT piramidal de 10 canales de cultivo. Se evaluó la concentración de clorofila en las hojas (unidades SPAD) y densidad de flujo de fotones fotosintéticos, pero no se encontraron diferencias significativas. Los rendimientos (peso fresco, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, kg por sistema NFT) y la utilidad logrados con el sistema NFT modificado de 10 canales de cultivo fueron mayores.

► **Palabras clave:** : *Lactuca sativa* L., COVID-19, generación de empleo, PPDF, SPAD, soluciones nutritivas.

Introducción

Debido a la pandemia de COVID-19, se han perdido millones de puestos de trabajo en todo el mundo y, probablemente, pasarán varios años antes de que las personas recuperen su empleo y se vuelva a la normalidad. Mientras tanto, millones de hogares luchan por conseguir alimentos para subsistir. Una propuesta para superar esta crisis es la producción de hortalizas en las viviendas con sistemas hidropónicos de tecnología simple o intermedia, que representa una técnica para producir plantas sin tierra o suelo. El suelo se reemplaza con sustratos inertes y las plantas son

regadas con soluciones que contienen nutrientes, minerales esenciales disueltos en el agua en concentraciones óptimas. La producción sin suelo permite obtener hortalizas de excelente calidad en menor tiempo que las obtenidas con producción convencional en suelo, y se asegura un uso más eficiente de agua y fertilizantes, evitando la contaminación del ambiente. Con esta técnica es posible producir dentro de las viviendas, lo que permitiría a las familias obtener alimentos inocuos y generar ingresos con la venta de las hortalizas, permitiendo cubrir sus necesidades básicas que dejaron de recibir cuando él o la responsable del hogar, perdieron sus trabajos debido a la pandemia.

Una opción de manejo que se ha practicado en lechuga es la reutilización de la solución nutritiva, mediante el uso de un sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), en donde las raíces de la planta se mantienen todo el tiempo en contacto con la solución nutritiva sin el uso de algún sustrato. El principio del sistema consiste en recircular continuamente la solución por una serie de canales de PVC de forma rectangular de color blanco, llamados canales de cultivo (Carrasco e Izquierdo, 1996; Carrasco, 2004; Rodríguez Delfín, 2012). En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas sostenidas por pequeños vasos plásticos. Los canales están apoyados sobre mesas o caballetes y tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución, misma que es recolectada y almacenada en un tanque (Rodríguez Delfín, et al., 2002). Los sistemas hidropónicos simplificados son especialmente adecuados para la instalación en techos (Rodríguez Delfín, et al., 2017). Para aprovechar los escasos espacios que puedan quedar libres en las casas, el sistema NFT, generalmente horizontal, se puede ajustar con estructuras en pirámide, logrando cultivar más plantas en la misma área ocupada por un sistema NFT horizontal (Rodríguez Delfín et al., 2017).

El objetivo de esta investigación fue evaluar tres tipos de sistema NFT modificado para la producción de lechuga y determinar el más apropiado para obtener mayor rendimiento y calidad del cultivo, además de mayor utilidad por las ventas.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú (12° 05' 06" Sur, 76° 51' 00" Oeste; 243 m de altitud) durante el verano-otoño del año 2019. Las condiciones climáticas durante el ensayo fueron: radiación global 16.2 (± 0.670) MJ·m⁻²·d⁻¹; promedio de temperaturas máxima y mínima 27.8 (± 0.26) °C y 19.2 (± 0.26) °C, respectivamente; promedio de temperatura diurna y nocturna 23.9 (± 0.26) °C y 20.1 (± 0.26) °C, respectivamente; promedio de humedad relativa 77.9 (± 0.76) % y precipitación total 1.3 mm.

Se utilizó semilla de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tipo crespa, variedad Ariana de la empresa Feltrin®, tolerante al calor, para producción incluso en verano. Las semillas se sembraron en un contenedor de 0.40 m × 0.40 m, forrado con lámina de polietileno negro de 8 µm de grosor. Se usó arena de cantera de textura media como sustrato, previamente lavada y desinfectada con una solución de hipoclorito de sodio al 2 %; luego, el sustrato fue enjuagado y colocado en un contenedor. La emergencia de las plántulas se observó a los seis días después de la siembra, permaneciendo en el semillero ocho días más. A los 15 días de la siembra, las plántulas fueron trasplantadas a un sistema de raíz flotante para adaptarse al sistema hidropónico que implicó de un contenedor de 0.40 m × 0.40 m

× 0.10 m; a esta etapa se le llamó primer trasplante o post almácigo. Las plántulas trasplantadas fueron colocadas en una plancha de poliestireno expandido de 2.5 cm de grosor y para sostenerlas en la plancha, se usó esponja (poliestireno expandido) de 1.25 cm de espesor, de tal forma que las raíces permanecían en contacto directo con la solución hidropónica denominada La Molina (Rodríguez-Delfín et al., 2002), preparada con los siguientes nutrientes: N 190; P 35; K 210; Ca 150; Mg 40; S 98; Fe 1.0; Mn 0.8; B 0.6; Zn 0.20; Cu 0.15 y Mo 0.10. Los valores de pH variaron de 6.0 a 6.5 y la conductividad eléctrica entre 2.0 y 2.2 dS·m⁻¹.

En la etapa de raíz flotante, la solución nutritiva fue oxigenada con un batidor manual limpio para estimular el crecimiento de las raíces y evitar su pudrición por falta de oxígeno. Luego de 15 días, es decir a los 30 días de la siembra, las plantas se trasplantaron a los canales de cultivos de tres sistemas NFT modificados: a) horizontal con ocho canales, b) piramidal con 10 canales y c) piramidal con 13 canales (Figura 1), sistemas diseñados e implementados por el CIHNM de la UNALM. La separación entre canales en los tres sistemas piramidales fue de 0.20 m y de 0.18 m entre plantas, lo que implica un área de 3.0 m × 1.5 m de cada sistema. El número de plantas de lechuga que se cultivaron por sistema NFT modificado fue de 120, 150 y 190 unidades, respectivamente. Los sistemas NFT modificados fueron instalados dentro de un ambiente sombreado con malla de sombra 50 % de color negro, colocado a 4.5 m de la superficie del suelo, la cual contribuyó a reducir la temperatura del microambiente en 2.0 a 3.0 °C.

Para evaluar los sistemas NFT modificados en el crecimiento de las plantas, se evaluó peso fresco, peso seco, número de hojas, longitud de raíces, rendimiento·m⁻² y rendimiento por sistema. También se obtuvieron datos de densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) e índice SPAD (concentración de clorofila en las hojas); la toma de estos datos se realizó en las fechas 22, 25 y 29 de marzo del 2019.

Para obtener los valores SPAD se usó un medidor Minolta® (Modelo SPAD-502 Plus), el cual mide el contenido de clorofila de las hojas, que además de ser rápido y no destructivo, realiza una evaluación en función de las propiedades de transmitancia espectral de las hojas (Ribeiro da Cunha, et al., 2015). Además, se utilizó un medidor de PPFD (marca Spectrum®, modelo 3415F) para medir luz, el conductímetro Oakton waterproof Eco Testr, el pHmetro Oakton waterproof pH 2 Testr y estufa marca Memmert, modelo 1060 para obtener el peso seco de las muestras.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con ocho repeticiones para cada sistema. En la toma de datos se excluyeron plantas de las orillas. Los datos fueron procesados mediante un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con el estadístico de Tukey, con nivel de significancia de 0.05 y con el auxilio del software Minitab versión 18.



Figura 1. De izquierda a derecha, módulos NFT modificados de 8, 10 y 13 canales de cultivos.

Cuadro 1. Efecto de tres sistemas NFT modificados sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de lechuga.

Canales en sistema NFT	LR (cm)	No. de hojas	PS (g)	PF (g)	REN (kg·m ⁻²)	RENFT (kg·sistema)
8	18.12 a ^z	10.4 a	7.60 a	94.25 ab	2.51 b	11.32 b
10	14.50 b	9.0 b	5.07 b	112.63 a	4.75 a	21.38 a
13	17.75 a	10.5 a	5.54 b	79.87 b	2.66 b	11.97 b

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); NFT: nutrient film technique; LR: longitud de raíz; PS: peso seco de planta; PF: peso fresco de planta; REN: rendimiento por metro cuadrado; RENFT: rendimiento por sistema NFT.

Resultados y discusión

Análisis agronómico

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tres sistemas NTF para todas las variables evaluadas (Cuadro 1). Los mayores valores de peso fresco de planta (PF) y rendimiento por metro cuadrado (REN) y por sistema (RENFT), se alcanzaron en las plantas cultivadas con el sistema NFT piramidal de 10 canales de cultivo, obteniéndose 112.63 g de PF por planta y rendimiento de 4.75 (kg·m⁻²) y 21.38 (kg por sistema) en REN y RENFT, respectivamente. Además, las mismas variables fueron similares en las plantas cultivadas bajo los sistemas NFT horizontal de ocho canales y el piramidal de 13 canales de cultivo. Finalmente, el mayor valor de peso seco (PS, 7.6 g) se obtuvo en las plantas cultivadas con el sistema de ocho canales de cultivo, mientras que el mayor número de hojas se registró en el sistema de ocho y 13 canales. Estos resultados se pudieron deber a que la forma del caballete

en los sistemas NFT modificados determina la estructura del sistema en el cual crecen las plantas. Asimismo, los sistemas NFT piramidales de 10 y 13 canales de cultivo aprovechan mayormente el espacio vertical, permitiendo más plantas por unidad de superficie en relación con el de ocho canales (Figura 1). En función del ángulo de la estructura o caballete, las plantas pueden llegar a sombreadarse, disminuyendo la absorción de luz en los estratos inferiores, lo que puede afectar el tamaño final y explicar lo sucedido entre el sistema de 10 y 13 canales, es decir, que la densidad de 190 plantas pudo afectar negativamente la captación de luz y consecuentemente el rendimiento.

En un sistema NFT para una producción de 120 plantas de lechuga, Fraile-Robayo, et al., (2017) encontraron una acumulación de materia seca total de 13.2 y 16.5 g en dos ciclos de cultivo de lechuga que se alcanzaron a los 43 y 36 días después del trasplante, respectivamente, mientras el ciclo del ensayo fue de 30 días después del trasplante. La diferencia de pesos secos obtenidos puede explicarse

Cuadro 2. Valores de unidades SPAD y de densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) en el microambiente de plantas de lechuga cultivadas en tres sistemas NFT modificados.

Canales en sistema NFT	SPAD			PPFD ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		
	Fecha de evaluación en 2019			Fecha de evaluación en 2019		
	Marzo 22	Marzo 25	Marzo 29	Marzo 22	Marzo 25	Marzo 29
8	17.20 a ^z	20.60 a	18.52 a	316.0 a	410.0 a	313.3 a
10	17.12 a	20.23 a	15.96 a	403.3 a	380.0 a	289.3 a
13	16.05 a	26.36 a	22.66 a	470.0 a	430.0 a	450.0 a

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); NFT: nutrient film technique; SPAD: índice de concentración de clorofila en las hojas; PPFD: densidad de flujo de fotones fotosintéticos.

también por las condiciones climáticas. En ese trabajo se condujo el ensayo en condiciones de temperaturas promedio de 17.5 °C, a 2,690 m de altitud, mientras que en La Molina (a 240 m de altitud), el ensayo se realizó en verano, con temperaturas máxima y mínima de 27.8 y 19.2 °C, respectivamente. En época de calor, el rendimiento de lechuga es menor al obtenido en otoño-invierno, por ser un cultivo de esa época, es decir, de estación fría donde las temperaturas óptimas oscilan entre 17 y 28 °C durante el día y entre 3 y 12 °C durante la noche (Morgan, 1999). El cultivo de lechuga desarrolla cabezas sueltas e hinchadas cuando se disponen temperaturas supra-óptimas (Jenni y Yan, 2009). En condiciones de otoño-invierno se han reportado pesos frescos de 91 a 145 g en las mismas siete variedades de lechuga que toleran calor. Los rendimientos fueron mayores en el segundo ensayo debido a las menores temperaturas registradas en otoño (Rodríguez Delfín, et al., 2001). En un ensayo en otoño (temperatura máxima 22.9 °C y mínima 14.9 °C), Coronel, et al., (2009) reportaron pesos secos de 9.0 y 11.5 g y pesos frescos de 147 y 248 g en lechugas hidropónicas cultivadas en sistema de raíz flotante, en variedades Manuela (tipo seda) y Asterix (tipo hoja de roble), respectivamente. Valverde, Chang y Rodríguez (2009), reportaron pesos secos de 8.6 y 9.5 g y pesos frescos de 123.6 y 276.0 g en cinco variedades de lechugas cultivadas en verano en ambientes sin y con malla de color negro 50 %, respectivamente; siendo la variedad tipo cressa Fanfare la que produjo mayor peso seco y fresco (9.9 y 224.5 g, respectivamente).

La diferencia significativa obtenida en el crecimiento y rendimiento en las plantas de lechuga en los diferentes sistemas NFT modificados de este experimento no influyeron en el contenido de clorofila, ya que no se encontraron diferencias significativas en las unidades SPAD (Cuadro 2). Las lecturas SPAD se correlacionan significativamente con el contenido de clorofila, contenido de la enzima Rubisco, con la tasa fotosintética neta y con el rendimiento cuántico del fotosistema II, por lo que el medidor SPAD tiene el potencial de estimar la capacidad fotosintética de las hojas (Kumagai, et al., 2009). El contenido de clorofila aumenta

en proporción al contenido de nitrógeno presente en la hoja. Un valor alto de SPAD indica una planta saludable (Son, et al., 2016). Las unidades SPAD en una misma planta alcanzan valores relativamente mayores y menores en hojas adultas y jóvenes, respectivamente (Maleki, et al., 2012). Fraile-Robayo et al. (2017), encontraron bajo contenido de clorofila (unidades SPAD) en lechuga tipo mantecosa, variedad Black Simpson, que produce hojas de color verde pálido, lo cual es similar a la variedad Ariana usada en el ensayo. Plantas con una nutrición adecuada de nitrógeno, magnesio, hierro y manganeso, tienen mayor contenido de clorofila (valores SPAD) y se correlaciona con una mayor tasa fotosintética (Son et al., 2016). Los valores SPAD obtenidos en plantas de lechuga pueden cambiar según la variedad, condiciones lumínicas del ambiente donde crece el cultivo, así como concentración de nitrógeno, magnesio, hierro y manganeso. La solución nutritiva empleada por Fraile-Robayo et al. (2017) tuvo una concentración de nitrógeno, magnesio, hierro y manganeso de 224.0, 82.0, 4.0 y 2.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente, mientras que la solución nutritiva usada en el ensayo tuvo una concentración de 190.0, 40.0, 1.0 y 0.8 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente. Las mayores concentraciones de nitrógeno, magnesio, hierro y manganeso en la solución nutritiva empleada por Fraile-Robayo et al. (2017) explicaría el valor SPAD relativamente alto (27) alcanzado en las plantas de lechuga a los 39 días del trasplante, mientras que los valores SPAD alcanzados en el presente ensayo fluctuaron de 18.5 a 22.6 a los 30 días del trasplante (Cuadro 2). Escalona, et al. (2009), encontraron valores SPAD de 20.5 y 29.1 en hojas externas y de 13.6 a 21.6 en hojas internas de lechugas de la variedad Great Lakes 659 alimentadas con diferentes fuentes nitrogenadas, encontrando los mayores valores SPAD y contenido de nitratos cuando la fuente nitrogenada era nitrato de calcio. Otros elementos minerales como el estroncio, aunque no es un elemento esencial, pueden incrementar los valores SPAD en hojas de lechuga cultivadas en solución nutritiva; obteniéndose los mayores valores SPAD (16 a 20) en las plantas cultivadas con las concentraciones de 2.5 y 10.0 mM (Yan et al., 2019).

No se encontraron diferencias significativas en los valores de PPFD incidente sobre el área donde crecieron y desarrollaron las plantas de lechuga (Cuadro 2), fluctuando de 289.3 a 470.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En el ambiente externo, sobre la malla de sombra 65 %, el PPFD fluctuó entre 900 a 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. La densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) es una forma de medir la eficiencia o la intensidad de la luz. Ambientes con valores entre 200 a 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ son ideales para el crecimiento de plántulas y valores entre 400 a 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, son ideales para ciclos vegetativos de etapa temprana a tardía. Both, et al. (1998) evaluaron seis combinaciones de PPFD ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) y concentración de CO_2 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) en cultivo de lechuga de 35 días después del trasplante. El crecimiento de las plantas entre tratamientos fue similar, generando rendimientos promedio de 190 g de peso fresco, con un porcentaje de materia seca de 3.7 %. Both, et al. (1997), evaluaron diferentes niveles de PPFD (de 8 a 22 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en lechuga tipo Bibb variedad Ostinata, ob-

servando diferencias en la producción cabezas de lechuga comercializables (150 g de peso fresco) en 24 días después del trasplante cuando las plantas fueron cultivadas con un PPFD de 17 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Kang, et al. (2013), aplicando cuatro niveles de PPFD (200, 230, 260 y 290 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) con luces LED en plantas de lechuga, con una combinación de tres fotoperiodos diferentes de 18 h (un ciclo de 18/6, dos ciclos de 9/3 y tres ciclos de 6/2). La combinación de PPFD de 290 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y fotoperiodo largo de 18 h (un ciclo 18/6) provocó mayor peso fresco, longitud de raíz y mayor peso seco de hoja. Ambientes con PPFD de 290 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ con un fotoperiodo más corto de tres ciclos de 6/2, produce buen crecimiento de la planta y desarrollo de la lechuga.

Análisis financiero

La diferencia de costo entre los tres sistemas modificados evaluados se explica principalmente por la cantidad de

Cuadro 3. Materiales y costo de tres módulos NFT (Nutrient Film Technique) modificados de 3.0 m × 1.5 m.

Materiales	Sistema NFT			Precio unitario (pesos mexicanos)
	8	10	13	
Tubo PVC de 3" × 3 m	8	10	13	69.0
Tapa PVC de 3"	16	20	26	6.0
Tubo PVC de 2" × 3 m	1	1	2	45.0
Tapa PVC de 2"	2	2	2	3.0
Codo PVC de 2"	0	1	2	9.0
Unión en T de PVC de 2"	1	0	1	12.0
Unión en Y de PVC de 2"	0	2	3	14.4
Unión PVC con rosca de 1"	1	1	1	10.8
Conector de 3/4" cel de luz	8	10	13	6.0
Curva SE de 3/4"	8	10	13	3.0
Microtubo de 3 mm × m	2	3	5	9.0
Reducción bushing de 1 a 3/4"	3	3	3	12.0
Codo de 16 mm	2	2	2	6.0
Unión en T de 16 mm	2	2	2	4.8
Llave de paso 16 mm	2	2	3	12.0
Manguera PE 16 mm × m	8	10	14	3.6
Tanque de 100 litros	1	1	1	240.0
Electrobomba de 0.5 HP	1	1	1	600.0
Caballote horizontal × 8	3	0	0	480.0
Caballote piramidal × 10	0	3	0	600.0
Caballote piramidal × 13	0	0	3	720.0
Esmalte blanco × galón	1	1	1	210.0
Thinner × galón	1	1	1	120.0
Costo en pesos mexicanos	3,532.20	4,114.20	4,869.00	
Costo en dólares	176.61	205.71	243.45	

Paridad: 1 US = \$20.00 pesos mexicanos; NFT (Nutrient Film Technique).

materiales que se usan para cada módulo, de los cuales el sistema piramidal de 13 canales de cultivo demanda la mayor cantidad de tubos de PVC de 3" × 3 m y de tapas de PVC de 3", seguido de los módulos de 10 y 8 canales de cultivo, respectivamente (Cuadro 3). A pesar de que los tres sistemas usan tres caballetes, se observa mayor costo en los caballetes del módulo de 13 canales, porque emplea más material (fierro corrugado de construcción) para su armado y consecuentemente mayor costo por mano de obra, por lo que cada uno se cotiza en \$720.00 pesos, es decir 16.6 y 33.3 % más que los caballetes de 10 y 8 canales, cuyos costos son de \$600.00 y \$480.00 pesos, respectivamente, sin considerar accesorios adicionales como conector de 3/4", curva SE de 3/4" y cel de luz manguera PE 16 mm × m, entre otros, que también contribuyen al mayor presupuesto. En este contexto, la cantidad de materiales determina que el costo por módulo NFT de 3.0 m × 1.5 m sea de \$3,532.20, \$4,144.20 y \$4,869.00 para los sistemas de 8, 10 y 13 canales de cultivo, respectivamente, lo que implica un 14.8 y 27.4 % de menor inversión en los sistemas de 8 y 10 canales con respecto al de 13.

En los Cuadros 4, 5 y 6, se muestra la cantidad y costo de los insumos y los costos de producción de plantas de lechuga cultivadas en tres módulos NFT modificados de 3.0 m × 1.5 m, respectivamente. En el Cuadro 5 se considera una amortización de seis meses para los insumos del costo variable y, de acuerdo con el análisis económico, el costo de producción de lechuga en sistema NFT modificado de 8, 10 y 13 canales de cultivo, resultó en \$6.17, \$5.51 y \$4.90 pesos mexicanos, respectivamente (Cuadro 6), aunque cabe mencionar que el costo de producción no considera mano de obra, ya que la propuesta de producción implica módulos pequeños de 3.0 m × 1.5 m que se pueden instalar en algún lugar de una vivienda, generando ingresos a la familia, como una manera de retribución al cuidado y trabajo por cultivar las lechugas. El precio de la lechuga hidropónica en supermercados varía de \$15.00 (en presentación en bolsas de polipropileno) hasta \$36.00 si la presentación de la unidad es en contenedor de plástico o clamshell. Si se vende cada lechuga a \$12.00, incluso a granel, sin bolsa de polipropileno, se estaría logrando una ganancia de 83.5, 117.4 y 243.9 % para las lechugas culti-

Cuadro 4. Insumos para la producción de lechuga en tres módulos NFT modificados de 3.0 m × 1.5 m.

Insumos para producción	Costo (pesos mexicanos)	Sistemas NFT de diferentes canales		
		Horizontal 8	Piramidal 10	Piramidal 13
Juego de sales para 1,000 litros	240.00	1	1	1
Semilla de lechuga (sobre x 1,000)	210.00	130	160	200
Macetita para sostener plántulas	1.80	120	150	190
Contenedor raíz flotante 40 x 40 cm para 70 plántulas	90.00	2	3	4
Contenedor almácigo 40 x 40	60.00	1	1	1
Sustrato arena cantera x saco	60.00	1	1	1
Agua x 0.5 m ³	30.00	1	1	1
Trampas amarillas x 6 unidades	18.00	1	1	1
Trampas azules x 6 unidades	18.00	1	1	1
Goma entomológica x 350 ml	120.00	1	1	1

Paridad: 1 US = \$20.00 pesos mexicanos; NFT: Nutrient Film Technique.

Cuadro 5. Amortización para seis meses de la inversión en insumos para la producción de lechuga cultivada en tres módulos NFT modificados de 3.0 m × 1.5 m.

Insumos para producción	Sistemas NFT de diferentes canales		
	Horizontal	Piramidal	
	8	10	13
Juego de sales para 1,000 litros	240.00	240.00	240.00
Semilla de lechuga (sobre de 1,000)	27.30	33.60	42.00
Macetita para sostener plántulas	36.00	45.00	57.00
Contenedor raíz flotante 40 x 40 cm para 70 plántulas	30.00	45.00	60.00
Contenedor almácigo 40 x 40	10.00	10.00	10.00
Sustrato arena cantera x saco	10.00	10.00	10.00
Agua x 0.5 m ³	30.00	30.00	30.00
Trampas amarillas x 6 unidades	3.00	3.00	3.00
Trampas azules x 6 unidades	3.00	3.00	3.00
Goma entomológica x 350 ml	20.00	20.00	20.00
Costo en pesos mexicanos	409.30	439.60	475.00
Costo en dólares	20.47	21.98	23.75

Paridad: 1 US = \$20.00 pesos mexicanos; NFT: Nutrient Film Technique.

Cuadro 6. Costo de producción (pesos) de lechuga cultivada en tres módulos NFT modificados de 3.0 m x 1.5 m.

Insumos para producción	Horizontal 8	Piramidal 10	Piramidal 13
Materiales del sistema NFT (1 año)	294.36	342.84	405.78
Insumos para la producción (6 meses)	409.30	439.60	475.00
Costo total de producción	703.66	782.44	880.78
Producción total de lechuga	120	150	190
Merma 5 %	6	8	10
Producción de lechuga menos merma	114	142	180
Costo unitario en pesos mexicanos	6.17	5.51	4.90
Costo unitario en dólares dólares	0.31	0.28	0.24

Paridad: 1 US = \$20.00 pesos mexicanos; NFT: Nutrient Film Technique.

vadas en 8, 10 y 13 canales, respectivamente. No obstante, considerando que el peso mínimo solicitado por el mercado es de 200 a 250 g por lechuga o por empaque, según los resultados, el sistema NFT modificado de 10 canales sería el más rentable, ya que permitió obtener plantas con mayor peso fresco (112.63 g) y mayores rendimientos de 4.75 kg·m⁻² y 21.38 kg por sistema NFT (Cuadro 1). Según Conchouso y Rodríguez-Delfín (2015), el precio de venta de una lechuga hidropónica en México en el 2011 era de \$7.00 (US \$0.50, SEGOB, (2011)). Pertierra y Gonzabay (2020), usando el sistema de raíz flotante, reportaron precio de venta de US \$0.50 por lechuga del productor al supermercado, en tanto que este vende la unidad a US \$1.00 al consumidor. Actualmente, el precio de venta en supermercados mexicanos puede oscilar entre \$10.00 a \$15.00 (US \$0.50 a \$0.75, SEGOB, (2021)). En un área de 100 m² se pueden cultivar 2,500 lechugas mensuales con sistema NFT horizontal, de modo que el ingreso semanal sería de \$4,038.00 pesos y un egreso de costos fijos y variables de \$1,219.70, con lo cual existe una diferencia positiva de \$2,819.70 por semana (US \$201.4) (Conchouso y Rodríguez-Delfín, 2015), lo que hace rentable la producción hidropónica con sistema NFT.

Conclusiones

De los sistemas evaluados, el módulo piramidal de 10 canales es el más apropiado para cultivar lechuga bajo un sistema hidropónico, porque generó el mayor rendimiento y peso de producto para el mercado, así como la mayor utilidad, lo que representa una alternativa para producir en viviendas de espacio reducido.

Agradecimientos

A la Maestra Laura Chico Hernández, por el apoyo en la revisión de los resultados económicos del presente trabajo.

Referencias

Both, A. J., Albright L. D., y Langhans, R. W. (1998). Coordinated management of daily par integral and carbon dioxide for hydroponic lettuce production. *Acta Horticulturae*, 456, 45-52. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.456.3>

Both, Arend J., Albright, L. D., Langhans, R. W., Reiser, R. A., y Vinzant, B. G. (1997). Hydroponic lettuce production influenced by integrated supplemental light levels in a controlled environment agricultural facility: Experimental results. *Acta Horticulturae*, 418, 45-52. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.418.5>

Carrasco, G., e Izquierdo, J. (1996). La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT). Chile: Editorial Universidad de Talca.

Carrasco, S. G. A. (2004). Sistema NFT requerimientos y usos. In G. M. Urrestarazu (Ed.), *Tratado de cultivo sin suelo* (3ra ed., pp. 541-554). Madrid, España: Editorial Mundi Prensas S. A.

Conchouso, P., y Rodríguez-Delfín, A. (2015). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico Nutrient Film Technique. Un estudio de factibilidad. *Gestión de agronegocios. Análisis de casos desde una perspectiva multidisciplinaria*. Puebla: Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

Coronel, G., Chang, M., y Rodríguez D., A. (2009). Nitrate reductase activity and chlorophyll content in lettuce plants grown hydroponically and organically. *Acta Horticulturae*, 843, 137-144. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.843.16>

Escalona, A., Santana, M., Acevedo, I., Rodríguez, V., y Merú, M. L. (2009). Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas "SPAD" en el cultivo de lechuga. *Agronomía Tropical*, 59, 99-105.

Fraile-Robayo, R. D., Álvarez-Herrera, J. G., Reyes, M. A. J., Álvarez-Herrera, O. F. y Fraile-Robayo, A. L. (2017). Evaluation of the growth and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a closed recirculating hydroponic system. *Agronomía Colombiana*, 35(2), 216-222. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.63439>

Jenni, S., y Yan, W. (2009). Genotype by environment interactions of heat stress disorder resistance in crisphead lettuce. *Plant Breeding*, 128(4), 374-380. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01657.x>

Kang, J. H., Krishnakumar, S., Atulba, S. L. S., Jeong, B. R., y Hwang, S. J. (2013). Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type planta factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(6), 501-509. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8>

Kumagai, E., Araki, T., y Kubota, F. (2009). Correlation of Chlorophyll Meter Readings with Gas Exchange and Chlorophyll Fluorescence in Flag Leaves of Rice (*Oryza sativa* L.) Plants. *Plant Production Science*, 12, 50-53. <https://doi.org/10.1626/ppp.12.50>

Maleki, M., Massah, J., y Dehghan, M. (2012). Application of a spectral sensor for the assessment of nitrogen content in lettuce plants. *Australian Journal of Crop Science*, 6(2), 188-193.

Morgan, L. (1999). El cultivo hidropónico de lechugas. Australia: Casper Publicaciones.

Pertierra, R. y Gonzabay, J. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *La Granja*, 31, 118-130. <https://doi.org/10.17163/Igr.n32.2020.09>

Ribeiro da C., A., Katz, L., de Pádua S., A., y Martínez U., R. A. (2015). SPAD index according growth and development of lisianthus plants in relation to different nitrogen levels under protected environment. *Idesia*, 33, 97-105.

Rodríguez-Delfín, A., Chang, M., Hoyos, M., y Falcón, F. (2002). Manual práctico de hidroponía (3ra. Ed.). Lima, Perú: Centro de Investigación de Hidroponía, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Rodríguez., A. (2012). Advances of hydroponics in Latin America. *Acta Horticulturae*, 947, 23-32. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.1>

- Rodríguez D., A., Chang, M., y Hoyos, M. (2001). Lettuce production in a peruvian modified DFT system. *Acta Horticulturae*, 554, 273-278. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.554.28>
- Rodríguez D., A., Gruda, N., Eigenbrod, C., Orsini, F., y Gianquinto, G. (2017). Soil based and simplified hydroponics rooftop dardens. In F. Orsini, M. Dubbeling, H. de Zeeuw, y G. Gianquinto (Eds.), *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 61-81). https://doi.org/10.1007/978-3-319-57720-3_5
- SEGOB. (2011). Diario Oficial de la Federación. Retrieved from www.dof.gob.ms/inicadores_detalle.php?cod_tipo_indicador=158&dfecha=01/01/2011&hfecha=31/12/2011
- SEGOB. (2021). Diario Oficial de la Federación. Retrieved from www.dof.gob.mx/inicadores_detalle.php?cod_tipo_indicador=158&dfecha=01%2F01%2F2021&hFecha=03%2F2021
- Son, K. H., Jeon, Y. M., y Oh, M. M. (2016). Application of supplementary White and pulsed light-emitting diodes to lettuce grown in a plant factory with artificial lighting. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(6), 560-572. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0068-y>
- Valverde, K., Chang, M., y Rodríguez D., A. (2009). Effect of the light quality on the nitrate reductase activity in lettuce plants grown in NFT. *Acta Horticulturae*, 843, 89-96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.843.9>
- Yan, D., Wang, S., Ding, K., He, Y., Fan, L., Ding, L., y Jiang, X. (2019). Strontium Uptake and Effect in Lettuce and Radish Cultivated Under Hydroponic Conditions. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 103(3), 453-460.