

SISTEMA EFICIENTE PARA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

EFFICIENT SYSTEM FOR LETTUCE PRODUCTION (*Lactuca sativa* L.)

Cebada-Merino, M.¹; Herrera-Corredor, J.A.²; Andrés-Meza, P.¹; Leyva-Ovalle, O.R.^{1*}

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, ²Colegio de Posgraduados Campus Córdoba,

*Autor de correspondencia: oleyva@uv.mx

RESUMEN

El crecimiento en áreas urbanas ha traído consigo una disminución de tierra cultivable, afectando directamente el rendimiento global de la producción agrícola. Ante esta situación, se está recurriendo a alternativas que promuevan el acceso a los alimentos con un enfoque en la seguridad alimentaria. Se desarrolló una estrategia de producción considerando el control climático y Técnico de una Película de Nutrientes (NFT) para aprovechar superficies no cultivables por método tradicional de lechuga (*Lactuca sativa* L.), estableciendo los tratamientos bajo invernadero+sistema NFT (T1); y sistema NFT a campo abierto (T2), y se evaluó el efecto de la temperatura en el largo y ancho de las hojas, contenido de clorofila y peso fresco de lechuga. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos para todas las variables evaluadas, excepto para contenido de clorofila. La combinación del control climático y el sistema de cultivo hidropónico permitió obtener rendimientos promedio de 59 t ha^{-1} y 46 t ha^{-1} para T1 y T2, respectivamente; valores superiores al rendimiento nacional en cultivo tradicional de 38.82 t ha^{-1} .

Palabras clave: hidroponía, control climático, agricultura urbana.

ABSTRACT

The growth of urban areas has brought with it a decrease of arable land, affecting directly the global yield of agricultural production. In face of this situation, there is an attempt to resort to alternatives that promote access to foods with an approach of food security. A production strategy was developed taking into account climate control and the Nutrient Film Technique (NFT), to take advantage of non-arable surfaces through the traditional method for lettuce production (*Lactuca sativa* L.), establishing the treatments under greenhouse-NFT system (T1), and NFT system on the open field (T2); the effect of temperature on the length and width of the leaves, chlorophyll content, and fresh weight of the lettuce was evaluated. Significant differences were found ($P \leq 0.05$) between treatments for all the variables evaluated, except for the chlorophyll content. The combination of climate control and the hydroponics cultivation system allowed obtaining average yields of 59 t ha^{-1} and 46 t ha^{-1} for T1 and T2, respectively, values higher than the national yield in the traditional cultivation of 38.82 t ha^{-1} .

Keywords: hydroponics, climate control, urban agriculture.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 6, junio, 2016. pp: 56-61.

Recibido: mayo, 2016. **Aceptado:** junio, 2016.



INTRODUCCIÓN

La urbanización de muchos países ha disminuido la superficie cultivable afectando directamente el rendimiento global de la producción agrícola por conflictos de uso del suelo, con ello ha ido en aumento la demanda de tierra, así como el precio de los alimentos (Ibáñez, 2008); y las poblaciones de escasos recursos económicos inmersas en las zonas urbanas o sus periferias, que no cuentan con el espacio para cultivar (Forero y Devia, 2012), o no tienen la capacidad económica para adquirir alimentos (Atehortúa, 2007) enfrentan crisis de seguridad alimentaria. Existen tecnologías hidropónicas que pueden contribuir al desarrollo productivo desde un nivel de autoconsumo hasta el nivel comercial, y de acuerdo a Resh (1997), es una alternativa en la que se sustituye el suelo por una solución que contiene los nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal. Una de las metodologías que engloba dicha técnica es la NFT (Nutrient Film Technique) o "**Técnica de Película de Nutrientes**" cuyo principio se basa en que las plantas crezcan en canales de cultivo a través de los cuales circula la solución nutritiva de forma intermitente, a intervalos definidos y controlados por un temporizador (Furlani, 1998). La característica principal de este sistema es que es cerrado con la solución recirculando para hacer más eficiente el uso de agua y nutrientes, de tal forma que el porcentaje de ahorro o eficiencia depende del tipo de planta cultivada y composición del agua de riego (Urrestarazu, 2004). El diseño y construcción de un invernadero debe permitir la mayor rentabilidad en función del clima local y exigencias bioclimáticas de la especie a cultivar (Castilla, 2005). Dentro de las hortalizas más cultivadas en la técnica NFT, se encuentra la lechuga (*Lactuca sativa* L.); debido a su fácil adaptación al sistema proporcionando alta productividad y reducción de su ciclo de producción, comparado con

el cultivo tradicional (Oshe *et al.*, 2001). Durante 2014, en México, el cultivo de lechuga en suelo reportó una superficie sembrada de 19,440.40 ha, con producción de 406,678.05 t, y rendimiento promedio de 21.43 t ha⁻¹ (SIAP, 2014). En el estado de Veracruz, México, la localidad que llega a desarrollar el cultivo de lechuga es Maltrata; en la cual se cultivan cerca de 25 ha, con rendimiento de 14.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2014), casi la mitad del rendimiento promedio nacional. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue desarrollar una estrategia de producción considerando control climático y el sistema NFT para aprovechar superficies no cultivables de manera tradicional en lechuga.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un invernadero en el municipio de Río Blanco, Veracruz, México, ubicado (18° 51" N, y 97 09° O, a 1300 m de altitud). La estructura del invernadero experimental se construyó a una altura de cinco metros para obtener una superficie disponible de 46 m². El diseño estructural se basó en las recomendaciones para clima tropical por la NMX-E-255-CN-CP-2008 como "Unitonel con ventila cenital fija". Las dimensiones del invernadero fueron consideradas en función de la relación: volumen de aire/superficie de invernadero, se obtuvo un valor de 2.77 m³ m²⁻¹, considerado por Bouchet *et al.* (2007) como ideal para amortiguar los cambios bruscos de temperatura del sistema. Para la velocidad del viento se consideró un valor de 125 km h⁻¹, dando una presión horizontal de 117.19 kg m²⁻¹ y una presión con inclinación del techo a 15° de 57 kg m²⁻¹. La cubierta plástica tuvo una densidad de 0.92 gr cm³⁻¹ y un grosor de 0.0152 cm, dando un peso de 0.139 kg m²⁻¹. Con estos valores, se realizó el cálculo de la distribución de cargas y con ello los esfuerzos a los que fueron sometidos cada uno de los elementos estructurales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cálculo de esfuerzos sometidos a cada elemento estructural y material propuesto con su respectiva resistencia.

Elemento	Esfuerzo sometido	Fórmula	Valor de esfuerzo	Dimensión exterior del material propuesto (cm) ¹	Resistencia al esfuerzo
Larguero	Flexión	Módulo de sección	0.1039 cm ³	2.54	1.19 cm ³
Cuerda superior	Compresión	Momento máximo de compresión	258.49 Kg	2.54	1140.7 Kg
Cuerda inferior	Tracción	Área de acero	0.084 cm ²	3.17	2.18 cm ²
Montante	Compresión	Momento máximo de compresión	260.919 Kg	2.54	994.5 Kg
Diagonales	Tracción	Área de acero	0.159 cm ²	2.54	1.70 cm ²
Columnas	Compresión	Momento máximo de compresión	795.952 Kg	3.81	1162.42 Kg

¹ Perfil tubular cuadrado (PTR) calibre 14.

Para disminuir la temperatura del invernadero se instaló; un sistema de enfriamiento por nebulización de baja presión y uno de aire forzado. El primero lo conformaron; 10 nebulizadores pendulares de 4 boquillas marca TAVLIT® separados a 2 m, cada uno con válvula anti-goteo modelo 530-H con capacidad de apertura a una presión de 1.5 ± 2 bar, un cierre de válvula a los 0.7 ± 0.1 bar. Dicho sistema se activó cuando la temperatura llegó a los 30 °C por periodos de 10 minutos, necesario para que la temperatura descendiera de 3 °C a 4 °C. Para la ventilación forzada se utilizaron dos ventiladores marca MAN® modelo Freal-2020, cuya capacidad individual de desplazamiento de aire fue de $105 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$. Para la activación de éstos, se seleccionaron 25 °C en termostato electro-mecánico marca SCHAEFER® modelo T-115 (Figura 1). Se registró y evaluó la temperatura dentro y fuera del invernadero mediante un Data Logger marca Watchdog modelo 450 situado a una altura de 1.5 m del suelo y programado para el registro cada hora.

Se establecieron dos tratamientos; invernadero+Técnica de la Película de Nutrientes (T1) y Técnica de la Película de Nutrientes a campo abierto (T2). El primero tuvo un tanque recolector con capacidad de 750 L, conectado a una bomba eléctrica marca Siemens® con potencia de 0.5 HP, activada con un temporizador electromecánico marca Steiren® modelo Temp 24H por perio-



Figura 1. Sistemas de enfriamiento por nebulización y aire forzado, termostato.

dos de quince minutos cada media hora durante el periodo diurno. Durante la noche el sistema de bombeo permaneció apagado. Se utilizó tubería de PVC de una pulgada de diámetro tipo RD26 y conexiones del tipo cédula 40 para conducir la solución nutritiva hasta los canales de cultivo, los cuales se construyeron con tubos de PVC de seis metros de longitud con diámetro de tres pulgadas separados a 20 cm y perforados cada 20 cm haciendo un total de 29 orificios por tubo con diámetro de $1^{1/4}$ pulgadas, apoyados sobre estructuras metálicas a una altura de 1.30 m. Para el T2, el sistema de almacenamiento y bombeo de la solución consistió en una cubeta de 20 L y una bomba sumergible marca ADIR con capacidad de bombeo de 600 galones por hora. Se establecieron cuatro canales de cultivo

con una longitud de dos metros. Las características como diámetro del tubo, distancia entre tubos, distancia entre orificios, fueron las mismas que para el sistema bajo invernadero. Por las condiciones climáticas de la zona de estudio, se seleccionó un material vegetal tolerante a temperaturas elevadas. Para tal efecto se utilizó semilla de lechuga del tipo hoja de roble variedad KIREVE RZ de la empresa Rijkzwaan® con una solución nutritiva (Rodríguez *et al.*, 2001) (Cuadro 2).

Para la siembra se utilizaron charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades previamente desinfectadas con solución de hipoclorito de sodio a 100 mg kg⁻¹. El sustrato empleado fue una mezcla de 70% peat-moss y 30% de agrolita. El ciclo de cultivo fue de 60 días. A partir de

Cuadro 2 Balance para el cálculo de nutrimentos aportados en solución nutritiva.

	pH	CE dSm ⁻¹	Concentración mg L ⁻¹												
			K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	N ⁻	P ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo
Análisis de Agua	7.3	0.3		98	32.1			22.4	2.44						
Cantidad requerida		1.3-1.5	212	150	40	190	50			0.1	1	0.5	0.15	0.5	0.05
Solución nutritiva	6.5	1.35	212	52	7.9	190	50	22.4	0.5	0.1	1	0.5	0.15	0.5	0.05

la siembra transcurrieron 30 días, posteriormente se trasplantó a los canales de cultivo marcando tres hojas de cada planta en ambos tratamientos a las cuales se le realizaron tres mediciones cada 10 días de las variables: largo de hoja, colocando una regla desde el tallo hasta el punto del limbo más lejano, ancho de hoja, con una regla identificando los dos puntos del limbo más lejanos, contenido de clorofila determinado con el equipo SPAD® modelo 502 y peso fresco al momento de la cosecha determinado con una báscula. Con el paquete estadístico SAS® (*Statistical Analysis System*) versión 8.2, se realizaron los análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias por método de Tukey. Posteriormente, se realizó un análisis de medidas repetidas incluyendo las fechas en que se tomaron los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento y comparación de temperatura entre tratamientos

La Figura 2 muestra el registro de la temperatura para los dos tratamientos sobre valores promedio de temperatura máxima. El T1 registró reducción en promedio de 9 °C, respecto al T2. Los valores máximos de temperatura durante todo el ciclo de cultivo fueron sometidos a una prueba de hipótesis ($\alpha=0.05$); el valor de z obtenido aceptó la hipótesis alterativa que estableció: Tratamiento dos > Tratamiento 1.

A lo largo del experimento, la temperatura promedio durante el periodo diurno comprendido de 7:00 am a 7:00 pm fue de 24.8 °C para el tratamiento uno y 27.4 °C para T2, con una diferencia de 2.6 °C entre ambos. Dicho valor supera al reportado por Meca *et al.* (2007) quienes obtuvieron una diferencia de 1.5 °C y Perdigonés *et al.* (2004) con diferencia de 0.8 °C en sistemas de nebulización a baja presión. La Figura 3 muestra el día con el valor de temperatura más elevado. Se observó una diferencia entre tratamientos de 14.3 °C, 17.5 °C y 14.5 °C a las 12:00 pm, 13:00 pm y 14:00 pm respectivamente, obteniéndose una diferencia diurna sostenida de al menos 5.5 °C.

De acuerdo al análisis de varianza y agrupación de medias por la prueba de Tukey el T1 presentó mayor peso fresco promedio comparado con el T2 (Figura 4). La condición principal a la cual se le atribuye dicho efecto es al estrés por temperatura que afectó principalmente al T¹ (Figura 5). De acuerdo con Taiz y Zeiger (2006), tanto la fotosíntesis como la respiración se inhiben a altas temperaturas pero, y a medida que la temperatura aumenta, las tasas fotosintéticas disminuyen más rápidamente que las tasas respiratorias. Guy (2010) menciona que en climas tropicales entre 70% y 80% de carbono diario que la planta convierte en azúcar, se pierde por producto de la respiración excesiva, afectando directamente el crecimiento y rendimiento de las plantas. Si los valores de temperatura se mantienen elevados por tiempo prolongado, como medida seguridad para evitar

el marchitamiento, la planta procede al cierre estomático restringiendo aún más la absorción de CO₂ para la fotosíntesis.

La agrupación de medias relacionadas con el peso (g⁻¹) por la prueba de Tukey de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. Intybacea Hoja de Roble, fue para tratamientos de 296 g, mientras que para campo abierto de 230 g.

Con base en la densidad de plantación establecida de 20 plantas m²⁻¹, considerando pasillos, se obtuvo un rendimiento de 5.9 Kg m²⁻¹ (59 t ha⁻¹) y 4.6 Kg m²⁻¹ (46 t ha⁻¹) para los T1 y T2 respectivamente en un ciclo productivo de 60 días. Ambos valores, superan el rendimiento reportado en cultivo tradicional por el SIAP (2014) para el estado de

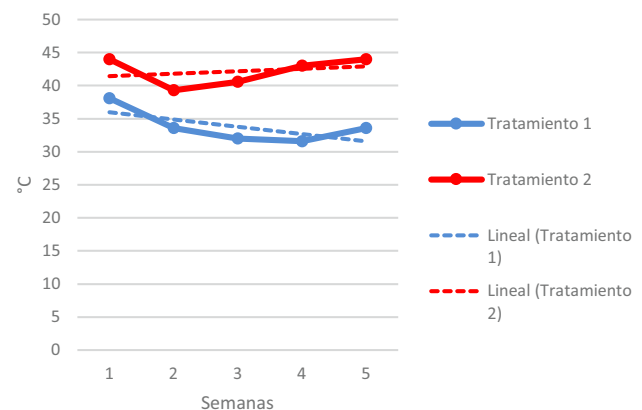


Figura 2. Temperatura máxima después del trasplante.

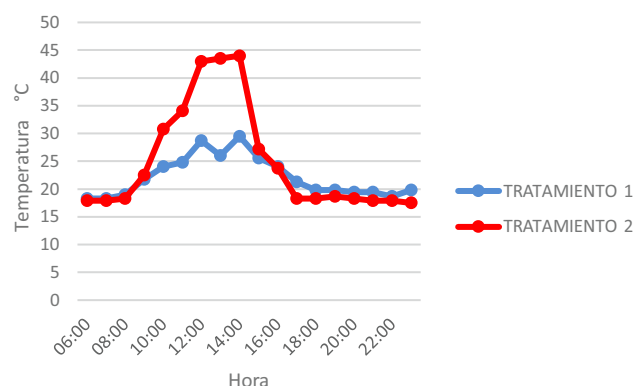


Figura 3. Registro de temperatura a lo largo del día más cálido durante el ciclo de cultivo.

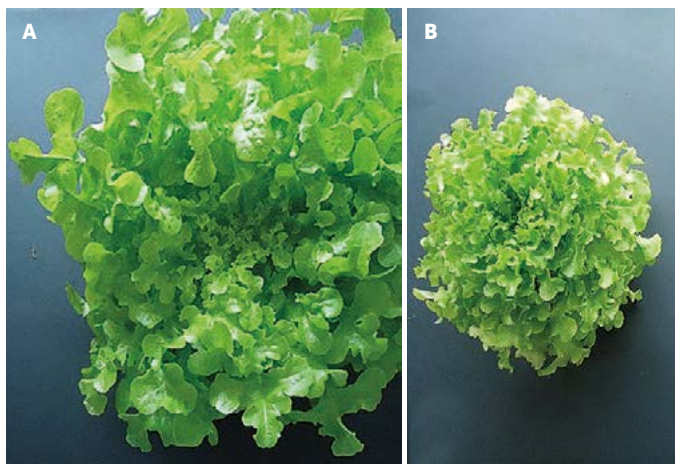


Figura 4. Comparación del producto cosechado. A: Tratamiento 1. B: Tratamiento 2.

Aguascalientes, México, quien ocupa el primer lugar en rendimiento para dicho cultivo con 38.82 t ha^{-1} . Suponiendo que pudieran establecerse seis ciclos por año, se tendría, bajo el T1 un potencial de producción de $35.4 \text{ Kg m}^2 \text{ año}^{-1}$ ($350 \text{ t ha año}^{-1}$) y $27.6 \text{ Kg m}^2 \text{ año}^{-1}$ ($276 \text{ t ha año}^{-1}$) para el T2. El Cuadro 3 presenta la correlación parcial de las tres variables del experimento, en este se observa que el valor de las unidades SPAD tienen correlación positiva baja (18%) respecto al largo y ancho de hoja. Por lo que a medida que la planta crece, disminuye la cantidad de clorofila no siendo éste un factor coherente con lo que establece la literatura ya que según Evans et al. (1988), la capacidad fotosintética de las hojas, es responsable de la producción de biomasa, relacionada directamente con el contenido de nitrógeno en la planta. En el caso de las variables largo y ancho de hoja, se registró una correlación positiva de 63%, indicando que a mayor largo de hoja mayor será el ancho de esta (Cuadro 3).

La agrupación de medias (Cuadro 4) de las variables respuesta respecto a los tratamientos, sin considerar los valores SPAD, el largo y ancho de hoja registraron valores



Figura 5. Marchitamiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el tratamiento dos provocado por temperatura excesiva.

promedio más elevados para el tratamiento dentro del invernadero respecto al de campo abierto. Esto se considera como consecuencia de la influencia que ejerció principalmente la temperatura, ya que en términos generales Grazia et al. (2001) mencionan que es el principal factor regulador de crecimiento durante las fases iniciales del cultivo, y controla el desarrollo del área foliar, acelerando la tasa de aparición de hojas y el ritmo de expansión foliar, determinando de esta forma la superficie foliar capaz de interceptar la radiación fotosintéticamente activa. En el caso del T2,

la mayor parte del ciclo productivo se mantuvo por encima de los valores óptimos, atribuido a estrés afectando el desarrollo de las hojas y el rendimiento.

CONCLUSIONES

Los sistemas de enfriamiento por nebulización de baja presión y la ventilación forzada lograron reducir la

Cuadro 3. Correlación parcial de las variables evaluadas.

	¹ SPAD	² Larhoja	³ Anchoja
SPAD	1.00	0.18	0.18
Larhoja	0.18	1.00	0.63
Anchoja	0.18	0.63	1.00

¹SPAD=Unidades del medidor de clorofila; ²Larhoja=Largo de hoja; ³Anchoja=Ancho de hoja.

Cuadro 4. Comparación de medias de Duncan del efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas.

Tratamiento	¹ SPAD	² Larhoja	³ Anchoja
Invernadero	23.12 a	11.39 a	10.21 a
Campo abierto	20.96 b	10.17 b	7.9 b

1=unidades del medidor de clorofila; 2=Largo hoja; 3=Ancho hoja.

temperatura hasta 9 °C en promedio durante el ciclo productivo, mejorando las condiciones climáticas para el desarrollo del cultivo. De esta forma, la combinación de tecnologías de invernadero, control del clima y sistema de cultivo hidropónico NFT no sólo permitieron el buen desarrollo del cultivo de lechuga en una zona urbana, sino que además se generó un rendimiento de 59 t ha⁻¹, valor superior al máximo nacional reportado en cultivo tradicional con 38.82 t ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Atehortúa L. 2007. Bioagricultura urbana y cambio climático. *Bio-Agriculture*, U. 2(2), 8.
- Bouchet E.R., Freyre C.E., Bouzo C.A., Favaro J.C. 2007. Efecto de las dimensiones de un invernadero sobre la temperatura interna en periodos cálidos. *Revista Científica Agropecuaria* 11 (2), 111-119.
- Evans J.R., S. von Caemmerer, Adams III W.W. 1988. *Ecology of photosynthesis in sun and shade*. CSIRO, Melbourne, Australia.
- Forero C., Devia-Castillo C.A. 2012. Sistema productivo de techos verdes en comunas vulnerables, estudio de caso en el barrio La Isla, Altos de Cazucá en Soacha, Cundinamarca. *En Ambiente y Desarrollo* XVI (30); 21-35
- Furlani P. 1998. Instrucciones para el cultivo de hortalizas de hoja por la técnica de hidroponía NFT. Campinas: Instituto agronómico, 30 p. (IAC, boletín técnico, 168).
- Grazia L., Tittonell P.A., Chiesa Á. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Argentina: Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Guy B. 2010. Manejo de cultivos en invernadero con altas temperaturas. *Boletín del programa nacional sectorial de producción agrícola bajo ambientes protegidos*, 9: 2-6.
- Ibáñez G. 2008. Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. *Alarife: Revista de Arquitectura*, 61 (16), 21-36.
- Meca D., López J., Gázquez J., Baeza E., Pérez Parra J., Zaragoza G. 2007. A comparison of three different cooling systems in parral type greenhouses in Almería. *Journal of Agricultural Research*, 285-292.
- Oshe S., Dourado D., Manfron P., Santos O. 2001. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. *Scientia Agricola* 58, 181-185.
- Perdigones A., Pascual V., García J., Nolasco J., Pallares D. 2004. Interactions of crop and cooling equipment on greenhouse microclimate. *In: Greensys: sustainable greenhouses systems*. Leuven, Belgium, Sept. *Greensys: sustainable greenhouses systems*, 12-16.
- Resh H. 1997. *Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción* (4ª ed). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 509p.
- Rodríguez A., Chang M., Hoyos M. 2001. Lettuce production in a peruvian modified DFT system. *Proceedings of the World Congress on Soilless Culture: Agriculture in the Coming Millenium*. ISHS. *Acta Horticulturae* No 554: 273-278.
- SIAP. 2014. Consultado 22-11-2014 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Taiz L., Zeiger E. 2010. *Plant Physiology*. 5ª Ed. Sinauer Associates. USA. 781 p.
- Urrestarazu, M. (2004). *Tratado de cultivos sin suelo* (3ª ed). Madrid: Mundi-Prensa. 914 p.

