

## **CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO A DISIMILES EDADES DE TRASPLANTE EN VARIEDADES DE LECHUGA CULTIVADA EN AEROPÓNIA**

**Fabiel Vázquez Cruz<sup>1</sup>; Monserrath Flores Gutiérrez<sup>1\*</sup>; Luis Antonio Domínguez Perales<sup>1</sup>;  
Sifrido David Morales Fernández<sup>1</sup>; Delfino Reyes López<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av.  
Universidad s/n.  
C.P. 73965, San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México.

monserrath.flores@alumno.buap.mx – 554 234 5674 (\*Autor de correspondencia)

---

### **Resumen**

La lechuga es una de las hortalizas de hoja verde más consumidas en todo el mundo. El objetivo del presente estudio fue evaluar el desarrollo y rendimiento en dos variedades de lechuga a diferentes edades de trasplante bajo un sistema aeropónico. Se diseñó un sistema aeropónico utilizando nebulizadores. Como solución de cultivo se seleccionó la solución nutritiva A y B de la solución hidropónica La Molina®. Además, el tiempo de pulverización se establecieron en función de las condiciones ambientales. Los resultados mostraron que las plantas de lechuga variedad escarola con trasplante con cuatro hojas verdaderas presentaron un rendimiento promedio de 66.03 g planta<sup>-1</sup> y un rendimiento promedio de 932.9 g m<sup>2</sup>. Las edades al trasplante influyeron en el crecimiento del cultivo de lechuga el presentar valores de pesos comerciales muy bajo.

**Palabras claves:** Lactuca sativa L, cultivos sin suelo, rendimiento, solución nutritiva.

## Introducción

La lechuga es una de las hortalizas de hoja de mayor importancia en México, es el cuarto vegetal cultivado hidropónicamente después del tomate, pepino y chile dulce (SAGARPA, 2016). La producción de hortalizas constituye una de las actividades de mayor demanda, debido a que esta provee de alimento a las poblaciones y la economía tanto a zonas rurales como a nivel país (Faviola y Elías, 2015). Sin embargo, la industria agrícola emplea nuevas técnicas de cultivos moderno, con la cual una planta se desarrolle en un entorno óptimo con sustancias nutritivas para su adecuado crecimiento (Birgi, 2015).

El trasplante representa un ahorro en el costo, un uso eficiente de semilla, sobre todo aquellas especies con dificultad de germinación, uniformidad en el crecimiento floración temprana y precocidad en la producción a diferencia de la siembra directa (Shirai y Hagimori, 2004; Valadez, 2001).

Así mismo condiciona una respuesta pos-trasplante, afectando la morfología del sistema radical (Leskovar y Stoffella, 1995). Actualmente, en la producción de plántulas, se utilizan bandejas con celdas de varios tamaños y para maximizar la producción de plántulas en vivero, los productores utilizan celdas con el menor volumen posible. Según, Minami (2010), en las bandejas hay mejor aprovechamiento de las semillas, produciendo cada semilla una plántula. Comparada a la siembra directa, con el uso de esa tecnología ocurre una disminución en las fallas de pegado inicial en el campo, también como aumento en la uniformidad inicial de las plantas. Pero la reducción del volumen puede afectar la calidad de la plántula en consecuencia, la productividad y calidad del producto.

El cultivo sin suelo, que incluye la aeroponía, la acuaponía y la hidroponía, se considera una de las estrategias agrícolas más innovadoras para producir más con menos, con el fin de alimentar a los 11.000 millones de personas que se calcula que habrá en el mundo en 2100. (Rattan, 2021).

La aeroponía es una tecnología prometedora que cultiva plantas con sus sistemas radiculares expuestos a una niebla de nutrientes en una cámara cerrada. (Jones, 2014).

Martínez, (2013) menciona que la implementación de sistema de aeropónico ayuda a la optimización de recursos naturales, igualmente estos sistemas pueden estar en espacios reducidos, producen durante todo el año y reducen los niveles de contaminación el ambiente.

Con base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el desarrollo y rendimiento en dos variedades de lechuga a diferentes edades de trasplante bajo un sistema aeropónico.

## Materiales y Métodos

### Establecimiento del experimento

El experimento se estableció en el módulo de aeroponía de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ubicada en la junta auxiliar de San Juan Acateno, perteneciente al municipio de Teziutlán, estado de Puebla, ubicada a 19° 52' 33" Latitud Norte, 97° 22' 38" Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, el clima corresponde a templado húmedo con lluvias en verano y con una temperatura promedio máxima que oscila de 24°C a 30 °C y con una precipitación anual que varía de 1500 a 3600 mm.

### Diseño del sistema aeropónico

El sistema aeropónico se fabricó de perfiles de acero, con medidas de 1.60 metros de largo, 0.80 metros de ancho y 1.20 metros de altura. Las partes laterales de la estructura se cubrieron con placas de nieve seca, las cuales se forraron con plástico negro para evitar la pérdida de la solución nutritiva (SN) y proporcionar un ambiente oscuro y cerrado a las raíces. En la parte superior se colocaron placas de nieve seca y se realizaron cavidades cada 20 cm, dentro de los cuales se colocaron las plantas de lechuga en arreglo de tresbolillo comenzando con dos a la orilla y uno al centro, obteniendo así un diámetro de mojado para cada cavidad de 40 cm (Figura 1). Se utilizó un tanque de 150 L de capacidad, una bomba de recirculación de 0.5 hp instalada en el centro del tanque y conectada con tubería hidráulica de pvc y un filtro de malla ubicada en la descarga del sistema, Los nebulizadores se montaron sobre manguera de polietileno de 16 mm, los nebulizadores utilizados fueron green mist con un caudal de 30 LPH a una presión de operación de 2.5 bar. El apagado y encendido del sistema se controló por medio de un timer digital de 20 tiempos.

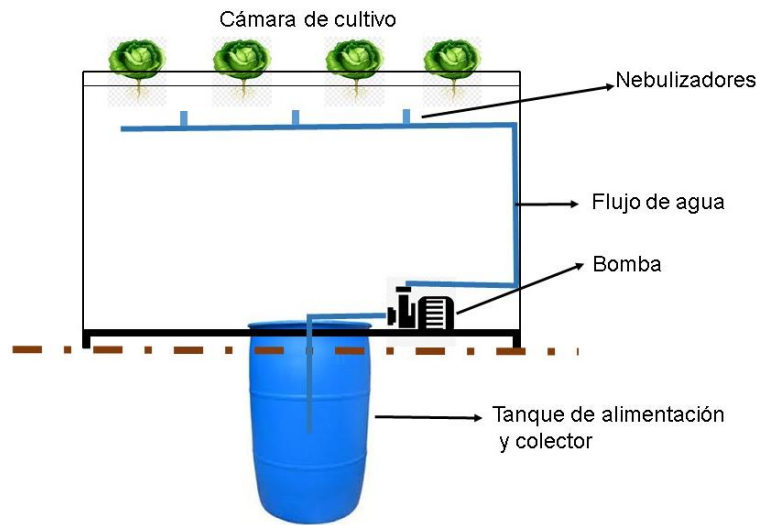


Figura 1. Módulo de aeroponía.

## Manejo del cultivo en sistema aeropónico

### Material vegetal

El material vegetativo que fueron Lechuga romana variedad Iceberg Fernandola, color de hoja verde claro bien definidas, de cabeza grande y con una firmeza que le da el toque succulento a la variedad en el mercado nacional y de exportación, Lechuga Italiana Var. Escarola, cabeza mediana, de color verde oscuro y hojas onduladas de consistencia suave.

### Trasplante al módulo

Se colocó una planta en una canastilla sobre las placas de nieve seca y sujetándolas con un trozo de esponja para fijarlas y evitar que cayeran dentro del a una separación de 20 cm entre plantas.

### Manejo del riego

La programación del riego se realizó con un temporizador digital de 20 eventos diarios, realizando cambios en los riegos de acuerdo con las condiciones ambientales del invernadero, (cuadro 1).

Cuadro 1. Programación encendido y apagado del temporizador.

Hora de encendido	Hora de apagado
02:00	02:10
04:10	04:10
06:00	06:05

08:00	08:05
09:00	09:05
10:00	10:10
11:00	11:10
12:00	12:10
12:30	12:35
13:00	13:05
13:30	13:35
14:00	14:05
14:30	14:35
15:00	15:10
16:00	16:10
17:00	17:10
18:00	18:10
19:00	19:10
20:00	20:10
23:00	23:10

Fuente: Elaboración propia.

### Preparación de la solución nutritiva

Se utilizo la solución hidropónica La Molina® (Cuadro 2), es una solución nutritiva promedio que puede ser utilizada para producir diferentes cultivos, dando muy buenos resultados en hortalizas de hoja: lechuga, apio, albahaca, acelga, berro, espinaca, cilantro, perejil, arúgula, y otras hortalizas de hojas.

**Cuadro 2.** Formula de Solución Nutritiva para cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa L.*)

Fertilizantes	Ley (%)	g/1000 litros
<b>Solución A</b>		
Nitrato de Potasio	13.5 %N, 46 %K <sub>2</sub> O	420.0
Nitrato de Amonio	31 %N	140.0
Fosfato Mono potásico	52 %P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 34 %K <sub>2</sub> O	100.0
<b>Solución B</b>		
Sulfato de Magnesio	16 %MgO, 13 %S	150.0
Sulfato de Potasio	50 %K <sub>2</sub> O	50.0
Quelato de Hierro (Ultra ferro)	6 %Fe	20.0
Sulfato de Manganeso	5 %Mn	3.0
Sulfato de Zinc	23 %Zn	0.9
Sulfato de Cobre	25 %Cu	0.6
Molibdato de Amonio	54 %Mo	0.2

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2014

### **Diseño experimental**

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial ( $2^2$ ), factor A (dos variedades de lechuga), Factor B (dos edades al trasplante) utilizando tres repeticiones por tratamiento. Con los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon con la prueba de Tukey DHS ( $p \leq 0.05$ ) con el programa SAS (V9, 2002).

Se establecieron cuatro tratamientos; trasplante con cuatro hojas verdaderas variedad Escarola (T1), trasplante con cuatro hojas verdaderas, variedad Iceberg Fernandola (T2), trasplante 10 días después de presentar cuatro hojas verdaderas variedad Escarola (T3), trasplante a módulo 10 días después de presentar cuatro hojas verdaderas variedad Iceberg Fernandola (T4).

### **Variables evaluadas**

#### **Temperatura y humedad relativa**

Durante el desarrollo del cultivo se registraron las temperaturas y humedad relativa dentro del invernadero con un Datalogger Onset HOBO MX1101.

#### **Altura de planta**

La altura de planta medida desde el cuello de la planta hasta el ápice u hoja más alejada del soporte cada 15 días, expresada en centímetros.

#### **Longitud radicular**

El largo de la raíz se realizó cada 15 días con un flexómetro y se registraron los valores en centímetros.

#### **Peso fresco**

Se tomaron los pesos individuales de las cuatro repeticiones por cada tratamiento, cuando más del 50% de las plantas se encontraron en el punto de madurez de cosecha.

#### **Biomasa fresca**

La biomasa se obtuvo pesando las plantas evaluadas en intervalos de 15 días, los pesos obtenidos fueron peso total de planta (peso de hojas y peso raíz).

#### **Rendimiento**

Se pesaron las cuatro repeticiones en el momento de la cosecha, los valores de peso se tomaron con una balanza digital, expresando los valores en kilogramos por metro cuadrado ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ).

#### **pH y CE en la solución nutritiva**

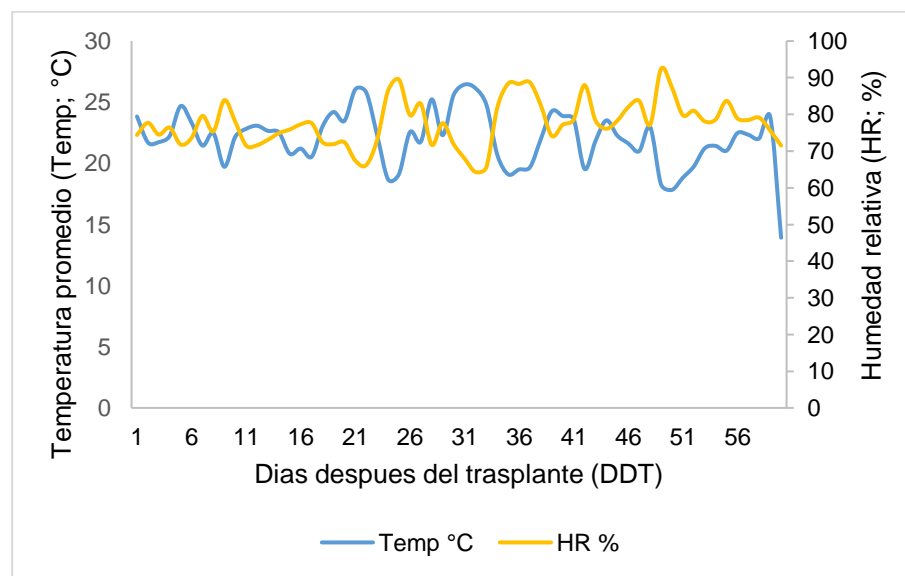
Se realizaron mediciones de C.E y pH. Los datos fueron tomados al momento de cambiar la solución nutritiva. La medición se realizó con un medidor portátil modelo HI9811-5.

## Resultados y Discusión

### Temperatura y humedad relativa

Las temperaturas dentro del invernadero se mantuvieron en el rango de 14 a 26 °C, con un promedio aproximado de 22 °C, (Figura 3). Estos valores térmicos no se consideraron adecuados para la especie, ya que González (2014) menciona que la temperatura óptima para el crecimiento de la lechuga es de 14 °C a 18 °C. Sin embargo, Leiva (2017) indica que bajo condiciones extremas se aceptan temperaturas mínimas de 6 °C y máximas de 30 °C.

La humedad relativa máxima fue de 92 % y la mínima fue de 64 %, la humedad relativa promedio fue de 76.86 %, (Figura 3). González (2014) reporta que la humedad máxima y mínima adecuada para el cultivo de lechuga es de 80% y 60%, respectivamente, Según Velásquez *et al.* (2014), cuando la humedad es muy elevada la planta transpira poco y reduce el transporte de nutrientes desde las raíces hasta las hojas.



**Figura 3.** Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al interior del invernadero en el cultivo de lechuga.

### Altura de planta

El análisis estadístico indicó significancia estadística ( $P \leq 0.5$ ), entre las variedades y fechas de trasplante, la variedad Escarola (T1 y T3), fue la que presentó mayor altura con 13.40 cm y 11.20 cm (Cuadro 3), estos valores fueron menores a los reportados por Desiderio (2020), quien obtuvo valores de altura de planta 21.88 bajo este sistema de producción, además Brenes-Peralta (2010) donde señala que la edad para realizar el



trasplante de la lechuga a sistemas de producción es a los 20 días después de ser germinada.

**Cuadro 3.** Comparación de medias para altura de planta

Tratamiento	V	T	Altura de planta (cm)
T1	Escarola	F1	13.40 a
T2	Iceberg	F1	9.73 ab
T3	Escarola	F2	11.20 ab
T4	Iceberg	F2	8.26 b
CV %			14.11
DMS			2.25

**C.V.** = Coeficiente de variación. Valores con la misma letra de columnas no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.5$ ), **DMSH** = Diferencia mínima significativa honesta, **V** = Variedad, **ET** = Edad de trasplante

### Longitud de raíz

La longitud de raíz fue diferente en los cuatro tratamientos, (Cuadro 4), donde se observa que el crecimiento de la raíz en el tratamiento uno fue mayor con 11.13 cm, estos valores son inferiores a los reportados por Desiderio (2021) al obtener una longitud promedio de 56.12 en lechuga bajo prototipo de producción de lechuga, Weathers *et al.*, (2004) señala que en los sistemas de producción aeropónicos la longitud de la raíz es mayor que en los métodos NFT Y raíz flotante, esto debido a que existe mayor espacio en la cabina donde nebuliza la solución nutritiva.

**Cuadro 4.** Comparación de medias para longitud de raíz

Tratamiento	V	T	Longitud de raíz (Cm)
T1	Escarola	F1	11.13 a
T2	Iceberg	F1	6.90 b
T3	Escarola	F2	10.93 a
T4	Iceberg	F2	8.76 ab
CV %			12.96
DMSH			3.19

**C.V.** = Coeficiente de variación. Valores con la misma letra de columnas no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.5$ ), **DMSH**= Diferencia mínima significativa honesta, **V** = Variedad, **T** = Fechas de trasplante

### Peso fresco

La variedad de lechuga Escarola en las dos edades al trasplante presento diferencias significativas fluctuando un promedio de 66.03 g planta<sup>-1</sup> y 56.47 g planta<sup>-1</sup> respectivamente, estos valores no superan al peso promedio comercial debido que en la cámara de crecimiento presento humedad relativa alta por factores climáticos, exceso de humedad, variaciones bruscas de temperatura (Cuadro 5).

Mota *et al.*, (2003) menciona que a los 60 días después del trasplante el peso fresco comercial de la lechuga es de 180 – 460 gramos, nuestro experimento se estableció al



momento de presentar cuatro hojas verdaderas y 10 días después de presentar cuatro hojas verdaderas.

**Cuadro 5.** Comparación de medias para peso fresco

Tratamiento	V	T	Peso fresco (g)
T1	Escarola	F1	66.03 a
T2	Iceberg	F1	36.13 a
T3	Escarola	F2	56.47 a
T4	Iceberg	F2	35.79 a
CV %			29.01
DMSH			36.87

**C.V.** = Coeficiente de variación. Valores con la misma letra de columnas no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.5$ ), **DMSH**= Diferencia mínima significativa honesta, **V** = Variedad, **T** = Fechas de trasplante

### Biomasa

La biomasa al igual que el peso fresco tuvo un comportamiento diferencial entre los diferentes tratamientos (cuadro 6), estos resultados muestran la habilidad que tuvo el cultivo para acumular biomasa en los distintos tratamientos, como mencionan Rajwade *et al.*, (2017) que esto puede ser atribuido al grado de adaptabilidad que muestran los cultivos en las diferentes condiciones de cada sistema de producción, Manrique y Bartholomew (1991), mencionan que la acumulación de biomasa depende de la cinética de crecimiento y de la tasa de distribución, que están gobernadas por el área foliar y asimilación de nutrimentos.

**Cuadro 6.** Comparación de medias para biomasa

Tratamiento	V	T	Biomasa (g)
T1	Escarola	F1	57.66 a
T2	Iceberg	F1	30.96 b
T3	Escarola	F2	47.63 ab
T4	Iceberg	F2	32.23 b
CV %			19.83
DMSH			21.84

**C.V.** = Coeficiente de variación. Valores con la misma letra de columnas no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.5$ ), **DMSH** = Diferencia mínima significativa honesta, **V** = Variedad, **T** = Fechas de trasplante

### Rendimiento

El comportamiento del rendimiento fue diferencial entre las variedades y fechas de trasplante (Cuadro 7), donde se pudo observar el mayor rendimiento se presentó en el T1 con un promedio de 932 g m<sup>2</sup>, y en el T3 con un promedio de 789 g m<sup>2</sup>, ambas variedades se establecieron en diferentes fechas de trasplante, FUSAGRI (1989) y Zacarías (1978), señalan que para obtener un buen rendimiento de frutos en las

solanáceas se debe realizar el trasplante entre los 40 y 50 días, nuestro experimento tuvo una diferencia de trasplante de 10 días.

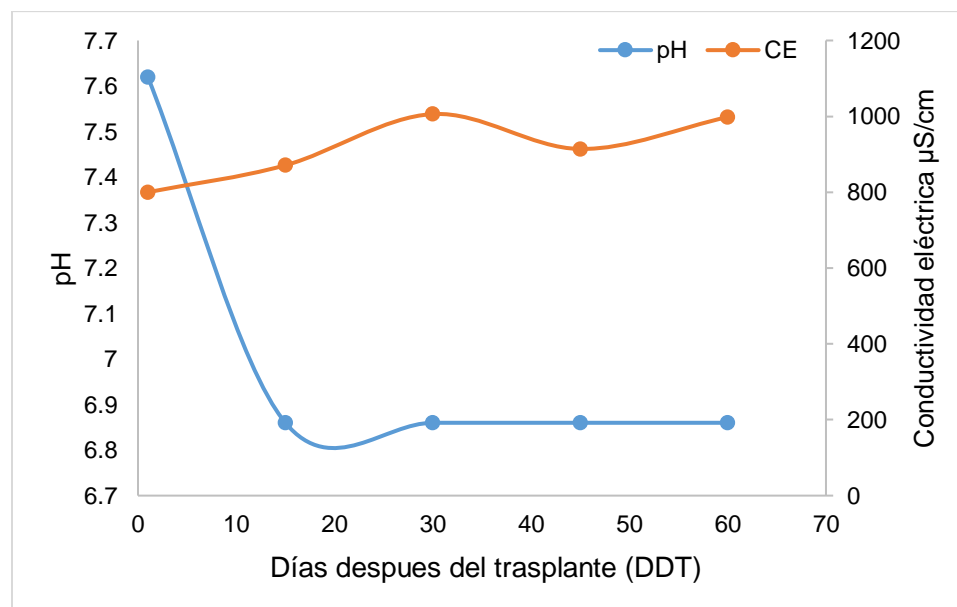
**Cuadro 7.** Comparación de medias para rendimiento

Tratamiento	V	T	Rendimiento (g m <sup>2</sup> )
T1	Escarola	F1	932.98 a
T2	Iceberg	F1	433.69 b
T3	Escarola	F2	789.00 a
T4	Iceberg	F2	429.52 b
CV %			12.85
DMSH			245.01

**C.V.** = Coeficiente de variación. Valores con la misma letra de columnas no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.5$ ), **DMSH**= Diferencia mínima significativa honesta, **V**= Variedad, **T**= Fechas de trasplante

### pH y CE en la solución nutritiva

El pH de las soluciones nutritivas (Figura 4) se mantuvo siempre en rangos adecuados, Hydro environment (2008), explica que el pH en hidroponía es muy importante que se encuentre en un rango de 5,5 a 6,5 para que permita la asimilación y disponibilidad de los nutrientes a las plantas. La conductividad eléctrica de la solución nutritiva se mantuvo en un promedio de 918  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , León (2001) expresa que la conductividad eléctrica es un parámetro que mide el total de sales disueltas en el agua y evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica.



**Figura 4.** Comportamiento del potencial de hidrogeno y la conductividad eléctrica al interior del invernadero en el cultivo de lechuga, 2021.

## Conclusiones

La edad al trasplante afecta al rendimiento del cultivo, la producción de biomasa y su distribución en los diferentes órganos de la planta, así como el tiempo de cosecha de la lechuga.

El sistema aeropónico desarrollado no funciono según lo esperado debido a que la cámara donde se desarrolló el cultivo presento un alto contenido de humedad debido a la variación de las condiciones climáticas en la zona de estudio y esto repercutió en el desarrollo vegetativo de las lechugas.

La producción de cultivos en el sistema aeropónico presenta ventajas desde un punto de vista ambiental debido a que se aprovecha de forma eficiente el recurso hídrico, elimina el uso de plaguicidas, reduce la cantidad de fertilizante y no se degrada el suelo.

## Referencias Bibliográficas

- Birgi J. A. 2015. Producción hidropónica de hortalizas de hoja, Santa Cruz: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Brenes-Peralta L. P., y Jiménez - Morales M. F. 2010. Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique).
- Desiderio Lorenzo J. E. 2021. Prototipo de tres sistemas de producción automatizados en el cultivo de lechuga en zonas urbanas [Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícola y Pecuarias BUAP].
- Faviola A. C., y Elías A. J. 2015. La industria de las semillas hortícolas y la producción de hortalizas en el Ecuador, en el marco de la soberanía alimentaria. Quito.
- Fundación Servicio para el Agricultor (FUSAGRI). 1989. Hortalizas en Canteros. Serie No. 5. Petróleo y Agricultura. Fundación Servicio Para el Agricultor. Cagua, Venezuela. 34 p.
- González M. 2014. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). Requerimientos del clima y variedades. INIA. Chile. Disponible en: <http://www.inia.cl/wpcontent/uploads/2014/08/LechugaQuilamapu.pdf>. (Consultado: 20/11/2021).
- Hydro Environment. 2008. Sistema Nutrient Film Technique. Recuperado de: <http://hydroenv.com>. (Consultado: 10/10/2021).
- Jones, J.B., Jr, 2014. Complete Guide for Growing Plants Hydroponically; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- La Molina S. H. 2014. Solución hidropónica La Molina. Perú: Centro de Investigación de hidroponía y nutrición mineral.
- Leiva Velásquez L. F. 2017. Plan de manejo de la sub-cuenca los vados con énfasis en los problemas ambientales del Municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala, durante el año 2016; y diagnóstico y servicios prestados en la Municipalidad de San Rafael Las Flores (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

- León P., Lunkenheimer K. L. Ngai. 2001. "Test of universal scaling of ac conductivity in ionic conductors". *Phys. Rev. B*, 64, 184304
- Leskovar D. I. y Stoffella P. J. 1995. Sistemas radiculares de plántulas de hortalizas: morfología, desarrollo e importancia. *HortScience* 30 (6): 1153-1159.
- Manrique L. A., Bartholomew D. P. 1991. Growth and yield performance of potato grown at three elevations in Hawaii: II. Dry matter production and efficiency of partitioning. *Crop Sci.* 31.
- Martínez P. P. 2013. *Aeroponía como método de cultivo sostenible, rentable e incluyente en Bogotá D.C.* Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Minami K. 2010. Producción de mudas de alta calidad en horticultura. Piracicaba. *Degasperari*. 440p
- Mota J. H., Yuri J. E., Freitas S. A. C. et al., Avaliação de cultivares de alface americana durante o verão em Santana da 38 Vargem, MG. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.21, n.2, p.234-237, 2003.
- Rajwade A.V., Kadoo N.Y., Borikar S.P., Harsulkar A.M., Ghorpade P.B., Gupta V. S. 2014. La actividad transcripcional diferencial de los genes desaturasa SAD, FAD2 y FAD3 en el desarrollo de semillas de linaza contribuye a la variación varietal en el contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico. *Fitoquímica* 98: 41–53.
- Rattan S, Partap M, Kumar S, Warghat AR. 2021. Nutrient feeding approach enhances the vegetative growth biomass, volatile oil composition, and myristicin content in hydroponically cultivated *Petroselinum crispum* (Mill.) Nyman. *J Appl Res Med Aromat Plants* 26:100359.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Ecuador. *Agropecuarias*. (213), 13
- Shirai T. y Hagimori M. 2004. Estudios en el establecimiento del método de producción de trasplante de pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.) mediante injerto de brotes recolectados de plantas madre: Efectos de las condiciones de curación de los injertos sobre la tasa y calidad de unión exitosa. *Revista de la Sociedad Japonesa de Ciencias Hortícolas*. 73 (4): 380-385.
- Valadez J. R., y Anthony J. S. 2001. Job satisfaction and commitment of two-year college part-time faculty. *Community College Journal of Research & Practice*. 25(2): 97-108.
- Weathers P. J., González J., Kim Y.J., Souret F.F., Towier M. J. 2004. Alteration of biomass and artemisinin production in *Artemisia annua* hairy roots by media sterilization method and sugars. *Plant Cell Reports*. 23:414-418.
- Zacarías M. M. 1978. Evaluación agronómica de doce selecciones de ají (*Capsicum chinense* Jacq.). Trabajo de Grado. Escuela de Ingeniería Agronómica. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela. 50 p.