

EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE CÁMARA DE CRECIMIENTO AEROPÓNICO PARA CULTIVO DE LECHUGA EN INVERNADERO

*EVALUATING THE FUNCTIONALITY OF AN AEROPONIC
GROWING CHAMBER FOR LETTUCE CROPS IN A GREENHOUSE*

Coral Martínez Nolasco

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
coral.martinez@itcelaya.edu.mx

José Alfredo Padilla Medina

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alfredo.padilla@itcelaya.edu.mx

Cristal Yoselin Moreno Aguilera

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
16030338@itcelaya.edu.mx

Recepción: 5/mayo/2020

Aceptación: 29/octubre/2020

Resumen

La finalidad de este trabajo es diseñar, implementar y evaluar la funcionalidad de una cámara de crecimiento aeropónico para invernadero durante tres ciclos de cultivo de lechuga. Se presenta el prototipo final de un sistema aeropónico capaz de producir plantas saludables y que además es ecológico al cumplir las expectativas de conservar agua y energía. El desarrollo óptimo del cultivo depende especialmente de las condiciones ambientales requeridas por la planta y de la fertirrigación que le proporciona los nutrientes indispensables para su crecimiento. Durante la evaluación del prototipo con los tres ciclos de cultivo se observó estrés hídrico y por temperatura, sin embargo, las plantas desarrollaron su ciclo favorablemente.

Palabras Clave: Aeroponía, Fertirrigación, Invernadero, Solución nutritiva.

Abstract

The main propose of this project is to design, implement and evaluate the functionality of an aeroponic growth chamber, which is inside of a greenhouse,

during three cycles. The final prototype presented is capable to produce healthy plants, besides performing expectations of conservation water and energy in order to be ecological for the environment. The optimal development of the crop depends especially on the environmental conditions required by the plant and the fertigation that provides it with the essential nutrients for its growth. During the evaluation of the prototype with the three cultivation cycles, water and temperature stress were observed, however, the plants developed their cycle favorably.

Keywords: *Aeroponics, Fertigation, Greenhouse, Nutrient Solution.*

1. Introducción

El crecimiento de la población mundial ha provocado una alta demanda de alimentos vegetales. El cambio climático y escasez de agua son factores que afectan la producción. Como consecuencia, se ha incrementado el cultivo de vegetales mediante la agricultura protegida en invernaderos en los cuales es posible reducir o mitigar los factores que estresan las plantas teniendo como consecuencia un mejor crecimiento de estas y una mayor producción de alimentos. La base tecnológica y el desarrollo de investigación en la producción de alimentos urbanos contribuyen a la innovación. La novedosa forma de cultivo aeroponía se destacó por encima del resto de tipos de siembra debido a la reducción considerable de agua y nutrientes en solución; además de permitir la correcta absorción de los mismos con oxigenación de las raíces presentando buen tamaño y desarrollo, minimizando impactos ambientales e incrementando el rendimiento por espacio [Durán & Nava, 2000].

La finalidad del presente proyecto es el diseño e implementación de un prototipo para cultivo aeropónico automatizado que permitirá inspeccionar el crecimiento de plantas de invernadero utilizando técnicas eficientes de cultivo para una mejor calidad en la producción de las plantas.

2. Métodos

En esta sección se presenta el conjunto de elementos considerados para evaluar la funcionalidad de cámara de crecimiento aeropónico, como son: su estructura, el

sistema de fertirrigación, control de tiempos, canastillas utilizadas, definición y diseño del experimento de cultivo y variables medidas en el invernadero.

Estructura de la cámara

Se diseñó la cámara de crecimiento aeropónico con las especificaciones de tamaño de la lechuga que se muestran en la tabla 1, el número de lechugas a cultivar (30) y las características propias de aeroponía: riego por nebulización, la raíz no debe estar en contacto con la luz, sistema automático y ahorro de agua.

Tabla 1 Especificaciones de cultivo para lechuga.

Parámetros	Valores
Temperatura	Ideal: 15 a 18 °C Mínima 7 °C Máxima 24 °C
Altura	0.20 a 0.30 m
Ancho	0.20 a 0.30 m
pH	5.5 a 6.5
Iluminación	10,000 y 40,000 lx

El prototipo final se construyó en base a las mejoras detectadas en el primer diseño, inicialmente las dimensiones de la cámara fueron 2.53 m de largo, 1 m de ancho y 0.8 m de alto. Las paredes de la estructura se cubrieron de vinil color blanco y se utilizó unicel de 2 pulgadas en la parte superior de la estructura para sostener las lechugas. El vinil blanco de las paredes se reemplazó por uno oscuro, pues el blanco dejaba pasar luz a las raíces. Al prototipo final también se le instaló un sistema de recirculación y se levantó la cámara 50 cm para realizar la adecuación como se ve en la figura 1.

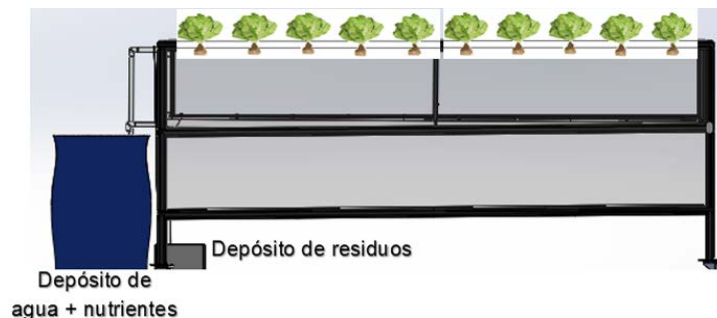


Figura 1 Modelado en SolidWorks de la cámara de crecimiento.

Sistema de fertirrigación

El sistema de fertirrigación se compone de un tanque de 100 litros con la solución nutritiva, una bomba sumergible de 1/3 Hp, un sistema cerrado de 3 vías de tubería de PVC de 1 pulgada cedula 40 y 30 boquillas de nebulizadores híbridos. Las boquillas son una adaptación de nebulizadores con cabezales de atomización como se muestra en la figura 2.



Figura 2 Sistema de fertirrigación.

Solución nutritiva

La solución nutritiva es un producto que contiene todos los elementos que necesita la planta para crecer y desarrollarse. En este caso utilizamos una solución nutritiva comercial que consta de dos soluciones: Solución concentrada A y solución concentrada B. Para la preparación de solución para lechuga es indispensable agua con pH 5.5 a 6.5 (nosotros trabajamos con pH 6), lo cual se logra agregando 0.5 ml de ácido nítrico por litro de agua. Se agregan 5 ml por litro de solución concentrada A y 5 ml por litro de solución concentrada B. Una vez lista la solución nutritiva se mide todos los sólidos disueltos (ppm) y la conductividad eléctrica (mS/m). La medición de la concentración inicial en ppm y mS/m se registra y será el valor para ajustar todos los días.

Control de tiempos

Una de las características más relevantes en aeroponía es que el sistema debe ser automático, para esto se utilizó el temporizador asimétrico DBC51 de la marca Carlo Gavazzi. El tiempo de fertirrigación es diferente del tiempo de apagado, de

ahí la importancia de un temporizador asimétrico. En el primer ciclo de cultivo se definieron los tiempos adecuados para la fertirrigación de forma empírica de acuerdo con lo que se muestra en la tabla 2. Los tiempos de trabajo de los 3 ciclos de cultivo fueron 24 minutos apagados, 24 segundos de fertirrigación.

Tabla 2 Pruebas de fertirrigación.

No. de prueba	Tiempo de apagado	Tiempo de fertirrigación	Observaciones
1	30 minutos día / 1 hora de noche	18 segundos	Crecimiento más lento y punta de la raíz oscura.
2	30 minutos día y noche	24 segundos	Punta de la raíz oscura.
3	24 minutos	24 segundos	Disminución de la punta de la raíz oscura.

Canastilla para aeroponía

En el primer experimento de cultivo se diseñaron canastillas de aeroponía con las paredes cerradas y un orificio en la parte inferior, en donde se colocó la espuma agrícola con la plántula para que las raíces de las lechugas quedarán suspendidas en el aire, como se muestra en la figura 3a. El día de la primera cosecha se pudo observar que parte de la raíz era estresada al quedar atrapada en parte de la canastilla. En el segundo experimento de cultivo se mejoraron las canastillas perforando sus paredes para que la raíz tenga más libertad de crecimiento como se muestra en la figura 3b.



a) Experimento .



b) Experimento 2.

Figura 3 Canastillas de aeroponía.

Definición y diseño del experimento de cultivo

En la tabla 3 se muestran las 4 etapas del experimento de cultivo, la duración de cada una y las características la fertirrigación.

El trasplante de las plántulas a la cámara de cultivo se realiza el día 30 después de la germinación, es recomendable realizar el trasplante por la mañana para evitar que las plántulas sufran estrés.

Tabla 3 Etapas para el experimento de cultivo.

Etapa	Duración	Fertirrigación
Germinación	2 días	Manual Sin nutrientes
Crecimiento de raíz	27 días	Manual Nutrientes al 25%
Crecimiento en cámara de cultivo	31 días	Automática Nutrientes 100%
Cosecha	Día 60	Automática 1 día sin nutrientes

VARIABLES FÍSICAS MEDIDAS EN EL INVERNADERO

La cámara de crecimiento aeropónico se instaló dentro del Invernadero del Tecnológico Nacional de México en Celaya a cargo del departamento de Ingeniería Bioquímica. El invernadero cuenta con una pared de humedad y extractores que ayudan a mejorar la temperatura del ambiente. Como se observa en la tabla 1, para el cultivo de lechuga se debe tener cuidado con la temperatura, por lo cual se monitoreó durante todo el ciclo de cultivo la temperatura ambiente y la humedad relativa utilizando un higrómetro digital HTC-1, las mediciones se realizan todo el día y se registran temperaturas máxima y mínima, figuras 4 y 5.

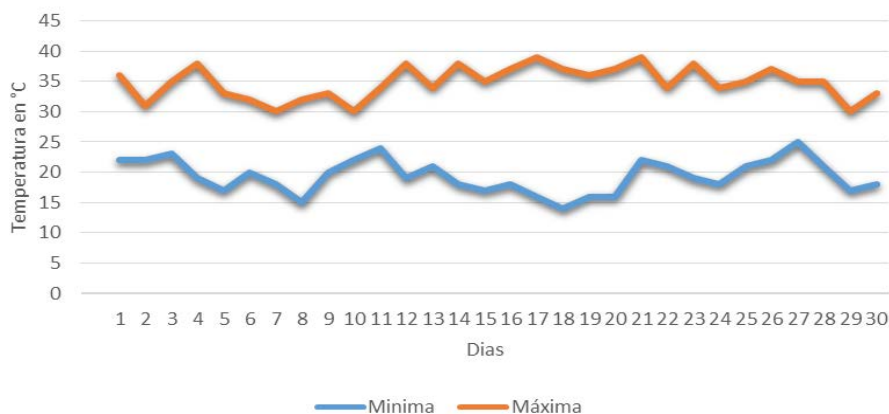


Figura 4 Temperatura del invernadero.

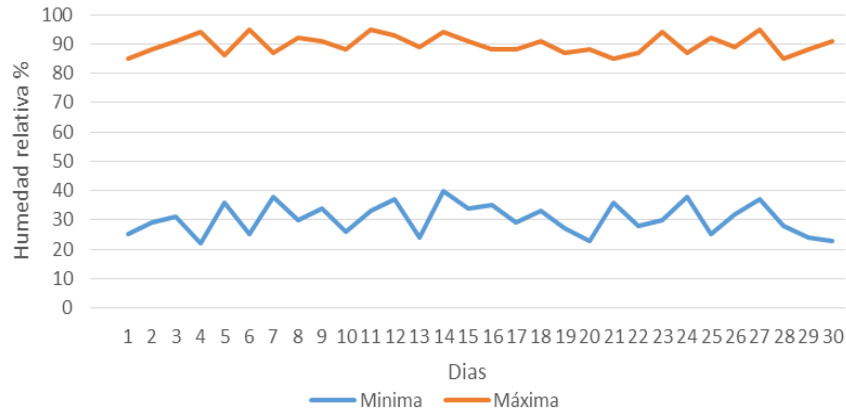


Figura 5 Humedad relativa del invernadero.

3. Resultados

Se evaluó la funcionalidad de la cámara de crecimiento aeropónico que se muestra en la figura 6. Para la evaluación se trabajó con 3 ciclos de cultivo de lechuga utilizando las especificaciones del prototipo final. Durante los ciclos de cultivo se observó dos tipos de estrés en las plantas de lechuga. El estrés hídrico es cuando ocurre una falla en las boquillas de nebulización y la raíz no recibe nutrientes y el estrés por temperaturas altas. El estrés en la lechuga es bastante visible pues sus hojas pierden turgencia, figura 7.



Figura 6 Cámara de crecimiento aeropónico.



Figura 7 Estrés en lechugas.

En la figura 8, se muestra la lechuga completa un día antes de la cosecha. Se puede apreciar el sistema radicular de cada una de las plantas.



Figura 8 Lechuga lista para cosechar.

4. Discusión

Con esta investigación se evalúa el funcionamiento del diseño e implementación de un sistema aeropónico para el cultivo de lechuga. Basado en pruebas experimentales y mediante la comprobación del funcionamiento durante 3 ciclos de cultivo, se presentan las características de trasplante de la plántula al sistema aeropónico, los tiempos de fertirrigación, las condiciones de la solución nutritiva y las variables físicas medidas en el invernadero para asegurar el desarrollo óptimo del cultivo.

El análisis realizado en esta investigación concuerda con los elementos identificados en la literatura consultada sobre cultivos sin suelo, el sistema constituye una propuesta teórica – experimental para el desarrollo de sistemas aeropónicos en invernadero y su finalidad es proporcionar a plantas que se encuentran totalmente en el aire los nutrientes necesarios para su crecimiento. Los resultados obtenidos pueden ser ampliados como trabajo futuro a otros tipos de cultivos adecuando las necesidades de cada especie.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos de los 3 ciclos de cultivo de lechuga nos dan indicio que su crecimiento es el adecuado en tiempo, forma y calidad en el sistema aeropónico. Sin embargo, para poder corroborar lo visible se realizará procesamiento de

imágenes de las plantas para revisar su crecimiento y se analizarán las propiedades bioquímicas de la lechuga para tener valores cuantitativos de nuestros experimentos.

Como trabajo futuro se pretende diseñar e implementar una cámara de crecimiento aeropónico para chile jalapeño.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Durán, J. M., & Nava, L. M., “Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía”, *Cultivos intensivos*, 40-43, 2000.
- [2] Douglas A. Skoog, F. J., “Principios de análisis instrumental. México”, Cengage Learning, 2008.
- [3] Górriz Sáez, H., Álvarez Martínez, A. J., & Oliva Molina, R. M. “Procesamiento digital de imagen para la caracterización morfométrica de la especie *Frankliniella Occidentalis*. Almeria España: Universidad de Almeria”, 2018.
- [4] Grau, P., “Técnicas de análisis de imagen Aplicaciones en biología. Valencia: Universidad de Valencia”, 2003.
- [5] Varela, S. A., “Aspectos básicos de la fisiología en respuesta a estrés y el clima”, INTA. 2010.
- [6] Martins, L. M., Clarete, E., & Carlos, Lanamar De Almeida, L. de C. L. F. G. M. M. J. L. C. ,”Physical and Chemical Characteristics of Lettuce Cultivars Grown Under Three Production Systems Características Físicas E Químicas De Cultivares De Alface”, *Bioscience Journal*, 33, 621–630, 2017.
- [7] Morgunov, A. P., & Kirgizova, I. V., “Control unit for the dosed feeding of the nutrient solution into the industrial aeroponic installation system”, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019.
- [8] Urrestarazu, M., Gallegos, V., & Álvaro, J. E., “The Use of Thermography Images in the Humidification Bulb in Soilless Culture”, *Communications in soil science and plant analysis*, pp. 1595–1602, 2017.
- [9] Morales, I., & Urrestarazu, M., “Thermography study of moderate electrical conductivity and nutrient solution distribution system effects on grafted tomato soilless culture”, pp. 1508–1512, *Hortscience*, 2013.

- [10] Faget, M., Nagel, K. A., Walter, A., Herrera, J. M., Jahnke, S., Schurr, U., & Temperton, V. M., "Root–root interactions: extending our perspective to be more inclusive of the range of theories in ecology and agriculture using in-vivo analyses", *ANNALS OF BOTANY*, pp. 253-266, 2013.
- [11] Urrestarazu, M., "Infrared thermography used to diagnose the effects of salinity in a soilless culture", *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, pp. 1-8, 2013.
- [12] Morales, I., Alvaro, J. E., & Urrestarazu, M., "Contribution of thermal imaging to fertigation in soilless culture", *Thermal Analysis and calorimetry*, pp. 1033-1039, 2014.