

DISEÑO DE SISTEMA AEROPÓNICO PARA CULTIVO DE LECHUGA

AEROPONIC SYSTEM DESIGN FOR LETTUCE CULTIVATION

Sandor Eduardo Domínguez Velazco

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México
sandordv2017@gmail.com

José Alfredo Padilla Medina

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

Coral Martínez Nolasco

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

Recepción: 25/septiembre/2019

Aceptación: 14/noviembre/2019

Resumen

Se presenta un sistema de cultivo aeropónico para Lechuga el cual se inserta en un invernadero. Los sistemas aeropónicos exponentes de las técnicas de cultivo sin suelo son un tipo de sistema hidropónico donde las raíces de las plantas se desarrollan en el aire. La fertirrigación se realiza mediante un sistema de nebulizadores. El desarrollo eficiente de las plantas está directamente relacionado con la incidencia del flujo de los aspersores, con el régimen de tiempo en que se realiza la nebulización y con el ambiente donde se inserte el cultivo. El presente trabajo está dirigido a diseñar un sistema de cultivo aeropónico para plántulas de Lechuga.

Palabras Claves: Cultivo sin suelo, Lechuga.

Abstract

An air culture system for Lettuce is presented, which is inserted in a greenhouse. The exponential aeroponic systems of soilless cultivation techniques are a type of hydroponic system where plant roots develop in the air. Fertigation is done through a system of nebulizers. The efficient development of the plants is directly related to the incidence of the flow of the sprinklers, to the time regime in which the fogging is

carried out and to the environment where the crop is inserted. The present work is aimed at designing an aeroponic cultivation system for lettuce seedlings.

Keywords: *soiless, cultivation, lettuce.*

1. Introducción

Los recursos naturales suelo y agua son esenciales en la producción agrícola ya que proporcionan los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas además de su soporte físico [Martinez & Duran Perez, 2019] [Martinez-Mate, Martin-Gorriz, Martínez-Alvarez, Soto-García, & Maestre-Valero, 2018]. La actividad humana ha propiciado que estos recursos tiendan a ser más escasos y su aprovechamiento menos óptimo. Tomando en cuenta la necesidad de producir alimentos ante una población en crecimiento y un ambiente cada vez más hostil y contaminado, las técnicas de producción agrícolas sin suelo se erigen como alternativa para dar frente a tan comunes problemas que enfrenta la agricultura en la actualidad [Vassallo, 2018]. Los sistemas hidropónico incluyen todos los sistemas que entregan los nutrientes en forma líquida con o sin un medio agregado para dar soporte a las raíces de las plantas [Hayden, 2006] [Doll, Boring, & Taylor, 2019] su alcance está dirigido a nutriología y fisiología de las plantas, la ecología y automatización de los procesos agrícolas [LIU et al., 2019].

Los sistemas aeropónicos son sistemas hidropónicos que no presentan inmersión de las raíces de las plantas en un fluido con nutrientes y agua [Francis, Vishnu, Jha, & Rajaram, 2018], en su caso, el medio donde es inmersa la raíz de la planta es el aire y mediante un sistema de aspersores o nebulizadores se le provee a la raíz los principales nutrientes que permiten su crecimiento [Calori et al., 2018]. Se debe prever una forma de soporte físico de la planta para lograr que el peso de la estructura en todas las etapas de su crecimiento no afecte o deteriore las partes restantes y sea posible mitigar el estrés en la planta.

El uso de sistemas aeropónicos posibilita la creación de un ambiente controlado que influye en la obtención de productos agrícolas sanos, evitando los efectos negativos aparejados a la contaminación de los suelos y la influencia de plagas que imponen el uso de pesticidas para erradicarlas, estas consideraciones son determinantes en

la calidad de los productos agrícolas [LIU et al., 2019]. El ahorro del agua es un elemento que puede ser considerado en estos sistemas previendo y optimizando su uso en el proceso. Desde el punto de vista investigativo los métodos de cultivo aeropónicos facilitan los estudios del comportamiento de las raíces de las plantas considerando técnicas no invasivas como es el procesamiento de imágenes.

Al estar insertados los sistemas aeropónicos en un ambiente altamente medible y controlado, los resultados que se obtendrán del mismo están directamente relacionados con el eficiente control de las variables que integran el proceso. Se identifican como variables medibles: Temperatura, Presión del fluido de nutrientes nebulizado a las raíces, Flujo de agua de entrada y salida del sistema, Nivel (agua y salinidad y nutrientes), pH del agua antes de agregarle nutrientes y sales, Luminosidad y los Tiempos de fertirrigación. [Jagadesh, Karthik, Manikandan, Nivetha, & Prasanth Kumar⁵, 2018], [Francis et al., 2018], [LIU et al., 2019], [Morgunov & Kirgizova, 2019].

En todas las propuestas consultadas en la literatura las estrategias de control están dirigidas a las necesidades de nutrientes de los cultivos, al control de la temperatura a la que están expuestas las plantas y las raíces, a los niveles de nutrientes y agua depositada y recuperada en el sistema. El sistema activa y desactiva, en base a mediciones, elementos de control final que manejan bombas de líquido, ventiladores y extractores que le brindan las condiciones idóneas para el desarrollo de la especie a cultivar.

Nuestra propuesta se centra en un sistema de cultivo aeropónico el cual en base a la identificación de los requerimientos del cultivo a cosechar pretende ser un sistema piloto para futuras investigaciones.

El cultivo seleccionado es la Lechuga (*Lactuca sativa* L) la cual exige para su óptimo crecimiento un alto nivel de nutrientes y un buen drenaje [Martins, Clarete, & Carlos, Lanamar De Almeida, 2017]. Es un vegetal de fácil preparación y comúnmente presente en la dieta de los seres humanos aportando gran fuente de vitaminas y minerales. [Martins et al., 2017]. Estudios recientes revelan su influencia positiva en la reducción de efectos de padecimientos cardiovasculares y enfermedades crónicas [Bauer et al., 2019].

2. Métodos

La germinación se realizó en espuma agrícola para hidroponía, agregando un poco de sustrato de turba de coco para proveer humedad a la semilla. En la misma espuma la plántula de 30 días fue trasplantada al sistema aeropónico. A partir de 30 días se colocaron en la cámara de cultivo del sistema aeropónico.

La nutrición de las plantas de lechuga se realizó en base a la etapa de su crecimiento ajustándose la concentración de nutrientes disueltos en agua. El compuesto de nutrientes utilizado presenta dos soluciones, la A que aporta Calcio y la B con altas concentraciones de macronutrientes.

En su estado de germinación la nutrición de las plántulas se realizó puramente en agua con pH 6 y sin luz, desde la aparición de las dos primeras hojas (2-3 días) hasta los 30 días se realizó con agua y un 25% de concentración de nutrientes. Pasado los 30 días, ya en la cámara de cultivo la mezcla de agua contenía el 100 % de nutrientes.

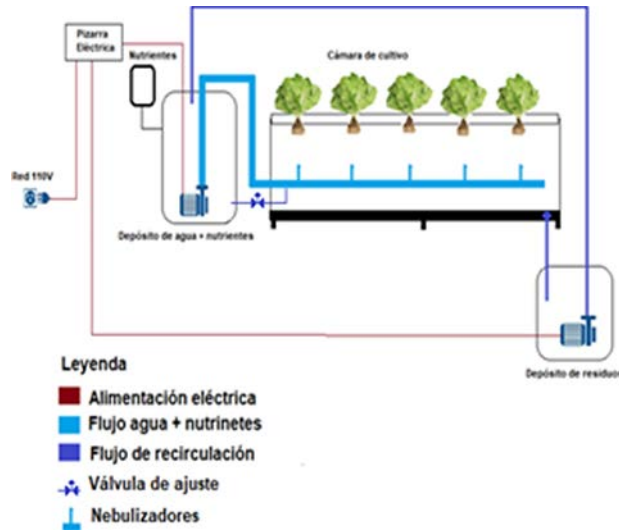
Sistema Aeropónico

El sistema aeropónico que se diseñó para el cultivo de la lechuga está formado por una cámara de crecimiento donde se realiza la plantación de las lechugas, un sistema de circulación principal que abastece a los cultivos del agua y los nutrientes, un sistema de recirculación donde se acumulan los residuales que son nuevamente insertados al sistema principal de alimentación y la pizarra eléctrica donde se encuentran los seccionadores de *on/off* del sistema y los dispositivos de *conexión/desconexión* de las bombas sumergibles, figura 1.

El sistema se insertó en un invernadero que al ser una técnica de agricultura protegida evita la aparición de plaga externa, se aprovechan las potencialidades que presenta el sistema desde el punto de vista de temperatura, nivel de iluminación y ventilación controlada y estable.

Cámara de crecimiento

La cámara de cultivo del sistema aeropónico, diseñada para 30 plantas, es un prisma recto de 6 caras cuyas dimensiones se muestran en la tabla 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Diagrama general del sistema.

Tabla 1 Dimensiones del sistema aeropónico.

Dimensión	Medida (cm)
Largo	253
Ancho	100
Alto	80

Fuente: Elaboración propia.

La cámara de cultivo fue recubierta con una capa de nylon de PVC blanco para realizar el aislamiento de las raíces y evitar fugas del agua nebulizada, se previó una ventana para realizar la inspección del estado de las raíces de las plantas y el comportamiento del sistema de nebulización. En la parte inferior se fijó una capa de fibra plástica por la cual corre el agua residual a una rendija, así es ingresada al sistema de recirculación. En la figura 2 se muestran las vistas generales del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Vista general del sistema.

El sistema de nebulización diseñado se muestra en la figura 3, es una estructura de tubos de PVC de 1". Cada 20 cm se colocó un accesorio Tee de 1" que en su parte superior es insertado, mediante rosca, el nebulizador, de diámetro inferior para que la salida de los nebulizadores sea con mayor velocidad y menor presión con el fin de no dañar la raíz de la planta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3 Sistema nebulizador.

La estructura de tubería de PVC se colocó a 30 cm de la cara superior de la estructura metálica para asegurar incidencia del fluido de nutrientes a las raíces. La salida es ajustada mediante una válvula que vierte su contenido al depósito del sistema principal de circulación, este ajuste se realizó teniendo en cuenta el nivel de nebulización necesaria para las plantas y se dispuso de manera que cada planta tuviera un nebulizador asignado. Para la plantación y fijación de las plantas se previó una capa de unicel, la cual es perforada en base a la disposición del sistema de nebulización. Para asegurar la fijación de la estructura de la planta se agregó un retaso de algodón que evita el movimiento.

Sistema de circulación principal

El sistema principal de circulación es el encargado de realizar la mezcla de los nutrientes disueltos en agua suministrada a las raíces de las plantas y la nebulización. Está compuesto por un depósito en el cual se aloja el compuesto de nutrientes previamente preparado y analizado para cada especie y por el depósito de agua en el que se realiza la mezcla con los nutrientes. Para la alimentación del sistema de nebulizadores se utiliza una bomba sumergible la cual está alojada en

el depósito de agua; en este depósito se monitorean los niveles de agua y de nutrientes.

Sistema de recirculación

El sistema de recirculación está compuesto por un depósito en el cual se acumula la mezcla de agua y nutrientes residuales. En este depósito se instaló una bomba sumergible con un régimen de trabajo determinado por el sensor de nivel de la misma.

Pizarra eléctrica

En este componente del sistema se encuentran los dispositivos eléctricos y electrónicos que realizan el control de los elementos que conforman el sistema. Para el caso del funcionamiento del sistema principal de circulación y recirculación, mediante relees temporizados se configuran los tiempos de activación y desactivación del nebulizado a las raíces de las plantas y el vaciado del sistema de recirculación, figura 4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Relés temporizados.

3. Resultados

La estructura de la cámara de cultivo que se propuso es idónea para el cultivo de 30 especies de lechuga ya que las dimensiones de la misma favorecen la colocación de las plantas con óptima distribución espacial, las raíces se desarrollan en un medio controlado, libre de incidencias directas que puedan afectar su desarrollo (truncamiento, plagas; condiciones adversas de temperatura, de presión, de pH).

La cámara propuesta posibilita el monitoreo del estado en que se encuentra el cultivo durante las etapas de su desarrollo y se erige como una alternativa para el desarrollo de experimentos que propicien el cultivo aeropónico de la especie en cuestión o de otras de similares requerimientos.

Los niveles de nebulización, después de los ajustes realizados, alcanzaron un flujo constante y fino sin golpes de presión que dañen las raíces de las plantas. El ajuste de estos niveles se realizó manual mediante la válvula insertada en el sistema de nebulización. Los residuales de la nebulización se reinsertan al sistema primario de nebulización posibilitando el reciclado y aprovechamiento del agua.

La reutilización del agua en el sistema aeropónico impone el reajuste de los niveles de nutrientes y pH propios del estado inicial del proceso de fertirrigación. La medición de la concentración (en ppm) se realiza a través de conductividad eléctrica. El control de los tiempos de fertirrigación de las raíces a la nebulización se realizó mediante ajustes en los tiempos de activación de los relees temporizados. La frecuencia de riego según horario del día se muestra en la tabla 2. La exposición de las raíces a la nebulización es de 20 segundos.

Tabla 2 Frecuencia de Riego.

Momento del día	Frecuencia de riego
Mañana (7 am–12 pm)	2
Mediodía (12 pm – 2 pm)	5
Tarde (2 pm – 7 pm)	2
Noche (7 pm – 7 am)	4

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

Con la realización de esta investigación se diseña e implementa un sistema aeropónico para el cultivo de Lechuga. Basado en pruebas se presentan los tiempos de plantación de las lechugas en el sistema aeropónico, la concentración de nutrientes necesarios en cada etapa de desarrollo de las plántulas, el tamaño de la gota a nebulizar que evite el daño de las raíces de las plantas y el régimen de riego que más se adecue al cultivo.

El análisis realizado en esta investigación concuerda con lo elementos identificados en la literatura consultada ya que se orienta al cultivo de plantas utilizando técnicas

aeropónicas constituyendo una propuesta teórica- experimental para el desarrollo de estos sistemas El sistema propuesto está dirigido a suplir a las plantas de los nutrientes necesarios en concordancia con la etapa de desarrollo en que se encuentra y en los niveles de riego que más se adecuen a su crecimiento. El resultado obtenido puede ser ampliado como trabajo futuro a otras especies de plantas y con un mayor grado de instrumentación y automatización.

5. Bibliografía y referencias

- [1] Bauer, A., Bostrom, A. G., Ball, J., Applegate, C., Cheng, T., Laycock, S., Zhou, J. (2019). Combining computer vision and deep learning to enable ultra-scale aerial phenotyping and precision agriculture: A case study of lettuce production. *Horticulture Research*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0151-5>.
- [2] Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Moraes, C. C. de, & Purquerio, L. F. V. (2018). Seed potato minituber production in an aeroponic system under tropical conditions: electrical conductivity and plant density. *Journal of Plant Nutrition*, 41(17), 2200–2209. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1497652>.
- [3] Doll, M. J., Boring, N. J., & Taylor, M. B. (2019). *Hydro-Aeroponic Design*. 2019.
- [4] Francis, F., Vishnu, P. L., Jha, M., & Rajaram, B. (2018). IOT-based automated aeroponics system. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 492, 337–345. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8575-8_32.
- [5] Hayden, A. L. (2006). Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *HortScience*, 41(3), 536–538.
- [6] Jagadesh, M., Karthik, M., Manikandan, A., Nivetha, S., & Prasanth Kumar, R. (2018). IoT Based Aeroponics Agriculture Monitoring System Using Raspberry Pi. 6(1), 601.
- [7] LIU, S., LIU, D., ZHANG, M., YIN, B., MA, Y., & NAN, S. (2019). Control System of Aeroponics in Sunlight Greenhouse. *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*, (msota), 428–433. <https://doi.org/10.12783/dtcse/msota2018/27579>.

- [8] Martínez-Mate, M. A., Martín-Gorrioz, B., Martínez-Alvarez, V., Soto-García, M., & Maestre-Valero, J. F. (2018). Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1298–1310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.275>.
- [9] Martínez, M., & Duran Perez, F. (2019). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Tesis, 1–49.
- [10] Martins, L. M., Clarete, E., & Carlos, Lanamar De Almeida, L. de C. L. F. G. M. M. J. L. C. (2017). 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.
- [11] Morgunov, A. P., & Kirgizova, I. V. (2019). Control unit for the dosed feeding of the nutrient solution into the industrial aeroponic installation system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1210, 012099. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1210/1/012099>.
- [12] Vassallo, A. S. (2018). Low Effort Management of Basil (*Ocimum Basilicum*) Growth in an Aeroponic System. Queen's University Kingston.