



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO A DISIMILES EDADES DE
TRASPLANTE EN VARIETADES DE LECHUGA EN SISTEMA
AEROPÓNICO

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

MONSERRATH FLORES GUTIÉRREZ

DIRECTOR DE TESIS

M. C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO A DISIMILES EDADES DE
TRASPLANTE EN VARIEDADES DE LECHUGA EN SISTEMA
AEROPÓNICO

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

MONSERRATH FLORES GUTIÉRREZ

DIRECTOR DE TESIS

M. C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

ASESORES

DR. LUIS ANTONIO DOMÍNGUEZ PERALES

DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ

DR. DELFINO REYES LÓPEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021

La presente tesis titulada: **Crecimiento y rendimiento a disimiles edades de trasplante en variedades de lechuga en sistema aeropónico** y realizada por **Monserath Flores Gutiérrez** ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

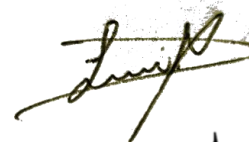
Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: M. C. Fabiel Vázquez Cruz



Asesor: Dr. Luis Antonio Domínguez Perales



Asesor: Dr. Sigfrido David Morales Fernández



Asesor: Dr. Delfino Reyes López



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **Agrobiotecnología y Recursos Naturales** y de la Línea de Investigación: **Biotecnología, Conservación y Protección Vegetal**. Dicho trabajo, fue financiado con **recursos propios**.

DEDICATORIA

¡Lo logré! Gracias a Dios estoy aquí y nada me hace más feliz que el saber que ustedes lograron verlo conmigo.

Esta tesis va dedicada:

A mi madre **Isadora Gutiérrez López** y a mi padre **Ignacio Flores Martínez** por confiar en mi capacidad de poder hacer y lograr tantas cosas, por apoyarme incondicionalmente a pesar de todas las situaciones que hemos pasado, pero no por ello dejaron de luchar y esforzarse para ofrecernos a mis hermanos y a mi simplemente lo mejor. Gracias por estar conmigo, si los tengo a ustedes lo tengo todo y aunque muchas veces sintieron interminable esta misión, ahora lo hemos logrado juntos. Gracias Mamá y Papá lo que me dieron es perfecto, del resto me encargo yo. Los amo con todo mi corazón.

A mi hermana **Mily** por ser mi mejor amiga a lo largo de toda mi vida, por no frenar mis deseos de aprender y por nunca dejarme sola a pesar de todo. Espero que algún día al leer esto te sirva de algo, te logre alentar a ser la mejor, yo sé que puedes hacer cosas maravillosas, así que no te rindas, y espero esta tesis te motive de alguna manera. Te amo.

A mis hermanos **Mitchel e Ignacio** por formar parte de mi vida y nunca dejar de creer en mí, gracias por su apoyo incondicional, por su amistad, confianza y paciencia que han tenido conmigo, por siempre preocuparse por mí y cuidarme como lo que soy "su hermana menor". Gracias por todos los momentos felices que me han brindado, espero que siempre sea así, ¡Gracias Hermanos, los amo!

A mi mejor amiga **Maggie** por creer en mi desde la prepa, por ayudarme con cada problema tanto físico como emocional que

tuve a lo largo de la carrera, a la distancia, pero siempre conmigo, Gracias porque a pesar de todos mis errores siempre me disté la fuerza y energía para salir adelante. ¡Te amo Corazón!

A mis mejores amigos de la universidad **Roberto, Elfego, Ruth, Ana Ceci** y **Brenda** esto también va por ustedes, gracias por hacer tan disfrutable mi estadía en Teziutlán y mi carrera de licenciatura, ustedes fueron mis compañeros, mis amigos y un hogar. Lograron hacer que el hecho de estar lejos de casa y mi familia no fuera tan desolador. Me abrieron las puertas de sus casas y ahora ustedes se quedarán de por vida en mi corazón. Los amo.

A todos los docentes de los diferentes niveles educativos que me compartieron sus conocimientos y me formaron para lograr conseguir este objetivo.

AGRADECIMIENTOS

Al M. C. Fabiel Vázquez Cruz quien me ofreció su entera confianza para la realización de esta tesis al mismo tiempo que continuamente me incito a investigar, retroalimentarme y experimentar. Gracias a usted me llevo conocimientos nuevos y unas infinitas ganas de seguir adelante.

A los Doctores Sigfrido David Morales Fernández y Luis Antonio Domínguez Perales quienes con su experiencia enriquecieron este trabajo al hacer comentarios precisos, apoyándome en lo necesario.

Al Doctor Delfino Reyes López por el apoyo a ser mi asesor de esta tesis.

A la FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS por abrirme las puertas y ofrecerme las facilidades y apoyo para prepararme profesionalmente.

¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	i
RESUMEN	i
ABSTRACT	i
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
III. HIPÓTESIS	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1 Lechuga	6
4.1.1 Clasificación taxonómica	7
4.1.2 Descripción de la planta	7
4.1.3. Fenología	8
4.2 Nutrición	9
4.2.1 Fertilización	9
4.3 Hidroponía	10
4.3.1 Sistemas hidropónicos	11
4.3.2 Raíz flotante	11
4.3.3 Sistema Nutrient Film Technique (NFT)	11
4.4 Sistema aeropónico	12
4.4.1 Importancia de la aeroponía	12
4.4.2 Ventajas	13
4.4.3 Desventajas	13
4.4.4 Aeroponía automatizada	14
4.5 Sistemas aeropónicos en el cultivo de lechuga	14
4.6 Soluciones nutritivas	16
4.6.1 Calidad del agua en la solución nutritiva	16
4.6.2 pH en la solución nutritiva	16
4.6.3 Conductividad eléctrica en la solución nutritiva ...	17
4.7 Antecedentes de investigación en edad de trasplante ...	17
V. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1 Localización del sitio experimental	19
5.2 Diseño del sistema aeropónico	19

5.3 Manejo del cultivo en sistema aeropónico	21
5.3.1 Material vegetal.....	21
5.3.2 Trasplante al módulo.....	21
5.3.3 Manejo del riego.....	21
5.3.4 Monitoreo y control de plagas y enfermedades.....	22
5.3.5 Preparación de la solución nutritiva.....	22
5.4 Diseño experimental	23
5.5 Tratamientos	24
5.6 Variables de respuesta	24
5.6.1 Temperatura y humedad relativa.....	24
5.6.2 Altura de planta.....	24
5.6.3 Longitud radicular.....	24
5.6.4 Peso fresco.....	24
5.6.5 Biomasa.....	25
5.6.6 Rendimiento.....	25
5.7 pH y CE en la solución nutritiva	25
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
6.1 Temperatura y humedad relativa	26
6.2 Altura de planta	27
6.3 Longitud de raíz	28
6.4 Peso fresco	29
6.5 Biomasa	30
6.6 Rendimiento	31
6.7 pH y CE en la solución nutritiva	32
VII. CONCLUSIONES.....	33
VIII. LITERATURA CITADA.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Taxonomía de la lechuga.....	7
Cuadro 2.	Dosis de fertilización y época de aplicación de..	10
Cuadro 3.	Programación de horario de encendido y apagado del timer.....	22
Cuadro 4.	Formula de Solución Nutritiva para cultivo de lechuga (Lactuca Sativa L.).....	23
Cuadro 5.	Comparación de medias para altura de planta.....	27
Cuadro 6.	Comparación de medias para longitud de raíz.....	28
Cuadro 7.	Comparación de medias para peso fresco.....	29
Cuadro 8.	Comparación de medias para biomasa.....	30
Cuadro 9.	Comparación de medias para rendimiento.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sitio del establecimiento del experimento 2021...	19
Figura 2.	Módulo de aeroponía (Elaboración propia).....	20
Figura 3.	Comportamiento de la temperatura y humedad relativa	26
Figura 4.	Comportamiento de la temperatura y humedad relativa	32

RESUMEN

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO A DISIMILES EDADES DE TRASPLANTE EN VARIEDADES DE LECHUGA EN SISTEMA AEROPÓNICO

Actualmente en el mercado nacional se aprecia una demanda de hortalizas que satisfagan estándares de calidad. Dentro de las hortalizas demandadas se encuentra la lechuga, que puede ser producida hidropónicamente. El objetivo fue evaluar el crecimiento y rendimiento en dos variedades de lechuga (Escarola e Iceberg Fernandola) bajo un sistema aeropónico considerando dos edades al trasplante. El primer trasplante se realizó cuando el cultivo presento cuatro hojas verdaderas, el segundo trasplante se realizó a los 10 días después de haber presentado cuatro hojas verdaderas, el modulo se diseñó para soportar 12 plantas m^{-2} . Las variables evaluadas fueron altura de planta, longitud radicular, peso fresco, biomasa y rendimiento. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con arreglo factorial de 2×2 , utilizando dos repeticiones por tratamiento, considerando una planta como unidad experimental. El mejor rendimiento se obtuvo en la variedad Escarola realizando el trasplante al momento de presentar cuatro hojas verdaderas con un peso promedio por planta de $66.03 \text{ g planta}^{-1}$ y un rendimiento promedio de 932.9 g m^{-2} , las edades al trasplante influyeron en el crecimiento del cultivo de lechuga el presentar valores de pesos comerciales muy bajo. En la actualidad el sistema aeropónico no es tan utilizado al ser un sistema de alto costo por el consumo de energía, pero es una alternativa para la producción de cultivos hortícolas.

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

ABSTRACT**GROWTH AND YIELD AT DIFFERENT TRANSPLANTING AGES OF LETTUCE VARIETIES IN AEROPONIC SYSTEMS**

Currently, there is a demand in the domestic market for vegetables that meet quality standards. Among the vegetables in demand is lettuce, which can be produced hydroponically. The objective was to evaluate the growth and yield of two lettuce varieties (Escarole and Iceberg Fernandola) under an aeroponic system considering two transplanting ages. The first transplanting was done when the crop presented four true leaves, the second transplanting was done 10 days after presenting four true leaves, the module was designed to support 12 plants m^{-2} . The variables evaluated were plant height, root length, fresh weight, biomass and yield. The experimental design used was randomized complete blocks with a 2 x 2 factorial arrangement, using two replicates per treatment, considering one plant as the experimental unit. The best yield was obtained in the Escarole variety, transplanting at the moment of presenting four true leaves with an average weight per plant of 66.03 g $plant^{-1}$ and an average yield of 932.9 g m^{-2} , the ages at transplanting influenced the growth of the lettuce crop by presenting very low values of commercial weights. At present, the aeroponic system is not widely used because it is a high cost system due to its energy consumption, but it is an alternative for the production of horticultural crops.

Key words: *Lactuca sativa L*, soilless crops, yield, nutrient solution.

I. INTRODUCCIÓN

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.

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, por medio de la cual una planta se desarrolle en un entorno óptimo con sustancias nutritivas para su adecuado crecimiento (Birgi, 2015).

Existen diferentes técnicas o modalidades en el manejo de cultivos, sin necesidad del suelo, estas técnicas producen plantas principalmente de tipo herbáceo, se aprovecha cualquier tipo o áreas no convencional, sin perder las necesidades para el desarrollo que las plantas necesitan como luz, temperatura, agua y nutrientes (Beltrano y Giménez, 2015).

Los sistemas de cultivo aeropónico proporcionan una producción de alimentos limpia, eficiente y rápida (Rojas, 2019). Este tipo de cultivos se puede plantar y cosechar durante todo el año sin interrupción sin contar los recursos naturales, con pesticidas y residuos de los mismos. Dado que este tipo de cultivo, crece en un entorno limpio y estéril, reduce en gran medida las posibilidades de diseminar enfermedades e infecciones de las plantas (National Aeronautics and Space Administration, 2006).

Para Sinergia (2017) el crecimiento desmedido de la población y el aumento de las fronteras agrícolas en los últimos años, ha generado algunos problemas a los ecosistemas, por ejemplo, la agricultura está destruyendo cada año zonas naturales las cuales son hábitat de muchas especies, deterioran los recursos naturales como; el agua el suelo y el aire, esto está relacionado con lo mencionado por La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018) según esta organización los agricultores enfrentan problemas para implementación de políticas agrarias sostenibles debido a la falta de requerimiento técnicos e incentivos por parte de los gobiernos.

Villalobos (2015) indica que el sistema aeropónico vertical es una alternativa para la agricultura eficiente y rentable ya que el control que se tiene con las plantas es mayor, este tipo de cultivo representa una gran rentabilidad ya que los

equipos utilizados tienen una vida útil media de ocho años aproximadamente, tiempo en el cual no será necesario hacer más inversión en equipamiento.

Mientras que para (Martínez, 2013) 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, es evaluar los efectos de la edad de la plántula al trasplante en el comportamiento fenológico, crecimiento y rendimiento en tres variedades de lechuga en un sistema de producción aeropónica.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

➤ Evaluar el crecimiento y rendimiento en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo un sistema aeropónico considerando dos edades de trasplante.

2.2 Objetivos específicos

➤ Analizar el rendimiento acorde a las edades al trasplante en el ciclo de cultivo de lechuga.

➤ Evaluar el efecto de las edades al trasplante en el desarrollo del cultivo de lechuga.

III. HIPÓTESIS

Las edades al trasplante afectaran en el crecimiento y rendimiento entre las variedades de lechuga.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) es una planta anual, propia de las regiones semitempladas, existe muchas variedades y a su cultivo cada vez mayor en invernaderos, esta hortaliza se puede consumir durante todo el año. El nombre *Lactuca* procede del latín *lactis* que significa (leche) en referencia al líquido lechoso que es la savia que sale de los tallos al ser cortados, *sativa* hace referencia a su carácter de especie cultivada, es autógena, perteneciente a la familia *Compositae* (Oviedo, 2013).

Para Campos (2012) la lechuga (*Lactuca sativa L.*) es una planta autógena, que presenta hojas redondeadas, lanceoladas o casi espatuladas, con su sistema radicular profundo y poco ramificado, son de tallo cilíndrico y ramificado, presentan forma de aquenios provistos de hojas plumosas. su ciclo vegetativo es de 3 a 4 meses, alcanzando una altura entre los 10 y 20 cm y su rendimiento óptimo de cabeza es de 24.500 kg/ha.

La temperatura óptima para su crecimiento oscila entre los 15 - 20 °C, durante la noche resiste temperaturas entre 3 y 8 °C, sin embargo, es poco resistente a las heladas. Necesita de 12 horas de luz al día. Aunque existe un gran número de variedades cultivadas que se adaptan a una amplia gama de climas, también se pueden adaptar a una gama amplia de suelos (Rendón, 2013).

4.1.1 Clasificación taxonómica

Cuadro 1. Taxonomía de la lechuga

Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Macrophylllophita
Sub - división	Magnoliphytina
Clase	Paenopsida
Subclases	Asteridae
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae/Compositae
Género	Lactuca
Especie	Sativa

Fuente: (Muñoz, 2018).

4.1.2 Descripción de la planta

Según Bocanegra (2014) la raíz de la lechuga es de tipo pivotante, pudiendo llegar a medir hasta 30 cm. Esta hortaliza posee un sistema radicular bien desarrollado, estando de acuerdo la ramificación a la compactación del suelo; así un suelo suelto tendrá lechugas con un sistema radicular más denso y profundo que un suelo compacto. Sin embargo, Gebol (2012) asegura que "sus hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado.

Para Bocanegra (2014) sus tallos son muy corto (es una planta casi acaule) y lleva una roseta de hojas que varían en tamaño, textura, forma, y color según los cultivadores, mientras que (FAO, 2011) indica que las flores son amarillas pequeñas, reunidas en anchas cimas corimbosas, con numerosas bractéolas.

4.1.3. Fenología

La semilla de plantas de la lechuga es botánicamente un aquenio, definido como un fruto seco e indehiscente de una sola semilla. Esta semilla se humedece con agua, con la cual se activa una serie de mecanismos fisiológicos con los que se inicia el procedimiento de germinación (Rio *et al.*, 2017).

Tarigo, Reppeto y Acosta, 2004 citado por Hernández (2014), manifiesta que:

La germinación se tarda entre cinco y siete días para que las semillas de lechuga broten, si se las riega adecuadamente. La temperatura óptima de germinación oscila entre 18-20 °C. La germinación es inhibida por encima de 28-30°C.

Fase de plántula: la etapa de plántula se produce después de que la semilla germina, y dura entre tres a cuatro semanas. Esta es la fase en la que el brote comienza a desarrollarse y la planta se encuentra en su etapa más delicada. Las primeras hojas empiezan a formarse y se comienza a desarrollar el sistema de la raíz.

Fase de roseta: en esta etapa empieza a disminuir la relación larga/ancho de las láminas foliares. Los peciolos se

hacen sumamente cortos o desaparecen, por lo que la planta adquiere aspecto de roseta. En esta etapa la planta llega a 12 a 14 hojas verdaderas.

4.2 Nutrición

Para la adecuada nutrición de la lechuga es muy importante el tiempo y la forma de aplicar, esto es lo que determinara el incremento del rendimiento y la calidad de los cultivos (Pomares y Ramos, 2010).

4.2.1 Fertilización

La cantidad de nutrientes que absorbe la lechuga va a depender de la cantidad de biomasa producida por los distintos órganos de la planta (hojas, tallo, raíz) (cuadro 2), por lo que las extracciones van a variar dependiendo del tipo de lechuga, variedad, ciclo de cultivo, etc. (Pomares y Ramos, 2010).

Cuadro 2. Dosis de fertilización y época de aplicación de acuerdo con la demanda fisiológica del cultivo de lechuga

Días del cultivo	N (Kg ·ha⁻¹)	P (Kg ·ha⁻¹)	K (Kg ·ha⁻¹)
0	10	5	10
5	15	5	10
15	25	10	40
25	50	15	40
35	25	10	
45	20	5	
Total:	145	50	100

FUENTE: (SAGARPA, 2011).

4.3 Hidroponía

La hidroponía se define como una técnica para producir cultivos inocuos. Esta técnica permite obtener cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional, mejor sabor y calidad del producto, mayor homogeneidad y producción (Díaz, 2017). También se puede definir como un conjunto de técnicas que permite cultivar plantas principalmente de tipo herbáceo en un medio libre de suelo. La hidroponía permite el uso de estructuras simples o complejas, cultivando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos e invernaderos climatizados o no, etc. De esta técnica se desarrollaron sustratos para el sostén de las plantas y sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vista las necesidades de la planta

como la temperatura, humedad, agua y nutrientes (Beltrano y Giménez, 2015).

4.3.1 Sistemas hidropónicos

Un sistema hidropónico, es aquel sistema de producción en el cual las raíces de las plantas son asperjadas con una solución nutritiva (SN) y en el que, en vez de suelo, se puede usar o no un sustrato. Existen diferentes sistemas de cultivo sin suelo, todo depende del medio en el que se desarrollan las raíces. Son sistemas en donde la raíz está en contacto directo con la SN, algunos sistemas hidropónicos se pueden definir conforme el material utilizado dependiendo del cultivo (Montero, 2006).

4.3.2 Raíz flotante

En este sistema no se utiliza sustrato sólido, las raíces están sumergidas directamente en la SN. Se utilizan láminas de nieve seca a las que se les perforan agujeros en donde se asientan las plantas, y luego se ponen a flotar sobre la SN, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces.

Se puede decir que este sistema representa la verdadera hidroponía, ya que el trabajo se realiza en agua, a la que se le agregan los nutrimentos minerales (Díaz, 2003).

4.3.3 Sistema Nutrient Film Technique (NFT)

El sistema de cultivo por NFT (Nutrient Film Technique) que traducido al español significa, la técnica de la película nutriente, es una de las técnicas más utilizadas en la hidroponía, la cual se basa en la circulación continua o

intermitente de una fina lámina de SN a través de las raíces del cultivo, sin que éstas se encuentren inmersas en sustrato alguno, sino que simplemente quedan sostenidas por un canal de cultivo, en cuyo interior fluye la solución en donde no existe pérdida o salida al exterior de la SN, por lo que se considera un sistema de tipo cerrado. En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas, y estos canales están apoyados sobre mesas o caballetes con una ligera pendiente o desnivel que facilita la circulación de la solución (Carrasco e izquierdo, 1996; Correón, 2015).

4.4 Sistema aeropónico

La aeroponía es el proceso de cultivar plantas en un entorno aéreo o de niebla sin hacer uso de suelo. La palabra aeroponía, viene de los términos griegos *aero* y *pones* que significan aire y trabajo. El principio básico de este sistema es hacer crecer las plantas en un entorno cerrado o semicerrado, realizando una micro aspersión en las raíces colgantes, creando una pulverización acuosa rica en nutrientes, la parte aérea de la planta están hacia arriba, y las raíces están separadas de la estructura de apoyo, el entorno de las raíces está libre de plagas y enfermedades de tal modo que las plantas pueden crecer más saludables y más rápidamente que las plantadas en suelo (Durán, 2000).

4.4.1 Importancia de la aeroponía

Permite reducir considerablemente la cantidad de agua y fertilizantes necesaria para la producción. Estos factores resultan ser de suma importancia, ya que, en grandes áreas semidesérticas del mundo, se están reduciendo las reservas de aguas superficiales y además se están abatiendo los acuíferos subterráneos que proveen aguas fósiles que tienen miles de

años almacenadas en los acuíferos, y que difícilmente se volverán a recargar con agua de lluvia. Además, debido a que la aeroponía permite aportar de forma precisa la cantidad de elementos nutritivos que necesita la planta en cada fase de su desarrollo, se logra conseguir una producción más sostenible desde el punto de vista medioambiental y económico (Rendón, 2013).

4.4.2 Ventajas

Al utilizar los sistemas aeropónicos se disminuye la presencia de enfermedades fungosas, esto permite que las plantas de los cultivos se mantengan en constante crecimiento y desarrollo, con raíces más vigorosas y de rápido crecimiento. Por otro lado, los cultivos en el aire permiten optimizar los beneficios a diferencia de los cultivos hortícolas tradicionales sobre suelo o sustratos, que puedan dañar la producción con una calidad de suelo deficiente, una textura inadecuada, falta de nutrientes o presencia de plagas y enfermedades (Vázquez, 2012).

4.4.3 Desventajas

Existen grandes desventajas en este tipo de sistemas, ya que requieren un mejor nivel de supervisión y mantenimiento, principalmente en la revisión del buen funcionamiento de los aspersores debido a que pueden existir taponamiento y por ende afectar directamente las raíces de las plantas por la falta de agua y nutrimentos. Por otra parte, los aspersores son sensibles a fallas eléctricas y al dejar de funcionar estos en periodos cortos, provoca daños irreversibles y también la muerte del cultivo (Otazú, 2010).

El optar por este sistema resulta costoso, además de requerir de un conocimiento especializado del manejo de las soluciones nutritivas, ya que de acuerdo a esto puede afectarse totalmente a la producción. A medida que la planta se vaya desarrollando necesitara de un mecanismo de apoyo para su propio sostén, ya que en esta técnica no existe un medio de crecimiento de suelo o sustrato que permita el anclaje de la misma. Además, si existe un descuido en cuanto a la higiene se puede infectar a las raíces de todas las plantas, y este puede influir para que desarrollen hongos, algas y bacterias (Pérez, 2012).

4.4.4 Aeroponía automatizada

Jiménez (2015) Esta técnica de cultivo se puede aplicar en gran cantidad de plantas hortícolas, como tomate, pimiento, pepino, calabacín, lechuga entre otras también una gran cantidad de flores como clavel, crisantemo, rosa, con respecto a los factores climáticos, puede generar ahorros energéticos y de mano de obra en torno al treinta por ciento.

4.5 Sistemas aeropónicos en el cultivo de lechuga

Estos sistemas son una alternativa en la agricultura actual, logrando ser utilizados en explotaciones de todas las escalas. Se puede realizar incluso con conocimientos agronómicos básicos. Las mejoras que se realicen a los sistemas de cultivo, generalmente se logran a través de la experimentación, es decir que se trata de un proceso empírico en el que se aplican los conocimientos básicos adaptándolos al entorno de la zona (Arcos *et al.*, 2011). La hidroponía es en realidad una combinación de técnicas que permiten satisfacer las necesidades de nutrientes de las plantas, en un medio libre

de suelo que preserva las condiciones de humedad y temperatura adecuadas para su desarrollo (Beltrano y Giménez, 2015).

De acuerdo con Moreno-Pérez, *et al.*, (2014), y Miranda Villagómez *et al.*, (2014) La hidroponía puede ser implementada con o sin sustrato como un medio de soporte para el sistema radicular de la planta. La razón por la que este tipo de sistemas está ganando popularidad, es debido a su mayor eficiencia, ausencia de plagas, enfermedades y malezas, y la posibilidad de intervención en el riego y la nutrición.

Por su parte (Urrestarazu, 2015) encontraron que la principal diferencia de la aeroponía y la hidroponía, es la aplicación de la SN en forma de niebla, pudiéndose utilizar esta técnica para la producción de vitroplantas, cultivos celulares y microbianos. Similarmente Ritter *et al.* (2001) compararon la producción de mini tubérculos de papa en el sistema de cultivo aeropónico y el hidropónico bajo condiciones de invernadero. Sin embargo, hubo mayor crecimiento vegetativo y mayor rendimiento de tubérculos por planta en el sistema aeropónico con un 70% de producción mayor que el hidropónico.

La Administración Nacional para la Aeronáutica y del Espacio (NASA) desde la década de 1960, ha estado trabajando con plantas en el espacio a un nivel superior mediante la colaboración de la aeroponía con cultivos agrícolas horizontales y verticales (James, 2012), debido a que con esta técnica se ahorra el consumo de agua en 98%, 60% en fertilizantes y 100% en el uso de pesticidas, de esta manera se puede maximizar la producción y rendimiento de los cultivos en el entorno espacial.

4.6 Soluciones nutritivas

Lara (1999), indica que la SN consiste en agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica. En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tienen las plantas son satisfechas con los nutrimentos que se suministran en la SN. La cantidad de nutrimentos que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales. Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una SN con características específicas.

4.6.1 Calidad del agua en la solución nutritiva

Hydro environment (2008), manifiesta que el agua es uno de los elementos más importantes en hidroponía ya que proporciona todos los minerales necesarios para el desarrollo de las plantas, pero estos deben presentar un rango normal para que no cambie la composición química de la solución y todos los nutrientes se encuentren disponibles para las plantas en todo momento. Evitar aguas duras porque contiene una alta concentración de algunos compuestos minerales principalmente Magnesio y Calcio.

4.6.2 pH en la solución nutritiva

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, de lo contrario se acumularían sales

insolubles, la planta no lo podrían aprovechar los nutrientes, o intoxicarían produciendo así una planta enferma o muerte.

4.6.3 Conductividad eléctrica en la solución nutritiva

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, se expresa en mili Siemens sobre centímetro, esto permite conocer si la solución excede o carece de la cantidad de nutrientes para cultivos hortícolas. En el sistema NFT es necesario medir la conductividad eléctrica de la solución nutritiva con regularidad y compensar la falta de nutrientes o el exceso según sea el caso, el rango de conductividad eléctrica adecuado para el crecimiento de las plantas se encuentra entre: 1.5 - 2.5 mS cm⁻¹.

4.7 Antecedentes de investigación en edad de trasplante

Según Leskovar (2001) la edad de trasplante está asociada a las condiciones ambientales y el manejo del almácigo a nivel nutricional.

Cuando se utilizan plántulas jóvenes para el trasplante, estas sufren un mínimo de estrés, mientras que las plántulas de edades más avanzadas se estresan más y muchas veces el desarrollo reproductivo inicia con un desarrollo vegetativo en desventaja, sin embargo presentan un mayor desarrollo reproductivo por lo que estas tienden a florecen de forma prematura y esto a su vez provoca que se dé una producción de frutos más rápida así como su maduración pero puede disminuir

su productividad ya que muchas veces las plantas son muy pequeñas (Schrader, 2000).

Montaño y Núñez (2003) indican que 35 y 45 días después de la emergencia se considera la edad más apropiada para mayor rendimiento en ají dulce (*Capsicum chinense Jacq*).

Los trasplantes con plántulas de edad avanzada (trasplantes tardíos) permiten incrementar la productividad anual, ya que se acorta el periodo de trasplante a cosecha, obteniéndose más ciclos por año. Este efecto del trasplante tardío está ampliamente documentado en jitomate y en pepino (Sánchez et al., 2006).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del sitio experimental

El experimento se estableció en el módulo de aeroponía de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (BUAP), ubicada en la junta auxiliar de San Juan Acateno, perteneciente al municipio de Teziutlán, Puebla (Figura 1). Ubicada a 19°52' Latitud Norte, 97°22' Longitud Oeste, y a 1617 msnm. La temperatura media anual es de 15 °C, con lluvias en verano con una precipitación media de 1609 mm (INEGI, 2014).



Figura 1. Sitio del establecimiento del experimento 2021.

5.2 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 (Figura 2).

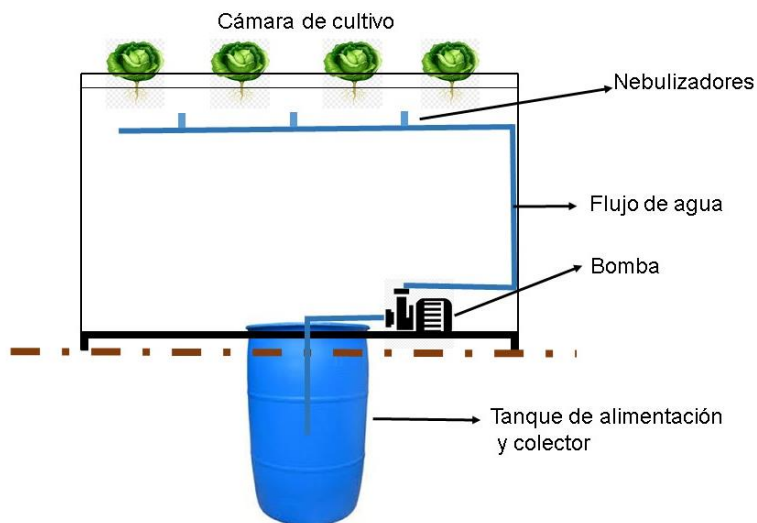


Figura 2. Módulo de aeroponía (Elaboración propia).

Para el funcionamiento del sistema aeropónico 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 de 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 marca green mist con un caudal de 30 LPH y una presión de operación de 2 a 5 bar. El apagado y encendido del sistema se controló por medio de un timer digital de 20 tiempos.

El sistema se estableció en un invernadero que al ser una técnica de agricultura protegida se evitó la aparición de plagas externas, se aprovecharon las potencialidades que

presenta el sistema desde el punto de vista de temperatura, nivel de iluminación y ventilación.

5.3 Manejo del cultivo en sistema aeropónico

5.3.1 Material vegetal

El material vegetativo que se utilizó en el experimento fueron plantas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) de tipo Lechuga romana Var. 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, suelen darse en terrenos de pH de 6 a 7.

5.3.2 Trasplante al módulo

Se colocó una planta de acuerdo a los tratamientos en cada cavidad de las placas de nieve seca (cada 20 cm), sujetándolas con un trozo de esponja para que quedarán fijas y evitar que cayeran dentro del cajón.

5.3.3 Manejo del riego

La programación del timer de 20 tiempos durante todo el transcurso del día se efectuó de acuerdo al cuadro 3.

Cuadro 3. Programación de horario de encendido y apagado del timer

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

5.3.4 Monitoreo y control de plagas y enfermedades

Se evaluó diariamente el estado sanitario del cultivo para tomar acciones de control.

5.3.5 Preparación de la solución nutritiva

La solución preparada se basó a partir de las soluciones concentradas A y B de la solución hidropónica La Molina® (Cuadro 4), 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, culantro, perejil, arúgula, y otras hortalizas de hojas.

Cuadro 4. Formula de Solución Nutritiva para cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa L.*)

Fertilizantes	Ley (%)	g/1000 litros
Solución A		
Nitrato de Potasio	13.5 %N, 46 %K ₂ O	420.0
Nitrato de Amonio	31 %N	140.0
Fosfato Monopotásico	52 %P ₂ O ₅ , 34 %K ₂ O	100.0
Solución B		
Sulfato de Magnesio	16 %MgO, 13 %S	150.0
Sulfato de Potasio	50 %K ₂ O	50.0
Quelato de Hierro (Ultraferro)	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

5.4 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con arreglo factorial de 2 x 2, factor A (dos variedades de lechuga), Factor B (dos edades al trasplante) utilizando 2 repeticiones por tratamiento; cada repetición consistió en una planta. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se obtuvo de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) versión 9.0.

5.5 Tratamientos

Tratamiento 1. Trasplante al módulo cuando presenten cuatro hojas verdaderas, variedad Escarola.

Tratamiento 2. Trasplante al módulo cuando presenten cuatro hojas verdaderas, variedad Iceberg Fernandola.

Tratamiento 3. Trasplante a módulo 10 días después de presentar cuatro hojas verdaderas, variedad Escarola.

Tratamiento 4. Trasplante a módulo 10 días después de presentar cuatro hojas verdaderas, variedad Iceberg Fernandola.

5.6 Variables de respuesta

5.6.1 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.

5.6.2 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.

5.6.3 Longitud radicular

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

5.6.4 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.

5.6.5 Biomasa

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).

5.6.6 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 gramos por metro cuadrado ($\text{g}\cdot\text{m}^2^{-1}$).

5.7 pH y CE en la solución nutritiva

Se realizaron mediciones de CE, pH, se tomaron los datos al momento de cambiar la solución nutritiva. La medición se realizó con un medidor portátil modelo HI9811-5.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 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 nutrimentos desde las raíces hasta las hojas.

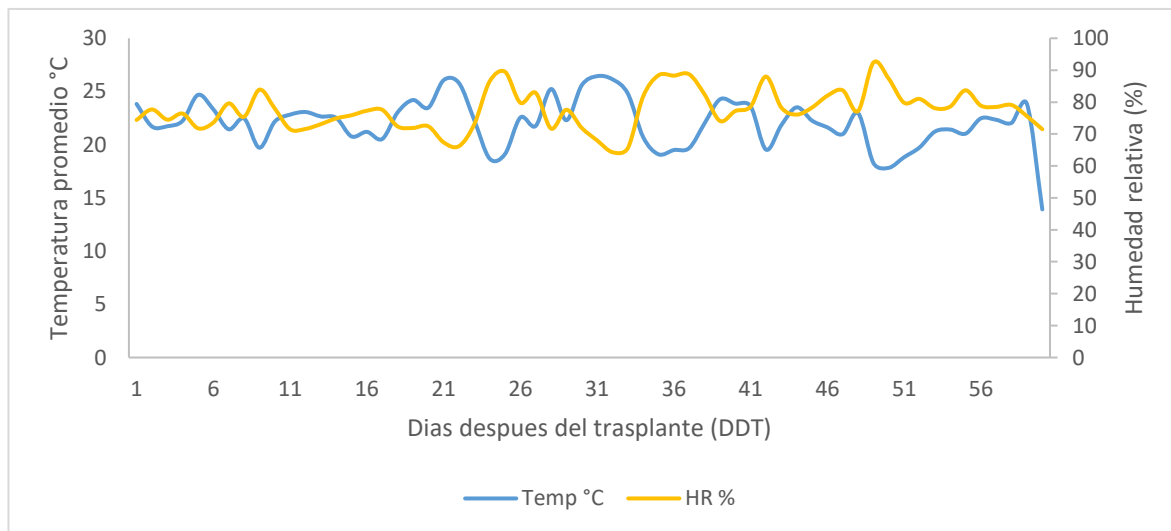


Figura 3. Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al interior del invernadero en el cultivo de lechuga, 2021.

6.2 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 presento mayor altura con 13.40 cm y 11.20 cm. (Cuadro 5), estos valores fueron menores a los reportados por Desiderio (2021), quien obtuvo valores de altura de planta 21.88 bajo este sistema de producción, además Brenes (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 5. Comparación de medias para altura de planta

Tratamiento	V	ET	Altura de planta (cm)
T1	Escarola	E1	13.40 a
T2	Iceberg	E1	9.73 ab
T3	Escarola	E2	11.20 ab
T4	Iceberg	E2	8.26 b
CV %			14.11
DMSH			2.25

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

6.3 Longitud de raíz

La longitud de raíz fue diferente en los cuatro tratamientos, (Cuadro 6), 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 6. Comparación de medias para longitud de raíz

Tratamiento	V	ET	Longitud de raíz (Cm)
T1	Escarola	E1	11.13 a
T2	Iceberg	E1	6.90 b
T3	Escarola	E2	10.93 a
T4	Iceberg	E2	8.76 ab
CV %			12.96
DMSH			3.19

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

6.4 Peso fresco

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

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 7. Comparación de medias para peso fresco

Tratamiento	V	ET	Peso fresco (g)
T1	Escarola	E1	66.03 a
T2	Iceberg	E1	36.13 a
T3	Escarola	E2	56.47 a
T4	Iceberg	E2	35.79 a
CV %			29.01
DMSH			36.87

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

6.5 Biomasa

La biomasa al igual que el peso fresco tuvo un comportamiento diferencial entre los diferentes tratamientos, ($P < 0.05$), 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 8. Comparación de medias para biomasa

Tratamiento	V	ET	Biomasa (g)
T1	Escarola	E1	57.66 a
T2	Iceberg	E1	30.96 b
T3	Escarola	E2	47.63 ab
T4	Iceberg	E2	32.23 b
CV %			19.83
DMSH			21.84

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

6.6 Rendimiento

El comportamiento del rendimiento fue diferencial entre las variedades y fechas de trasplante (Cuadro 9), donde se pudo observar el mayor rendimiento se presentó en el T1 con un promedio de 932 g/m², y en el T3 con un promedio de 789 g m², 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 9. Comparación de medias para rendimiento

Tratamiento	V	ET	Rendimiento (g m²)
T1	Escarola	E1	932.98 a
T2	Iceberg	E1	433.69 b
T3	Escarola	E2	789.00 a
T4	Iceberg	E2	429.52 b
CV %			12.85
DMSH			245.01

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

6.7 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.

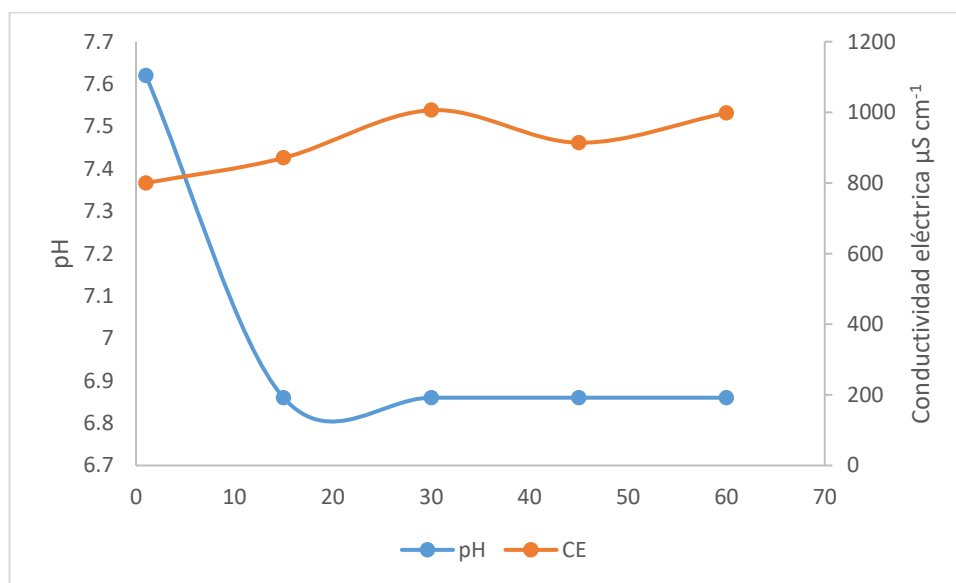


Figura 4. Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al interior del invernadero en el cultivo de lechuga, 2021.

VII. CONCLUSIONES

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

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

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

VIII. LITERATURA CITADA

- Arcos B., Benavides Rodríguez M. 2011. Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga (*Lactuca sativa L.*). Revista De Ciencias Agrícolas 28 (2):95-108.
- Beltrano J., y Gimenez D. O. (2015). Introducción al cultivo hidropónico. *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 1, 978-950
- Birgi J. A. 2015. Producción hidropónica de hortalizas de hoja, Santa Cruz: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Bocanegra O. 2014. Influencia de tres dosis crecientes de biofertilizantes biol en la producción de lechuga (*Lactuca savita L.*) Var Great Lakes 659 en condiciones del Valle de Santa Catalina. Trujilla: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Brenes - Peralta L. P., y Jiménez - Morales M. F. 2010. Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique).
- Campos J. 2012. Evaluación del efecto de uso de fertilizantes foliares con acción bioestimulantes, sobre la producción y calidad de las lechugas. Santiago: Universidad de Chile.
- Carrasco G., e Izquierdo J. 1996. Manual técnico. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (" NFT"). Universidad de Talca.
- Carreón B. V. 2015. Evaluación de dos niveles de cloruro de potasio (KCI) óptimos para evitar la fitotoxicidad del cloruro en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en sistema hidropónico NFT, El Alto-La Paz (Doctoral dissertation).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2018. Perspectiva de la agricultura y del desarrollo rural en las

Américas: Una mirada hacia América latina y el Caribe. San José, Costa Rica. doi:ISBN: 978-92-9248-731-7

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].

Díaz L. A. 2017. Producción de Cultivo Hidropónico Lechuga (*Lactuca sativa L.*) para la Promoción de la Autogestión en la Escuela Básica Bolivariana "Los Naranjos". *Revista Scientific* 2(4): 204-222.

Díaz Rivera L. A. 2003. Automatización de cultivos hidropónicos (Bachelor's thesis, Uniandes).

Durán F. 2000. *Diseño y caracterización de sistema aeropónico automatizado para el cultivo de Stevia rebaudiana* (Master's thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC).

FAO. 2011. Producción de hortalizas: Ayuda humanitaria de asistencia y recuperación para comunidades afectadas por sequía en el Chaco. Bolivia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

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.

Gebol Y. 2012. Dosis de bioestimulante tetrahormonal en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Great Lakes 659 bajo condiciones agroecológicas del distrito Lamas. Tarapoto: Universidad Nacional San Martín de Tarapoto.

- 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)
- James J. 2012. La aeroponía es todavía un negocio en crecimiento. Cultura alimentos frescos. IP.
- Jiménez J. 2015. Invernadero automatizado para producción de semilla de papa bajo tres sistemas: Aeroponía, hidroponía y plantas madres-esquejes. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- La Molina S. H. 2014. Solución hidropónica La Molina. Perú: Centro de Investigación de hidroponía y nutrición mineral.
- Lara H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. TERRA latinoamericana. 17 (3): 221-229. Julio-septiembre 2000.
- 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, "Test of universal scaling of ac conductivity in ionic conductors". Phys. Rev. B, 2001, 64, 184304
- Leskovar D. 2001. Producción y eco fisiología del trasplante hortícola. Texas A y University. 24p.

- 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. Producción de mudas de alta calidad en horticultura. Piracicaba. Degaspari. 2010. 440p
- Miranda - Villagómez É., Carrillo - Salazar J. A., Rodríguez - Mendoza M.N., Colinas - León M. T., Livera - Muñoz M., y Gaytán - Acuña E. A. 2014. Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 31-39. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802014000100006&script=sci_arttext (Consultado: 25/10/21).
- Montero - Chávez S. M., Singh B. K., y Taylor - Rieger R. T. 2006. Evaluación de seis estructuras de producción hidropónica diversificada en el trópico húmedo de Costa Rica. *Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad.*, 2(1), 27-37.-29.
- Moreno - Pérez E. D. C., Pineda - Pineda J., y Reyes - González C. E., Sánchez del Castillo F., González - Molina L. 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Revista fitotecnia mexicana* 37(3): 261-269.
- Mota J. H., Yuri J. E., Freitas S. A. C. et al., Avaliação de cultivares de alface americana durante o verão em Santana da

Vargem, MG. Horticultura Brasileira, Brasília, v.21, n.2, p.234-237, 2003.

Muñoz C. A. 2018. Identificación morfológica de los hongos causantes de la pudrición radicular en lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el Valle de Tumbaco. Quito: Universidad Central del Ecuador.

National Aeronautics and Space Administration. (NASA). 2006. Progressive Plant Growing is a Blooming Business. Estados Unidos.

Núñez - Escobar R., Colinas - León M. T., Tijerina - Chávez L., y Tirado - Torres J. L. 2003. Zeolita como sustrato en el cultivo hidropónico de gerbera. *Terra Latinoamericana* 29(4): 387-394.

Otazú V. 2010. Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía. Centro internacional de la papa. 41p.

Oviedo E. E. 2013. Evaluación bioagronómica de ocho cultivares de lechuga icerbeg (*Lactuca sativa l.*) con abonos orgánicos y químicos en el canton Chambo provincia de Chimborazo. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Pérez R. 2012. Aeroponía. Comisión de Estudios de Postgrado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Caracas, Venezuela. 37p.

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 α -linolénico. *Fitoquímica* 98: 41-53.

Ramos M. 2010. Evaluación de Tres Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa L.*), en el Sistema Hidropónico NFT bajo Invernadero en la Granja Santa Inés. Universidad Técnica de Machala.

- Rendón A. Y. 2013. Sistemas aeropónicos en la agricultura protegida. Saltillo, Coahuila: Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).
- Río A. H., Obregon C., Bamberg J. B., Petrick J., Bula R., y De la Calle F. 2017. Validación del protocolo de Producción de Semilla de Papa usando Ambientes Controlados (Sistema CETS), en especies cultivadas de papa (*Solanum tuberosum L.*). Revista Latinoamericana de la Papa 21(2): 89-96.
- Ritter E., Angulo B., Riga P., Herrán C., Relloso J., San José M. 2001. Comparación de sistemas de cultivo hidropónico y aeropónico para la producción de minitubérculos de papa. 44:(2)127-135.
- Rojas T. M. 2019. Evaluación del desarrollo de la lechuga "Lactuca sativa" en un sistema hidropónico recirculante aplicando dos soluciones nutritivas en base a microorganismos Benéficos (MOBS) en el cantón Paute Azuay- Ecuador. Cuenca: Tesis de grado: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18107/1/UPSC008604.pdf> (Consultado: 11/10/2021)
- Sánchez E., Quintal Ortiz W. C., Pérez - Gutiérrez A., Latournerie Moreno L., May - Lara C., y Martínez Chacón A. J. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*). Revista fitotecnia Mexicana.35(2): 155-160.
- Schrader W. 2000. El uso de almacigo en la producción de hortalizas. California, Estados Unidos. Universidad de California.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2016. Aumenta PIB agroalimentario 3.3 al primer semestre de 2016. Comunicado de prensa publicado 30 de agosto de 2016. Recuperado de:

www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/agosto/Documents/JAC0_368-30.PDF. (Consultado: 10/10/2021)

- 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.
- Sinergia. 2017. Producción respetuosa en viticultura: Impactos ambientales en la agricultura.
- Tarigo A., Repetto C., Acosta D. 2004. Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) a campo. Ingeniería Agronómica. Montevideo Uruguay. Universidad de la República. 169 p.
- Urrestarazu Gavilán M. 2015. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. Ediciones Paraninfo, SA.
- 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.
- Vázquez R. J. A. 2012. Diseño de un sistema de riego aeropónico automatizado. Tesis programa de maestría y doctorado en ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 72p.
- Velázquez Alcaraz T. D. J., López Avendaño J. E., Díaz Valdés T., Watts Thorp C., Rodríguez J. C., Castellanos Villegas A. E., y Partida Ruvalcaba L. 2014. Evapotranspiración y coeficientes

de cultivo de chile bell en el Valle de Culiacán, México. *Terra Latinoamericana*, 33(3), 209-219.

Villalobos C. R. 2015. Análisis de inversión para elaborar un sistema de producción de hortalizas basado en la aeroponía. San José: W.K. Kellogg.

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. 1970. Evaluación agronómica de doce selecciones de ají (*Capsicum chinense* Jacq.). Trabajo de Grado. Escuela de Ingeniería Agronómica. Universidad de Oriente. Maturín. Venezuela. 50 p.