Sistemas hidropónicos en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.): Estudio Documental

Hydroponic systems in the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.): Documentary study

Carrasco Torres Bárbara Soraya[1]
Agp2017019@uea.edu.ec

Pallo Chicaiza Gissela Lisseth[1]
Agp2017191@uea.edu.ec

López Cosme Elisa de la bien Aparecida, M.Sc[2]
elopez@uea.edu.ec

[1]Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Resumen

Los sistemas hidropónicos se utilizan como una alternativa para la producción de alimentos, que permite la optimización de recursos, tiempo y espacio. La lechuga es considerada un importante cultivo hidropónico a nivel mundial, y a nivel nacional se promociona su implementación, por lo que resulta importante contar con un conocimiento detallado de esta técnica que permita su réplica. Además de su estructura y componentes, la solución nutritiva utilizada constituye un elemento fundamental para el buen funcionamiento de los sistemas hidropónicos. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar los sistemas hidropónicos más utilizados en la producción de lechuga, descritos en la literatura científica. Con este fin, se llevó a cabo una investigación documental de tipo descriptivo, en la que, en primer lugar, se identificaron y describieron los sistemas más utilizados en la producción de lechuga, y adicionalmente, se describieron los experimentos más actualizados a nivel latinoamericano en general y ecuatoriano, en particular, haciendo hincapié en las soluciones nutritivas utilizadas. Resultando que el sistema NFT es el sistema más utilizado en ambos ámbitos obteniéndose beneficios en el cultivo de lechuga con todas las soluciones nutritivas utilizadas y que además se encuentra en amplio desarrollo en Ecuador.

Palabras Clave: estructura, cultivo, soluciones, tipos, invernadero.

Abstract

Hydroponic systems are used as an alternative for food production, which allows the optimization of resources, time and space. Lettuce is considered an important hydroponic crop worldwide, and its implementation is promoted nationally, so it is important to have a detailed knowledge of this technique that allows its replication. In addition to its structure and components, the nutrient solution used is a fundamental element for the proper functioning of hydroponic systems. In this context, the objective of this work was to characterize the most used hydroponic systems in lettuce production, described in the scientific literature. To this end, a descriptive documentary research was carried out, in which, first, the most used systems in lettuce production were identified and described, and additionally, the most up-to-date experiments at the Latin American level in general and Ecuadorian, in particular, emphasizing the nutritional solutions used. As a result, the NFT system is the most used system in both areas, obtaining benefits in the cultivation of lettuce with all the nutritive solutions used and that it is also in wide development in Ecuador.

Keywords*:* structure, crop, solutions, types, greenhouse.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XX hasta la actualidad, la agricultura ha ido sufriendo cambios debido al incremento de la población, cuya consecuencia inmediata es el aumento del consumo de alimentos. Para sustentar este incremento en la demanda global, se hace necesario el uso de tecnologías que permitan la producción sin comprometer los recursos a las futuras generaciones, sin afectar la calidad y cantidad. (Andrade, 2016).

A esta situación, se añaden las consecuencias del cambio climático, que se han visto palpables en los últimos años, afectando a la degradación del suelo, disminución de hábitats, contaminación química por empleo excesivo de plaguicidas, fertilizantes y energía fósil, que ha traído consigo la pérdida de biodiversidad y agotamiento de recursos naturales (Velasco, Aguirre, & Ortuño, 2016).

En este contexto, la búsqueda de alternativas de producción sostenibles que ayuden a

optimizar el uso de los recursos naturales para la producción de alimentos, se hace imprescindible. Entre estas alternativas, se encuentra la hidroponía, que se presenta como una opción para la producción de vegetales de pronto crecimiento y ricos en elementos nutritivos, como las hortalizas, y posibilita la optimización de recursos, tiempo y espacio (Urrestarazu, 2015). Plantear las ventajas (Ramírez, 2017).

Entre las hortalizas, destaca la implementación de los sistemas hidropónicos sobre el cultivo de lechuga dando un rendimiento alto en menor espacio y menos tiempo, (Urrestarazu, 2015).

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos que se han implementado en la producción de hortalizas y de lechuga en particular. Estos sistemas se diferencian básicamente por el manejo y la implementación de la estructura y su diseño. Adicionalmente, el tipo de sustancia nutritiva constituye un factor esencial para el éxito de cada uno de ellos, existiendo una serie de elementos indispensables y un conjunto de elementos, que, no siendo indispensables, resultan útiles para la producción. Los trabajos de investigación relacionados han dado como resultados propuestas de soluciones nutritivas, las cuales varían en las proporciones de los elementos (Villegas, 2021).

Con lo antes expuesto, en el presente estudio se presenta una caracterización de los sistemas hidropónicos más utilizados en la producción de lechuga mencionados con la utilización de soluciones nutritivas en la literatura, poniéndolo a disposición de pequeños y medianos agricultores de Ecuador, de manera que sea posible optar por la mejor alternativa para cada circunstancia, propósito para el cual, en primer lugar, se describen los sistemas hidropónicos, y en segundo lugar, se presenta la descripción de las experiencias existentes sobre la implementación de este sistema en el cultivo de lechuga, a nivel latinoamericano y en Ecuador, en particular, haciendo hincapié en las soluciones nutritivas utilizadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

Este trabajo se enmarca en la línea de investigación de la Universidad Estatal Amazónica denominada Producción de alimentos y sistemas agropecuarios, centrada en el desarrollo de tecnologías y sistemas agropecuarios que optimicen el uso de espacio, prevengan la erosión del suelo, demanden mínimas cantidades de insumos externos a la finca y sean amigables

con el medio ambiente.

2.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo se realizó una investigación documental, que es teórica con enfoque cualitativo, que tuvo un alcance descriptivo.

2.2. Método de investigación

El método de investigación utilizado fue de tipo inductivo/deductivo. Está conformado por la repetición de hechos de la realidad encontrando rasgos comunes, para llegar a conclusiones de aspectos que lo caracterizan.

2.3. Técnicas de recolección de información

2.3.1. Descriptores para la búsqueda de información

La búsqueda de información se realizó de acuerdo a los objetivos planteados, utilizando los descriptores que se describen a continuación para cada uno de ellos.

Descripción de los sistemas hidropónicos y sus resultados en el cultivo de lechuga, en Latinoamérica

- Hidroponía, lechuga, tipos de sistemas hidropónicos, soluciones nutritivas, hidroponía en el cultivo de lechuga, sistemas hidropónicos, variedades, sistemas, tipos.

Descripción de las experiencias de cultivos de lechuga hidropónicos en Ecuador

- Hidroponía en NFT, hidroponía en DFT, hidroponía en *Lactuca sativa*, Cultivo de lechuga, lechuga, soluciones nutritivas en *Lactuca sativa*.

2.3.2. Criterios de inclusión

Para el trabajo de investigación documental se utilizaron los siguientes criterios de inclusión:

a) Idiomas: español e inglés

b) Año de publicación: Se tomaron en cuenta documentos de los 10 últimos años, para que la información requerida sea actualizada.

2.3.3. Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- Información encontrada en documentos que no tengan concordancia con el tema planteado y los objetivos.
- Estudios sin rigurosidad científica e información que no se encuentren en fuentes oficiales, confiables o verídicas.
- Publicaciones con una antigüedad mayor a los 10 últimos años, que no contengan información relevante

2.3.4. Manejo de información

Se utilizaron diversas bases de datos como: Google Académico (Google, LLC-Alphabet Inc; USA), Scielo (FAPEST and BIREME; Brasil), Repositorios Digitales y libros, en donde se obtuvo información sobre los diferentes sistemas hidropónicos en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

La búsqueda inicial incluyó información primaria (artículos de investigación, revistas científicas, libros) y secundaria (informes y repositorios de tesis).

Posteriormente, se realizó una lectura crítica y análisis de los documentos bibliográficos seleccionados, y posteriormente se identificaron y agruparon por separado dichos documentos, para extraer la información útil y finalmente plasmarla de manera ordenada en el documento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción de los sistemas hidropónicos más utilizados en lechuga

En la literatura científica revisada, se ha encontrado que los sistemas más utilizados para el cultivo de lechuga son el sistema Nutrient Flow Techic (NFT) - Técnica de película de nutriente y el sistema Deep Floating Technique (DFT) - Técnica Flotante, hecho que es ratificado por Ramírez (2017), quien destaca que en Perú los sistemas hidropónicos más aplicados son los antes mencionados. Existen también estudios en los que se ha aplicado el sistema por goteo (Molina, 2015), pero de manera mucho más minoritaria.

3.1.1. Sistema (NFT) Nutrient Flow Techic – Técnica de película de nutriente

Es un sistema tecnificado, que necesita de elementos de alto valor para su implementación, se caracteriza por la circulación constante del agua que posibilita la oxigenación de la misma, el sistema ahorra el consumo de agua y además se la puede reutilizar (Quispe, 2015).

En líneas generales, el sistema NFT consiste en tuberías de PVC rectangulares o circulares llamados canales de cultivo, en cuyo interior circula la solución nutritiva permitiendo un balance adecuado entre el agua y el oxígeno. Cabe recalcar que la principal ventaja es que se puede aumentar la altura de los canales de tuberías incrementado el número de plantas por metro cuadrado (Ricardo, 2020). Los diseños de estructura que se han trabajado y estudiado son: piramidal y vertical pero también existe el de forma horizontal que generalmente lo practican con más frecuencia (Ramírez, 2017).

Brenes y Jiménez (2015) expresan que en su estudio los materiales a utilizar en invernadero fueron:

- Un techo que se realizó con material plástico transparente y sus paredes que deberían ser anti-áfidos, al ingreso del sistema adaptaron una cámara con pediluvio y un aspersor de desinfección.
- Utilizaron sarán que cubría toda la parte interna del invernadero, para poder así tener control de la temperatura.
- Además, contiene tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 6 m de largo con tapas en los extremos de cada tubo.
- Para adaptar las boquillas se hacen hoyos en los extremos de cada tubo, que es por donde entra y sale la solución nutritiva recirculante, proveniente de un tanque de almacenamiento de 1000 L.
- Mangueras que son conectadas en las tapas al extremo de cada tubo de PVC, que colecta la solución nutritiva y lleva de vuelta al tanque de almacenamiento.
- Se utiliza una estructura metálica aproximadamente de 60 cm de alto que sostiene a los tubos, con una distancia de 20 cm cada una, en la que se le pone a la planta de lechuga en canastillas donde se desarrollara sus raíces.
- Es necesario un temporizador para la programación de los tiempos de circulación y el apagado de la bomba.

- Y adicional cuenta con instrumentos de medición portátil que permiten medir el pH, temperatura y la conductividad eléctrica.

3.1.2. Sistema (DFT) Deep Floating Technique – Técnica Flotante

Este sistema es caracterizado porque la planta está sumergida en una solución, lo ventajoso de esto es que el consumo de agua es mínimo y de igual manera los fertilizantes a ser utilizados, aunque, el manejo de la solución debe ser preciso y controlado. En este sistema, la oxigenación se debe realizar de forma manual debido a que no cuenta con un mecanismo de recirculación del agua, a diferencia de lo que ocurre con el sistema NFT (Ubico, 2018).

El sistema de raíz flotante requiere varios cajones de madera que debe estar recubierta por una lámina plástica, el mismo con dimensiones de 1.20 x 1.20 x 1.20 m, teniendo como almacenamiento una lámina de agua de 0.10m, que sobre la lámina estaba ubicada una espuma flotante de 1.10 x 1.10m, con orificios de 0.20m de distancia, en los mismos están puestos vasos de plásticos y sobre estos van las plantas de lechuga (Sánchez, 2018). Mayormente al aplicar esta forma de modelo lo único que cambia son las medidas de acuerdo a la necesidad requerida por el productor.

3.1.3. Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas son parte fundamental del funcionamiento de los sistemas hidropónicos. Estas son utilizadas para la adaptación y crecimiento de la lechuga, y contienen elementos esenciales disueltos en el agua en forma iónica posibilitando el desarrollo para la etapa final del cultivo en los diferentes sistemas aplicados (Cajo, 2016; Cevallos, 2020).

Existen diversas soluciones nutritivas que, en su mayoría, varían en cuanto a las proporciones utilizadas de los componentes base, pero todas mantienen una composición relacionada con los tipos de nutrientes requeridos por la planta, tal y como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de los elementos minerales en relación a los requerimientos de la planta.

Tipo	Función

Elementos indispensables	Son aquellos elementos de vital importancia para la nutrición y desarrollo de la planta (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio)
Elementos útiles	Son aquellos elementos los cuales afectan directa o indirectamente, y además presentan un beneficio, pero sin ser indispensables (Azufre, Cobre, Boro y Hierro)
Elementos prescindibles	Son aquellos elementos que son absorbidos por la planta, pero que no realizan funciones fisiológicas o de beneficio al crecimiento o desarrollo (Magnesio, Zinc, Molibdeno y Cloro)

Nota: Chávez et al. (2006)

De manera general la formulación de estas soluciones que se emplean en la hidroponía deriva de las propuestas por Hoagland y Arnon (Lizano,2020), que se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Solución de Hoagland y Arnon

Huagland y Arnon (1938)			
Mmol L-1		**mg/L**	
N	15,00	**Fe**	2,50
P	1,00	**Mn**	0,50
K	6,00	**Cu**	0,02
Ca	4,00	**Zn**	0,05
Mg	2,00	**B**	0,50
S	2,00	**Mo**	0,01

Nota: Beltrano & Giménez (2015).

3.2. Descripción de las experiencias de cultivos de lechuga hidropónicos en América Latina y Ecuador

3.2.1. Sistema (NFT) Nutrient Flow Techic – Técnica de película de nutriente

Los estudios más recientes realizados utilizando este sistema a nivel latinoamericano se han encontrado en Bolivia, Perú, Colombia, México y Ecuador, y se detallan en la Tabla 3,

a excepción de los correspondientes a Ecuador, que se tratan separadamente en la Tabla 4.

Como se puede observar en la Tabla 3, este tipo de sistema se implementó utilizando diferentes variedades de lechuga y con soluciones nutritivas cuyos componentes varían de un experimento a otro, obteniéndose en todos los casos resultados positivos en cuanto al rendimiento del cultivo.

Un análisis similar se puede realizar a partir de los experimentos descritos en Ecuador desde el 2015 hasta la actualidad (Tabla 4), en donde se comprueba la eficiencia de este sistema hidropónico.

Se observa, además, que la mayor parte de los cultivos hidropónicos establecidos en el país se ubican en zonas de la sierra, con humedad relativa en un rango desde el 30% (sierra sur) hasta el 75% (sierra norte) y temperatura media de 20%, y la costa, con unos rangos de humedad relativa entre el 58 - 90% y temperatura media entre los 23°C y 26°C.

Los experimentos llevados a cabo en Ecuador presentan un elemento diferenciador, y es que en algunos casos se compararon diferentes soluciones nutritivas. Resultado de esta comparación destacaron las soluciones Hoagland/Arnon (Ricardo, 2020) y La Molina (Rogel, 2018) en ciertos experimentos.

Tabla 3.

Estudios realizados en el sistema NFT en América Latina

Sistema NFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Perú	Crespa	Solución A (Fosfato monopotasico, KNO_3, Sulfato de magnesio) Solución B (Fetrilón combi 1 [1], Ácido bórico) Solución C $Ca(NO_3)_2$.	La aplicación de estas soluciones nutritivas A, B y C permitió un buen rendimiento del cultivo. En términos de productividad se obtuvieron 56 lechugas en $2m^2$, que es el doble de la productividad de un cultivo tradicional, con (No existieron diferencias significativas) [a]
Colombia	Vera	Huagland	La diferencia significativa que se dio en este estudio fue un peso máximo de 250g siendo efectivos para la producción urbana de lechuga. [b]
Bolivia	Rubinela y Crocantela	Cloruro de Potasio en dosis de 25 ppm y 120 ppm para cada variedad.	La variedad que obtuvo mayor peso fue Crocantela con 3.93 kg m^{-2} a diferencia de la variedad Rubinela con un promedio de 2.84 kg m^{-2}, con la aplicación del potasio que permitió la obtención de un buen rendimiento del cultivo. [c]
Bolivia	Rubinela, Crocantela	S1= (80 % NO y 20% NH4) S2= (90 % NO3 y 10% NH4)	La aplicación del T1 (80% NO_3 y 20% NH_4^+) permitió la obtención de un buen rendimiento en la variedad Crocantela que registro 5,0 kg/m^2 y la variedad Romanela 4,2 Kg/m^2. En cuanto al peso la variedad Crocantela registró el mayor promedio igual a 283,81 g y 254 g, en la variedad Romanela obtuvo 239,17 g y 202,89 g. [d]

Sistema NFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Chachapoyas-Amazonas	Bohemia, Luana, Cuatro, Estaciones, Roxy, Tonya, Malice, Maravilla de Inviern, Curly Red, Tropicana, Dueth, Curly Green	Soluciones madre IA (Macronutrientes) Solución madre IB (Micronutientes).	Se encontró diferencias significativas en la solución nutritiva madre IA y IB, en la que la variedad Curly Green fue de mejor rendimiento con peso fresco de 203,36 g y de 42 hojas por planta. Por otro lado, la variedad Bohemia obtuvo un peso de 115,45 g y obtuvo mayor porcentaje de materia seca (26%), siendo las más representativas en cuanto a las variables estudiadas. [e]
La Paz - Bolivia	Whitte Boston	Solución A: Nitrato de potasio, nitrato de calcio. Solución B: sulfato de magnesio, nitrato de amonio, quelato de hierro.	Se obtuvo un buen rendimiento con la aplicación de la solución A en cuanto a las variables peso de materia fresca con 214.38 g y peso de materia seca de 7.32g. [f]
México	Lechuga var. gread lakes	Solución Steiner Micronutrientes (Ultrasol micromix [1]) 2.1 gr.	La aplicación de las soluciones Steiner permitió la obtención de un buen rendimiento del cultivo. (No existe diferencias significativas.) [g]

Nota: [a] (Huanaco & Rosas, 2020). [b] (Pachón, 2020). [c] (Ayala, Chui & Fernández, 2019). [d] (Carita, 2019). [e] Leiva et al., (2018). [f] (Rodríguez, 2018). [g] (Cruz, 2015). [1] producto comercial.

Tabla 4.

Estudios realizados en el sistema NFT en Ecuador

Sistema NFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Guayaquil	Crespa y Romana	Dosis nutritiva de 500cc, 1000cc, 1500cc.	La utilización de la dosis de 500cc en la variedad crespa dio buenos resultados agronómicos obtuvo la mayor altura con 24,00 cm, largo de raíz con 18,00 cm; largo de hoja con 21,00 cm y peso de planta con 199,20 g. [a]
Ecuador-La Maná	Starfighter, Marrón, Patagonia	S1 (N:149.98, P:35, K:209.96, Ca: 149.98, Fe: 1, Mg: 45, S:7, Mn:0.5, B: 0.5, Cu: 0.1, Zn: 0.15, Mb: 0.05), S2 (N:89.99, P:40.50, K:89.99, Ca: 93.99, Fe: 2.50, Mg: 29.40, S:8, Mn:1.60, B: 0.90, Cu: 0.06, Zn: 0.30, Mb:0.06)	La variedad que mejores respuestas dio fue Starfighter con la aplicación de la S2 en cuanto al número de hojas con 30.67 hojas/planta, longitud de la hoja con 19.75 cm, ancho de hoja 14.07 cm, longitud de la raíz de 20.45 cm, y con peso de 24090 kg/ha. [b]
Santa Elena	Crespa	Solución Hoagland y Arnon	Con la aplicación de las dos soluciones se consiguió alcanzar los requerimientos comerciales necesarios para una comercialización rentable, que obtuvieron pesos a cosecha entre 115,8 y 150,1 g/planta^{-1} con un promedio de 139,0 g. [c]

Sistema NFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Quevedo - Los Ríos	Dancing, romana, cepa, crespa, Green Salan Brown, Lollo Rossa	T1 = Concentración baja (Estándar) (Nitrato de potasio 275 g, nitrato de calcio 520 g, fosfato mono amónico 85 g, sulfato de magnesio 123g, ácido bórico 1,55 g, sulfato de manganeso 0,62 g, sulfato de zinc 0,30 g). T2 = Concentración media (50% +) (Nitrato de potasio 412 g, nitrato de calcio 780 g, fosfato mono amónico 127,5 g, sulfato de magnesio 184,5 g, ácido bórico 2,33 g, sulfato de manganeso 0,93 g, sulfato de zinc 0,45 g). T3 = Concentración alta (100% +) (Nitrato de potasio 618,5 g, nitrato de calcio 1170 g, fosfato mono amónico 191,5 g, sulfato de magnesio 234,5 g, ácido bórico 3,49 g, sulfato de manganeso 1,39 g, sulfato de zinc 0,67 g).	La concentración nutritiva que estuvo asociada a la producción máxima en cuanto al rendimiento por hectárea fue el T1 (Concentración estándar), con las variables como crecimiento radicular de 1.15 cm, longitud radicular de 31.45 cm, número de hojas 6.66 cm, longitud de hojas 13.85 cm, peso de la raíz fresca de 6.98 g, peso de la raíz seca con 1.63 g y el peso de la planta con 14.10 g y con un rendimiento 3050 kg/ha. [d]
Machala	Crespa	Solución nutritiva A (N:107.4, NO3:95.8, NH3:11.8, P:41.5, K:98,Ca:102) Solución nutritiva B (Fe:2.2, Mg: 20.4,S:27.6, Mn:0.22, B:0.22,Cu:0.024, Zn:0.104)	La aplicación de las soluciones A y B permitieron la obtención de una buena rentabilidad del cultivo. (No existe diferencias significativas.) [e]

Sistema NFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Carapungo	Romana, Green salad bowl, Red salad bowl	S1: Biol S2: Té de estiércol S3: Té de lombri compost S4: Solución La Molina	Los mejores resultados se obtuvieron con la Solución La Molina, en la variedad Romana con las variables como número de hojas 18.2 hoja/planta, longitud de la hoja 22.50 cm, altura de planta 26.12 cm, con un rendimiento de 2.16 kg/m^2. [f]
Riobamba	Crispa	Solución (N:36, P:12, K:54.4, Ca:70.2, Mg 4.62, S: 6, Cu:0.18, Fe:0.24, Mn:0.18, Zn:0.18, B:0.18)	La aplicación de esta solución permitió la obtención de una buena rentabilidad del cultivo, con la variable medida fue la longitud de raíz a los 45 días con 44 cm, con un rendimiento de 13769.43 kg/ha. [g]
Ecuador-Cevallos	Salad Bowl, Lollo Rossa Crespa	• Solución 1(N:144 , P: 60, K: 120, Ca: 60, Mg: 24, S: 7.2, Fe: 6 ,Cu: 0.02, Zn:0.48, Mn:0,6, Mo:0.006, B:0.50, Co: 0,6 ppm) • Solución 2 (N: 120, P: 50, K: 100, Ca: 50, Mg: 20, S: 6, Fe: 5, Cu: 0.02, Zn: 0.40, Mn: 0.50, Mo: 0.005, B: 0.40, Co: 0.50ppm) • Solución 3 (N:96, P: 40, K: 80, Ca: 40, Mg: 16, S:4.8 , Fe:4 ,Cu: 0.02, Zn:0.32, Mn:0.4 , Mo:0.004, B:0.30, Co: 0,40ppm)	La variedad que mejor resultado obtuvo fue la Salad Bowl con la solución 2, en las variables como número de hojas 11.215, longitud de la hoja 9.16 cm, altura de la planta con 7.48 cm, con un peso de 154.441 g. [h]

Sistema NFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Guayas	Salad Bowl verde Salad Bowl roja Salad	Dosis de fitohormonas y quelatos inorgánicos y orgánicos	En cuento a los resultados la mejor fue la variedad Salad con aplicación de dosis orgánicas, teniendo en cuenta las variables medidas como: número de hojas de 35.07 cm, altura de la planta con 28.87 cm, ancho de la hoja de 9.47 cm, longitud de la hoja 16.13 cm, peso de la raíz de 71 g, peso de la planta 137 g y el rendimiento de 109 g. [i]
Milagro	Romana	T1 = 500 cc de biol T2 = 224 cc de solución química T3 = 1000 cc de biol T4 = 1500 cc de biol	Los mejores resultados se obtuvieron a partir de la utilización de biol con mayor concentración de K en T1. (No existe diferencias significativas.) [j]

Nota: [a] Rodríguez, (2021). [b] Cevallos, (2020). [c] Pertierra & Quispe, (2020). [d] Choez, (2019). [e] Castillo, (2018). [f] Rogel, (2018). [g] Lema, (2017). [h] Cajo, (2016). [i] Delgado, (2016). [j] Cando & Malca, (2015).

3.2.2. Sistema (DFT) Deep Floating Technique – Técnica Flotante

En los estudios más recientes realizados en países como Perú (Maita, 2018; Mendoza, 2015; Pérez, 2018) y Bolivia (Rodríguez, 2018) se obtuvieron buenos rendimientos en este tipo de sistema hidropónico, como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5.

Estudios realizados en el sistema DFT en América Latina

Sistema DFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Perú	Lactuca sativa var. Waldman	Solución "La Molina" Solución de la FAO concentradas A y B. Solución nutritiva de la FAO modificada.	Los resultados obtenidos fueron con la solución FAO modificada, con las variables como: área foliar de 17.55 cm^2/g, peso fresco de 119.20 g, rendimiento de 11.89 g/planta. [a]
Bolivia	Whitte Boston	Solución A: Nitrato de potasio, nitrato de calcio Solución B: Sulfato de magnesio, nitrato de amonio, quelato de hierro	Se obtuvo resultados significativos con la solución A, con las variables peso de materia fresca con 230.41g y peso de materia seca con 7.32g. [b]
Arequipa - Perú	Wadmann´s green	La Molina	Se obtuvo buenos resultados con las variables como: peso fresco de 28.72 g, peso foliar de 31 g, peso radicular de 4.45 g, longitud radicular 4.08 cm, longitud foliar 3.63 cm, número de hojas 2.34. [c]
Santiago de Chuco - Perú	White Boston	La Molina	Los resultados presentaron las siguientes variables: números de hojas 8, peso fresco 7347.73 g, altura de la planta 29.17 cm y diámetro de la planta 30.35 cm. [d]

Nota: [a] (Maita, 2018). [b] (Rodríguez, 2018). [c] (Pérez, 2018). [d] (Mendoza, 2015).

En la Tabla 6, se describen las experiencias más recientes de la implementación del sistema DFT en Ecuador.

Se puede observar la utilización de bio estimulantes en dos ensayos (González, 2020; Ricardo, 2020) y en ninguno de ellos se pudo observar que la adición de estas sustancias a la solución nutritiva proporcionase ningún beneficio añadido.

Resulta también interesante lo relatado por Sánchez (2018), quien planteó la comparación del efecto de diferentes dosis de nitrógeno, encontrando que la dosis más alta proporcionaba mejores resultados en el cultivo bajo sistema DFT.

Tabla 6

Estudios realizados en el sistema DFT en Ecuador

Sistema DFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Santa Elena - La Libertad	Variedad Vizir	T1: Hoagland (testigo). T2: Hoagland + Extr. de alga marina "L-Amino" (S*). T3: Hoagland + Oxido de silicio "Grandsil" (S*). T4: Hoagland + Aminoácidos "Naturamín-WSP" (F*). T5: Hoagland + Extr. de alga marina "L-Amino" (S*) + Aminoácidos "NaturamínWSP" (F*). T6: Hoagland + Oxido de silicio "Grandsil" (S*) + Aminoácidos "Naturamín-WSP" (F*). S* = Aplicación en la solución. F* = Aplicación Foliar	Con las variables: altura de la planta 14.75 cm, peso fresco de follaje 122.09 g, peso fresco de raíz con 12.35 g, con un rendimiento de 4302.8 g, se encontró que el mejor rendimiento lo obtuvo el Tratamiento 1: Hoagland (testigo). [a]
Santa Elena - La Libertad	var. acephala cv. "Crespa	T1: Hoagland/Arnon T2: Solución Sonneveld/Voogt T3: Solución Steiner	La solución Hoagland/Arnon fue la que mejores resultados proporcionó, tomando en cuenta las variables largo de la hoja con 22.2 cm, 6.77% y 4.88% de materia seca foliar y radicular y con un peso de 131.8 g. [b]
Machala	Great Lakes	Dosis de nitrógeno: 0%, 100%, 150%, 200%. Fertilizantes utilizados: nitrato de amonio, nitrato de potasio, fosfato mono potásico, muriato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de magnesio.	El que se presentó mejor resultado es el que se aplicó con una dosis del 200% de Nitrógeno. (No existe diferencias significativas.) [c]

Sistema DFT			
Lugar	Variedad	Solución nutritiva	Resultados
Daule	Salina 88	Nitrato de potasio (KNO_3)	Se obtuvieron buenos resultados teniendo en cuenta las variables como: altura de la planta 15.50 cm, número de hojas 11, ancho de hojas de 13 y 14.50 cm, longitud de hojas 18.25 cm, peso de la raíz 14.25 g y rendimiento de 460 g. [d]

Nota: [a] (Gonzáles, 2020). [b] (Ricardo, 2020). [c] (Sánchez, 2018). [d] (Kaiser, 2017).

Finalmente, Rodríguez, (2018) llevó a cabo el único ensayo en el que se compara el rendimiento de lechuga variedad Whitte Boston utilizando la técnica de NFT y Raíz flotante, obteniendo como conclusión que la técnica de raíz flotante proporcionaba resultados ligeramente mejores que la NFT en lo que respecta al área foliar de la lechuga.

4. CONCLUSIONES

El sistema hidropónico que más se ha utilizado la producción de lechuga es el sistema NFT. A pesar de ser un sistema que implica altos costos iniciales debido a los materiales y estructura que requiere, ha demostrado su efectividad tanto en lo que se refiere a la productividad del cultivo, pues permite la obtención de un producto de calidad en menos tiempo, como a los beneficios ambientales que proporciona, al necesitar menos espacio y posibilitar un uso más eficiente del agua, así como una menor aplicación de insumos de síntesis química.

Las experiencias analizadas muestran variabilidad en cuanto a las soluciones nutritivas utilizadas, así como en las variedades de lechuga y las variables utilizadas para medir la efectividad de cada tratamiento, razón por la cual la comparación resulta complicada. No obstante, en Ecuador, los estudios encontrados, han permitido constatar su eficacia e identificar que el sistema más utilizado para la producción de lechuga hidropónica ha sido el sistema NFT, al igual que en los demás países latinoamericanos con estudios recientes, cuya implementación ha proporcionado buenos resultados en cuanto al rendimiento, así como a su morfología.

REFERENCIAS

Andrade, F. (2016). *Los desafíos de la agricultura*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Mar del Plata. Recuperado de file:///E:/Downloads/los%20desafios%20de%20la%20agricultura.pdf

Ayala, A.B.V., Chui, H.C., & Fernández, CH.C.M.(2019). Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*) en sistema hidropónico bajo dos niveles de cloruro de potasio. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales,6*(2), 66-71.

Albuja. V., Andrade. J., Lucano. C., & Rodríguez. M. (2021). Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativa agrícola en zonas urbanas. *Revista Minerva de Investigación Científica*, *2*(4),45-54.

Beltrano, J., & Giménez, O. (2015). *Libros de Cátedra: Cultivo en hidroponía* (Primera ed.). Argentina: UNLP. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Brenes, P.L.P., & Jiménez, M.M.F. (2015). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique).* Costa Rica, (7). Doi: ISBN 978-9968-641-32-6

Cando, P.S., & Malca, A.L. (2015*). Influencia de un abono orgánico líquido tipo biol en el rendimiento de la lechuga (Lactuca sativa L) cultivada en sistemas hidropónicos. Manglar*, 12(2),31-38. file:///E:/Downloads/53-458-1-PB.pdf

Cajo, C.A.M. (2016). *Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.), bajo el sistema de NFT, con tres soluciones nutritivas.* (Tesis de investigación). Univesdidad Técnica de Ambato. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23421/1/Tesis-136%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20413.pdf

Carita, T.R. (2019). *Evaluación de niveles de nitrógeno en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en el sistema hidropónico NFT, en la ciudad de el ALTO - LA PAZ*.(Tesis de grado). Universidad Mayor De San Andrés]. Obtenido de https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/23228/T-2699.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carnicer, S., Shindoi, M.M.J., Delfino, M.R., & Leconte, M.C. (2020). *Contenido de antioxidantes totales y clorofila en lechua bajo fertilizacion orgánica con compost*.(Tesis de grado). Instituto Agronomico "Pedro M. Fuentes Godo. Recuperado de https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/9265/INTA_CRChacoFormosa_EEAColoniaBenitez_Shindoi_MS_contenido_antioxidantes_totales_clorofila_lechuga.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castillo, B.J.F.(2018). *Factibilidad de lechuga (Lactuca sativa) hidropónica en el Cantón Santa Rosa, Provincia de el Oro*.(Tesis de grado). Universidad Técnica de Machala. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12415/4/DE00002_TRABAJODETITULACION.pdf

Castillo, L.R.H., Hernandéz, A.M.B., & Rodríguez, R.K.A. (2015). Importancia del consumo de productos hidroponicos de Guayaquil. *Yachana 4*(1). 205 – 212.

Catagua, V.J.L., & Kozick, L.W.V. (2021). *Desarrollo de una solución basado en internet de las cosas IoT, a través de sensores aplicando a un sistema de hidroponía en la provincia de Guayas.*(Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/52669/1/B-CISC-PTG-1920-

2021%20Catagua%20V%c3%a1squez%20Jos%c3%a9%20Leonardo%20-%20Kozisck%20Luque%20William%20Vladimir.pdf

Cevallos, M.M.R. (2020). *Aplicaciones de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidopónico bajo el sistema NFT*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Cotopaxi. Obtenido de http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4846/1/UTC-PIM-000191.pdf

Chávez, E., Preciado, R.P., & Benavides, M. A. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas.* Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305280176_Manual_para_la_preparacion_de_soluciones_nutritivas

Choez, M.V.A. (2019). *Cultivo lechuga (Lactuca sativa L.), Bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero*. (Proyecto de investigación). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Recuperado de https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3682/1/T-UTEQ-0173.pdf

Cruz, D.P. (2015). *Nitratos en Lechugas (Lactuca sativa L. Var Great Lakes) abonadas con Orgánicos y Fertilizantes Químicos*. (Tesis de grado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado de http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6840/63432%20%20%20CRUZ%20DOMINGUEZ%2C%20PEDRO%20%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Delgado, P.E.M. (2016*). Evaluación de tres variedades de lechuga (Lactuca scariola L.) con tres dosis de fitohormonas y quelatos inorgánicos y orgánicos cultivadas en condiciones de hidroponía. (*Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11584/1/Delgado%20Paz%20Edid%20Marisol.pdf

Díaz, A.L. (2016). 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), 204-222p.

FAO, L. (2003). *Manual técnico, La huerta hidropónica popular* (Tercera ed.). Chile: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Recuperado de https://www.fao.org/publications/card/es/c/ccbabea6-310a-5d82-af8b-a07723aafbb9/

Garzón, Q.Y.M. (2020). *Los cultivos Hidropónicos como muestra de cultivos con un interés social.* (Diplomado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Recuperado de https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/39042/ymgarzonq.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Generación verde, sistemas Hidropónicos. (2015). T*ipos de sistemas hidropónicos para cultivar.* Recuperado de https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos/

González, J.W.I. (2020*). Producción de lechuga hidropónica (Lactuca Sativa L.) en sistema de raíz flotante bajo el efecto de 3 bioestimulantes*. (Proyecto de Titulación). Universidad Estatal Península de Santa Elena. Recuperado de https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/5684/UPSE-TIA-2021-0005.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gordo, A.D. (2017). *Desarrollo e implementación de un Invernadero automatizado con cultivo hidropónico y aplicación móvil para el seguimiento de datos.* (Proyecto de grado). Universidad de Sevilla. Recuperado de https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/68443/TFG%20Alvaro%20Domingo%20Gordo%20Ru%c3%adz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Huacon, C.R.D. (2020). *Desarrollo morfológico y rendimiento de tres variedades de fresa mediante un sistema hidropónico NFT cantón Guayaquil, Guayas agricultura*. (Tesis de Titulación). Universidad Agraria del Ecuador. Recuperado de. http://181.198.35.98/Archivos/HUACON%20COELLO%20RUBEN%20DARIO.pdf

Huanaco, T.M.A., & Rosas, A. M. A. (2020). *Sistema Hidropónico Nutrient Film Technique (NFT) para Mejorar la Productividad del Cultivo de Lechuga en la Agricultura Familiar en la Ciudad de Arequipa*. (Tesis de grado). Universidad Tecnológica del Perú. Recuperado de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/4108/Miguel%20Huanaco_Mayra%20Rosas_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jiménez, V.W.E. (2020). *Desarrollo morfológico y productivo del cultivo de melón (Cucumis melo), bajo sistema hidropónico NFT en Guayaquil*. (Tesis de Titulación). Universidad Agraria del Ecuador. Recuperado de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JIMENEZ%20VELEZ%20WILSON%20ESTEVAN.pdf

Kaiser, Ch.B.P. (2017). *Evaluación de tres niveles de nitrato de potasio en lechuga (Lactuca sativa. L.) cultivado bajo sistema de producción hidropónica.* (Tesis de grado). Universidad De Guayaquil. Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/15618/1/Kaiser%20Chavez%20Betsy%20Patricia.pdf

Leiva, E.S.T., Román, P.A.R., Vilca, V.N.C., & Neri, Ch. J.C. (2018). Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante (Chachapoyas – Amazonas). *Revista de Investigación Agro producción Sustentable* 2(1), 50-56.

Lema, H.I.M. (2018*). Implementación de un sistema automático de riego por goteo. (*Tesis de posgrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8056/1/20T00963.PDF

Lema, P.D.O. (2017). *Evaluación de tres soluciones nutritivas en hidroponía en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) var. Crispa, en invernadero, departamento de horticultura, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8174/1/13T0853.pdf

Lizano, A.D.R. (2020). *Cultivo hidropónico NTF de lechuga (Lactuca sativa L.: Asteraceae) con diferentes cultivares, soluciones nutritivas y microorganismos benéficos en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos.* (Tesis de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica Campus Tecnológico Local San Carlos.Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12244/cultivo_hidrop%c3%b3nico_nft_lechuga_lactuca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Maita, A.L.F. (2018*). Concentración de nitratos en lechuga (lactuca sativa var. waldman) producidas en un sistema hidropónico de raíz flotante utilizando tres soluciones nutritivas, Arequipa – Perú.* (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Recuperado de http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5080/BImaanlf.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mafla, T.E.G. (2015). *Respuesta de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) Con tres niveles de fertilización en producción hidropónica en la zona de Ibarra, Provincia de Imbabura*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Babahoyo. Recuperado de http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/1066/T-UTB-FACIAG-AGR-000218.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mendoza, R.V.I. (2015*). "Efecto de tres variedades nutritivas en el rendimiento y calidad de Lactuca sativa L. Var. Capitata cv. White Boston en sistemas hidropónicos en Santiago de Chuco, La Libertd".* (Tesis de grado). Universidad Nacional De Trujillo. Recuperado de https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7648/MENDOZA%20RODR%C3%8DGUEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Méndez, H. (2019). *Evaluación de fenología y rendimiento de tomate hidropónico (Lycopersicum sculentum Mill) bajo distintas soluciones nutritivas en clima semiárido*. (Trabajo de titulación). Universidad Estatal Península de Santa Elena. https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/4802/UPSE-TIA-2019-0002..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mendrano, G.P. (2017). *Cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en sistema mixto (suelo e hidroponía) bajo diferentes soluciones nutritivas en el centro experimental de cota.* (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés. Recuperado de https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/15319/T-2474.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Molina, M.O.M. (2015). *Evaluación de tres sistemas hidropónicos utilizando sustrato orgánico en cultivo de Lactuca sativa, adaptado para pequeños productores.* (Tesis de grado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. Recuperado de https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4512/1/IAD-2015-021.pdf

Ortiz, V.A.C., Aguilar, M.F.J., & Pérez, D.L.Y. (2018). *Desarrollo de un cultivo hidropónico de lechugas automatizado tipo flujo y reflujo, con solución nutritiva y utilizando un sustrato vegetal, en la fundación cultivos de amor ubicado en Belén San Bernardo municipio de Medellín*. (Tesis de grado). Instituto Tecnológico Metropolitano. Recuperado de https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/4046/Rep_Itm_pre_Ort%C3%ADz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pachón, C.J.M. (2020). Producción y comercialización de lechuga hidropónica (Lactuca sativa L.), como una alternativa económica para pequeños productores de Viotá, Cundinamarca. (Tesis de grado). Universidad De La Salle. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1180&context=ingenieria_agronomica

Pérez, M.A.Y. (2018). *Efecto del uso de mallas raschel de colores en plantas de Lactuca sativa L. var. waldmann´s green bajo sistema hidropónico de raíz flotante.* (Tesis de grado). Universidad De Guayaquil. Recuperado de http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5893/BIpemeay.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pertierra, L.R., Balmaseda, E.C., & Villacrés, M.J. (2020). Factibilidad técnica y económica de la suplementación del ganado caprino con *Zea mays* L. hidropónico en Santa Elena, Ecuador. *Pastos y Forrajes,43*(4),326-336.

Pertierra, L.R., & Quispe, G.J. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *Scielo, 31*(1), 7-8.

Pizarro, V., Jana, C., Ibacache, G., Contreras, S., Leris, G., & Alfaro. (2019). *Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF):* producción de lechugas y berros bajo invernadero (No. 85). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Intihuasi, Colina San Joaquín s/n, La Serena. Recuperado de https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/35291

Quispe, P.L. (2015). *Evaluación de seis variedades de lechuga, (Lactuca sativa L.) cultivadas con el sistema hidropónico recirculante NFT en el centro experimental de Cota Cota.* (Proyecto de grado). Universidad Mayor de San Andrés. Recuperado de https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6955/T-2152.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramírez, G.A. (2017). *Sistema de producción hidropónica de lechuga (Lactuca sativa L.).* (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria la Molina Facultad de Agronomía.

Recuperado de https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2981/F01-R3554-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ricardo, M.J.J. (2020). Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa* L.) en raíz flotante bajo diferentes soluciones nutritivas. *Centrosur,1*(5), 28-32.

Rodríguez, C.D.R. (2018). *Ccomparación de dos técnicas hidropónicas, flujo laminar de nutrientes y raíz flotante para la producción de lechuga (lactuca sativa L.) en el centro experimental de Cota Cota*. (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés. Recuperado de https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15507/T-2500.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, M.W.O. (2021). *Producción de lechuga (Lactuca sativa L) en hidroponía cantón Guayaquil, provincia del Guayas*. (Tesis de grado). Universidad De Guayaquil. Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/56265/1/Rodr%c3%adguez%20Mendoza%20William%20Oswaldo.pdf

Rogel, V.M.I. (2018). *Respuesta de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) a cuatro soluciones nutritivas, bajo condiciones hidropónicas en invernadero agricultura*. (Tesis de Titulación). Universidad Central del Ecuador. Recuperado de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16529/1/T-UCE-0004-CAG-024.pdf

Rojas. M.L. (2019*). "Evaluación del desarrollo de la lechuga "Lactuca sativa L" un sistema hidropónico recirculante aplicando dos soluciones nutritivas en base a microorganismos benéficos (MOBS) en el cantón Paute-Azuay-Ecuador."* (Proyecto de grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18107/1/UPS-CT008604.pdf

Rozo, S.G.A., Ruiz, R.J.C., Poveda, G.J.D., & Lobaton, D.H.O. (2020). *Sistema de supervisión y alertas de un cultivo hidropónico NFT de lechuga a través del internet de las cosas.* (Tesis de grado). Fundación Universitaria Unipanamericana – Compensar. Recuperado de https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/bitstream/handle/compensar/2205/Proyecto%20de%20Grado_Grupo%20Investigacin%20I%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, F.S.O. (2018). *Evaluación de dosis creciente de Nitrógeno en cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.) utilizando la técnica raíz flotante*. (Tesis de titulación). Universidad Técnica de Machala. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13262/1/DE00029_TRABAJODETITULACION.pdf

Sillo, T.R. (2016). *Caracterización morfológica de hongos fitopatógenos en el cultivo de la lechuga (Lactuca sativa) en el sector de San Buena Aventura – Cotopaxi 2014*.(Tesis de grado). Universidad Técnica de Cotopaxi. Recuperado de http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3258/1/T-UTC-00525.pdf

Telenchana, T.M.M. (2017). *Evaluación de tres enraizantes en plántulas de lechuga (Lactuca sativa L.) mediante el método de raíz flotante en la Parroquia Mulalillo del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25014/1/Tesis-149%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20462.pdf

Terceros, M.J., & Villacorta, W.B. (2019). Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva(NFT) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Patacamaya, La Paz. R*evista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMCA,* 5(2), 3p.

Torres, T. C.M. (2018). *Análisis comparativo de costos de inversión de sistemas hidropónicos.* (Tesis de grado). Universidad Estatal Península de Santa Elena. Recuperado de https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4561/1/UPSE-TAA-2018-0027.pdf

Topete, P. De la Rosa & Herrera, V.I.A. (2015*). La producción hidropónica ¿Una alternativa alimentaria en espacios urbanos?* (Tesis de grado). Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49265/UAEM-FAPUR-TESIS-DE+LA+ROSA,+HERRERA.pdf;jsessionid=2E6E3695FC9A2AA6241F11528813FC0B?sequence=1

Ubico, K.J.J. (2018).*Propuesta e implementación del manejo del área hidropónica del centro de prácticas San Ignacio, Campus Central Sistematización de Prácticas Profesionales.* (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar. Recuperado de http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2018/06/14/Ubico-Jose.pdf

Universidad Nacional Agraria La Molina Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. (2013). *Red Hidroponía*. Recuperado de http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/publicaciones.htm

Urrestarazu, G.M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5NE9CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=sustratos+org%C3%A1nicos,+hidroponia,+lechuga&ots=Ve8ZINxGpR&sig=3HHf1Mav7oIeFVKGH7sQWKcwe68#v=onepage&q&f=false

Valles, F.J.V. (2020*). Sistema de mezcla de soluciones nutritivas y ácido para un cultivo hidropónico basado en la técnica de película de nutriente (NFT).* (Tesis de grado). Universidad Técnica del Norte. Recuperado de http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10670/2/04%20MEC%20321%20TRABAJO%20GRADO.pdf

Velasco, J., Aguirre, G., & Ortuño, N. (2016). Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en cultivo de hidroponía. *Selva Andina Biosphere*,*4*(2). 71-83.

Vidal, R.M.I. (2018). *Respuesta de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) a cuatro soluciones nutritivas, bajo condiciones hidropónicas en invernadero*. (Tesis de titulación). Universidad Central de Ecuador. Recuperado de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16529/1/T-UCE-0004-CAG-024.pdf

Villacrés, CH. H.I. (2019). *Evaluación de tres soluciones nutritivas en la producción de acelga (Bata vulgaris L.) Var Fordhook Giant, en hidroponía a raíz flotante en invernadero.* (Tesis de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10733/1/13T0876.pdf

Villafuerte, C.K.M. (2020*). "Comportamiento agronómico de cuatro cultivares de lechuga (Lactuca sativa L) mediante sistema hidropónico en la zona de Babahoyo, Provincia de los Ríos".* (Tesis de grado). Universidad Técnica de Babahoyo. Recuperado de file:///E:/Downloads/COMPORTAMIENTO%20AGRONOMICO%20DE%20CUATRO%20CULTIVARES%20DE%20LECHUGA%20MEDIANTE%20SISTEMA%20HIDROP%C3%93NICO%20EN%20LA%20ZONA%20DE%20BABAHOYO_2020.pdf

Villegas, N. J.A. (2021). *Automatización de procesos para la producción de fresa por métodos hidropónicos-NFT.* (Tesis de grado). Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado de file:///E:/Downloads/T-UIDE-0178%20(2).pdf

ANEXOS

MARCO TEORICO

1. Cultivo de lechuga

1.1 Origen y distribución

Se estima que la lechuga (*Lactuca sativa* L.) se empezó a cultivar hace unos 2500 años, **y** a pesar de no tener claro su origen, se cree que procede de regiones templadas de Asia, Europa, India y América del Norte, habiendo sido cultivada por egipcios, romanos y griegos, quienes apreciaban sus propiedades afrodisiacas (Sillo, 2016). Posiblemente fue introducida a América por los primeros exploradores que cultivaban en el área del Caribe, (Rogel, 2018). En la actualidad, a nivel de Latino América los países que más producen lechuga son: Colombia, República Dominicana, El Salvador, Chile, Costa Rica, Venezuela, Haití, México, Panamá, Brasil, Argentina, Perú y Cuba (Topete & Herrera, 2015).

1.2. Valor nutricional

Entre las hortalizas más utilizadas por su importancia medicinal, la lechuga destaca por su contenido en fibra, carbohidratos, proteína, y una mínima cantidad de grasa, además de su acción antioxidante, característica que está relacionada con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer (Villafuerte, 2020; Carnicer et al., 2020).

La lechuga, es una hortaliza caracterizada por un escaso aporte de calorías debido a su alto contenido de agua. Así mismo, presenta poca cantidad de carbohidratos, proteínas y grasas; mientras que las hojas exteriores de la planta son ricas en vitamina C, en comparación con las que se encuentran dentro. De igual forma, contiene flavonoides, pequeñas cantidades de b-sitosterol y otros compuestos de gran importancia por su contribución a la salud humana (Choez, 2019) tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Valor nutritivo de la lechuga por cada 100 gr

Agua	96,61%
Proteína	1,23 g
Grasa total	0,3 g
Carbohidratos	3,28 g
Calcio	33 mg
Fósforo	30 mg
Hierro	0,97 mg
Tiamina	0,07 mg
Riboflavina	0,07 mg
Vitamina C	24 mg
Vitamina A equiv. retinol	290 mg
Potasio	247 g
Sodio	8 g
Magnesio	14 mg

Nota: Choez, (2019)

1.3. Importancia del cultivo de lechuga en el Ecuador

El cambio de hábitos alimenticios producidos en el Ecuador desde inicios de 1990 propició una creciente demanda de vegetales frescos y listos para el consumo, entre los que destaca una mayor utilización de hortalizas, especialmente la lechuga, cuya industrialización se está desarrollando para el mercado internacional (Sillo, 2016).

A nivel nacional, el cultivo de lechuga se encuentra distribuido principalmente en la sierra con un 83% y en la costa con 13%, en donde se destaca en primer lugar la provincia de Pichincha, con 924 hectáreas, seguida por la provincia de Chimborazo con 232 hectáreas, y en tercer lugar la provincia de Tungurahua con 116 hectáreas cultivadas, siendo las variedades más apetecidas en cultivo hidropónico la Romana y Salad Bowl (Villafuerte, 2020; Sánchez, 2018). La primera cuenta entre sus características más atractivas el hecho de que sus hojas son erectas, de lámina algo crespas de borde liso y buena textura. Por su parte, la variedad Salad Bowl conocida comúnmente como lechuga de hoja o gourmet, se caracteriza por sus hojas anchas con margen muy recortado, sueltas y dispersas, además, de que su ciclo de cultivo es muy corto, siendo una ventaja para trabajar en estos tipos de técnicas, también se puede encontrar la lechuga criolla para consumo ya que representa un 70%, mientras que un 30% están las variedades como Salad y roja, en cuanto a la producción en el Ecuador (Telenchana, 2017).

2. Hidroponía

La palabra hidroponía se deriva del griego Hydro (agua) y Ponos (labor, trabajo) lo que significa que es una técnica para cultivar en agua (Cajo, 2016) La implementación de este sistema de cultivo permite la reducción de la fuerza física del hombre para poder trabajar, además de que posibilita la obtención de productos de buena calidad, frescos, sanos, de buen sabor y a un precio aceptable (Castillo, Hernández & Rodríguez, 2015).

Los sistemas hidropónicos pueden ser construidos tanto en zonas rurales como urbanas, en donde esta tecnología ha demostrado ser también eficaz y rentable pudiendo ser implementada de manera casera en espacios reducidos (Diaz, 2016).

Para poder obtener un mejor rendimiento y calidad, es preciso controlar todas las variables del entorno y resulta necesario conocer las ventajas y desventajas de esta técnica.

Ramírez (2017) resalta las siguientes ventajas:

- Permite utilizar suelos no adecuados para la agricultura tradicional
- Poco espacio y costo para una mejor producción
- Economiza el uso del agua
- No existe contaminación ambiental
- Automatización alta
- Alta producción por unidad de superficie, que es mejor que la agricultura convencional
- Cultivo más sano e higiénico.

Ramírez (2017) resalta las siguientes desventajas:

- Elevados costos de producción e instalación
- Bajo conocimiento del manejo agronómico
- Poca experiencia de soluciones nutritivas.

A su vez que ayuda al suelo a descansar y recuperarse frente a la erosión, además de conservar estos recursos con el objeto de una explotación racional del mismo que ha existido en los últimos años (Diaz, 2016).

2.1. Hidroponía en América Latina y en Ecuador

En América Latina, la hidroponía ha sido promocionada para poder enfrentar problemas en la alimentación y obtener productos frescos y sanos (Rogel, 2018), y así la Organización de Naciones Unidas (ONU) impulsa su desarrollo en diferentes municipios de cada país, en donde se implementa esta técnica en entornos urbanos (Garzón, 2020).

En Ecuador, la producción del cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos se está aplicando con éxito, considerando su proyección para salvaguardar la seguridad alimentaria y que se está vendiendo tanto en mercados locales como internacionales destacándose que la

aplicación de este sistema contribuye a reducir hasta el 50% de plagas y enfermedades, por lo que la utilización de plaguicidas se ve disminuida, con el consiguiente beneficio ambiental (Telenchana, 2017).

Es destacable que el sistema hidropónico está siendo incentivado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) particularmente para el cultivo de lechuga y otros vegetales en la provincia de El Oro, Cotopaxi, Tungurahua, ciudad de Cuenca, principalmente (Pertierra & Quispe, 2020).

Resulta interesante así mismo, el estudio realizado por Castillo et al. (2015) en el que se destalla la importancia del consumo de cultivos hidropónicos en Guayaquil, debido principalmente a que se presenta como una alternativa para la producción sin la utilización excesiva de químicos.

Además de su aplicación para el cultivo de lechuga, la hidroponía ha sido implementada con éxito en otros cultivos, como el maíz (Pertierra et al., 2020) y tomate (Méndez, 2019). Se han encontrado también experiencias en cultivo de fresas (Huacon, 2020) y melón (Jiménez, 2020), respectivamente, pero con resultados infructuosos en estos últimos, debido fundamentalmente a las altas temperaturas, que se registraron en tales experiencias.

2.2.Tipos de sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos pueden ser de diferentes tipos según sus características, distinguiéndose sistemas estacionarios, recirculantes y aeropónicos.

2.2.1. Sistemas estacionarios

Son aquellos donde el cultivo está suspendido en bandejas y flotan en el agua. Se caracterizan porque funcionan por camas de unicel (Poliestireno Expandido) u otro material ligero. No deben permitir que la luz ingrese y por ello deben estar protegidos por una tapa con orificios que permitan que la raíz esté en contacto con la solución nutritiva, el agua se encuentra estática lo que quiere decir que no tiene recirculación, pero las plantas están siempre en contacto con el agua. (Ubico, 2018).

En este tipo de sistemas, se produce poca acumulación de sales solubles en la planta, ya que el movimiento de la solución es de arriba hacia abajo, lo que constituye una ventaja importante; en contrapartida, el rendimiento del sistema es menor (Albuja et al. 2021)

Encontramos dos estilos de sistemas estacionarios, el sistema de mecha y el sistema Deep Floating Technique, o técnica flotante.

Sistema de mecha o pabilo

El manejo de este tipo de sistema es sencillo, debido a que no necesita bomba para que circulen las soluciones nutritivas. Las plantas reciben sus nutrientes por medio de mecha o pabilo, pudiendo la mecha ser variable y utilizarse diferentes sustratos, siempre y cuando la planta requiera de poca agua. (Generación verde, sistemas Hidropónicos. 2015)

Sistema (DFT) Deep Floating Technique -Técnica flotante

El sistema raíz flotante consiste básicamente en trasplantar plantines sobre láminas de poliestireno (espumafon) de alta y mediana densidad perforadas en donde se asientan las plantas. Estas láminas se mantienen a flote sobre contenedores con solución nutritiva que es recirculada para que esté en constante contacto con la raíz y se oxigene de manera frecuente. Se emplean camas de cultivo de madera recubiertas con láminas de polietileno (Torres, 2018).

2.2.2. Sistemas recirculantes

En estos sistemas, las raíces están sumergidas en una solución nutritiva, que está sometida a una recirculación constante, así como a la regulación de su pH, aireación y concentración de sales. Se caracterizan por el ahorro en el consumo de agua y por el equipamiento requerido, que incluye un tanque, bomba a motor, poli tubos, microtubos y un sistema de desagüe. (Quispe, 2015). Entre los sistemas recirculantes se pueden encontrar el sistema por goteo, sistema de flujo y sistema Nutrient Flow Technic, o de técnica de la película de nutriente.

En este tipo de sistemas es posible conseguir un ahorro de fertilizante entre un 50% y un 35%, debido a que la recirculación de la solución nutritiva permite un mayor crecimiento de las hortalizas. Como desventaja, se puede destacar que el sistema requiere un monitoreo constante para permitir que la solución llegue correctamente a cada planta (Albuja et al. 2021)

Sistema por goteo

Es la aplicación artificial de agua o las soluciones nutritivas de forma firme, en cantidades reducidas para suministrar a las especies vegetales para que su humedad sea necesaria para

su desarrollo. Mediante emisores que son los goteros, tuberías gateadoras o tuberías exudantes. El agua circula a través de presión por la instalación, así reduciendo su velocidad y provocando que el agua caiga gota a gota. (Lema, 2018)

Sistema de flujo o reflujo

Este sistema consiste en llenar a borde temporalmente los recipientes que contienen las plantas de crecimiento con solución nutritiva y luego ésta es drenada de vuelta al depósito. El movimiento de la solución nutritiva permite alimentar las raíces en intervalos de tiempo y aportar oxígeno a las raíces. (Ortiz, et al., 2018)

Para este sistema es necesario la utilización de una bomba tipo timer ya que este tipo de bombas se puede activar varias veces al día, así mismo cuando esta deja de funcionar temporalmente la solución regresa al depósito. La ventaja que presenta este sistema hidropónico es que puede implementarse con distintos tipos de sustrato y a su vez permite el crecimiento de varias especies vegetales. Sin embargo, es importante asegurarse de que la bomba funciona adecuadamente. (Gordo, 2017)

Sistema (NFT) Nutrient Flow Technic -Técnica de la película de nutriente

Este tipo de sistema hidropónico fue elaborado por primera vez por el Dr. Allan Cooper, en la década de los sesenta, y una vez que fue reconocido a nivel internacional, su uso se ha extendido a la producción que da buena calidad tanto en invernadero como a campo abierto. (Cajo, 2016)

En los sistemas como NFT (Nutrient Film Technique) que en español significa "la técnica de la película de nutriente" la recirculación de la solución nutritiva se lleva a cabo a través de varios canales de tubos de PVC, ductos ABS, que llegan a un contenedor y por presión que realiza una bomba la solución nutritiva regresa nuevamente. (Vidal, 2018)

Es necesario indicar que, tanto en los sistemas estacionarios como en los recirculantes, la solución nutritiva debe estar en constante circulación, para propiciar una mejor distribución de los iones nutritivos, así como para mejorar y tener una buena aireación. Este movimiento de recirculación debe ser lento para no dañar las raíces de las lechugas (Villacrés, 2019)

2.2.3. Sistemas aeropónicos

En estos sistemas, a diferencia de los anteriores, las raíces se encuentran totalmente suspendidas en el aire, en el interior de un contenedor que impide el paso de la luz, y la solución nutritiva es suministrada por nebulización controlada por temporizadores. (Catagua & Kozick, 2021; Medrano, 2017).

Estos sistemas requieren el uso de sustratos muy bien desinfectados para lograr control sobre la esterilidad del cultivo, lo que facilita su buen manejo. Sin embargo, se puede citar como desventaja la susceptibilidad del sustrato a cambios de temperatura y su sensibilidad a valores altos de pH (Albuja et al., 2021)

2.3.Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas se utilizan para la alimentación de la planta, y por ello constituyen la parte principal para el desarrollo de un sistema hidropónico.

En las soluciones nutritivas, el agua se utiliza como medio conductor para llegar directamente a la raíz del cultivo, y a ella se añaden diferentes nutrimentos, que consisten en una mezcla de macro y micronutrientes (Mafla, 2015), que pueden provenir de diversos fertilizantes (Ricardo, 2020; Huanaco & Rosas, 2020) o abonos orgánicos (Cruz, 2015; Rogel, 2018). Además, de mejorar el valor nutricional del cultivo, las soluciones nutritivas también deben contener sustancias que permitan mejorar sus propiedades, por lo que es posible añadir bio estimulantes (González, 2020).

Existen diferentes soluciones nutritivas que se han venido utilizando por varios autores en las que se combinan de diferente manera estos elementos minerales requeridos por las plantas. Entre ellas, destaca una solución concentrada aplicada con éxito en América Latina y el Caribe, que consiste en la preparación de dos soluciones madre concentradas, que se denominan Solución concentrada A y Solución concentrada B (FAO, 2003), siendo la Solución concentrada A la que contribuye con los nutrimentos que consumen las plantas en mayores proporciones, y la Solución concentrada B la que contiene aquellos elementos que se necesitan en menores cantidades, pero que siguen siendo esenciales para el desarrollo de la planta (Tabla 2)

Otras soluciones nutritivas propuestas por diferentes autores se presentan en la Tabla 3

Tabla 2

Soluciones concentradas.

Solución Concentrada A: (para 10 litros de agua, volumen final)	**Cantidad**
Fosfato Mono Amónico	340g
Nitrato de Calcio	2080g
Nitrato de Potasio	1100g
Solución Concentrada B: (para 4 litros de agua, volumen final)	**Cantidad**
Sulfato de Magnesio	492g
Sulfato de Cobre	0,48g
Sulfato de Manganeso	2,48g
Sulfato de Zinc	1,20g
Ácido Bórico	6,20g
Molibdeno de Amonio	0,02g
Quelato de Hierro	50g

Nota: FAO. (2003)

Tabla 3

Soluciones nutritivas sugeridas por distintos autores

Mmol L-1	*Hoagland y Arnon(1938)*	*Cooper (1978)*	*Verwer (1986)*	*Graves (1983)*	*Sonneveld Voogt (1985)*	*STEINER (1984)*	*SONNEVELD (1986)*	*Mavrogiannopolus PAPADAKIS(1987)*	*DAY(1991)*
N	15,00	12,50	12,30	12,50	10,70-17,00	12,00	12,00	13,00	9,00-15,00
P	1,00	2,00	1,25	1,60	0,95-1,45	1,00	1,50	1,00	1,00
K	6,00	5,00	7,10	10,00	7,60-12,70	7,00	7,50	7,00	7,50
Ca	4,00	5,00	4,25	5,60	3,75-7,50	4,50	3,75	4,00	3,75
Mg	2,00	1,80	1,00	2,00	1,60-2,00	2,00	1,00	1,25	1,50
S	2,00	1,70	3,30	-	-	3,50	-	-	-
mg/L									
Fe	2,50	1,50	1,70	3,00	3,00-6,00	1,33	0,56	3,50	2,00
Mn	0,50	0,50	1,10	1,00	0,50-1,00	0,62	0,55	1,00	0,75
Cu	0,02	0,10	0,017	0,10	0,10	0,02	0,03	0,02	0,10
Zn	0,05	0,30	0,25	0,10	0,10	0,11	0,46	0,50	0,50
B	0,50	0,50	0,35	0,40	0,30-0,40	0,44	0,22	0,30	0,40
Mo	0,01	0,05	0,058	0,05	0,05	0,049	0,05	0,05	0,05

Nota: Beltrano & Giménez (2015).

A estas soluciones nutritivas, se puede añadir la propuesta por la Universidad Nacional Agraria La Molina, que se describe en la Tabla 4, y aparece citada en varias publicaciones latinoamericanas.

Tabla 4

Componentes de la solución nutritiva "La Molina".

Solución Concentrada A: (para 5,0 litros de agua, volumen final)	**Cantidad**
Nitrato de amonio	350g
Superfosfato triple	180g
Nitrato de potasio	550g
Solución Concentrada B: (para 2,0 litros de agua, volumen final)	**Cantidad**
Sulfato de magnesio	220g
Quelato de hierro 6% Fe	17g
Solución de Micronutrientes	400ml
Solución Micronutrientes: (para 1,0 litros de agua destilada o hervida)	Cantidad
Sulfato de Manganeso	5g
Ácido bórico	3g
Sulfato de Zinc	1,7g
Sulfato de Cobre	1g

Nota: Universidad Nacional Agraria La Molina Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. (2013).

En lo que se refiere al cultivo hidropónico de lechuga en particular, además de la energía solar, el CO_2 y el agua, hay elementos o nutrientes considerados tres de los cuales son aportados por el agua y el aire como (C, H, O_2), y los otros que se le adiciona al sustrato o en

este caso al agua del medio y estos son: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, hierro, cloro, cobre, manganeso, molibdeno, boro, zinc (Lema, 2017). Por su parte, Pizarro et al. (2019) afirma que los elementos nutricionales que se requieren en mayor cantidad son nitrógeno, fósforo, potasio y calcio.

2.3.1. Factores que influyen en la solución nutritiva

Para Mafla (2015) se debe tener en cuenta algunos factores para el manejo del cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos como son:

Calidad de agua: Es uno de los factores indispensables para el cultivo, esta agua puede ser de la lluvia o potable para su utilización, se debe medir de forma química el pH y conductividad eléctrica (CE) indicando la presencia de sales disueltas en la solución. Si en el agua existen exceso de las soluciones nutritivas como es la de magnesio y calcio se debería realizar corrección en los nutrimentos. Por otro lado, si existe en el agua exceso de sodio y cloro, es muy toxico para la planta, para poder evitar todo este tipo de problemas se debe realizar estudios para poder determinar en qué estado se encuentra el agua. (Cevallos, 2020).

Temperatura: En los sistemas hidropónicos la temperatura óptima para la germinación es de 18° a 20 °C, teniendo en cuenta que las soluciones deben estar entre 13 y 15 °C, para tener una concentración y buen funcionamiento de las raíces en la lechuga y así lograr buena aglutinación de los nutrientes en forma balanceada (Lizano, 2020). La lechuga exige una temperatura por el día de 14 a 18 °C y por las noches 5 a 8 °C. (Cevallos, 2020). Para la mayoría de los cultivos bajo invernadero lo adecuado sería mantenerla hasta los 22 ºC para satisfacer la demanda de la planta. (Rodríguez, 2018)

pH: Es necesario que esté entre 5.5 a 6.5 de acuerdo a los requerimientos óptimos del cultivo. En el caso de la lechuga es necesario mantener en un pH de 5.8 para que la planta pueda asimilar de manera adecuada los nutrientes (Rozo et al., 2020). El pH del cultivo de lechuga puede variar durante su crecimiento (Ortiz, Aguilar & Pérez, 2018), por lo que el monitoreo y su regulación debe ser constante, de manera que si el pH de la solución nutritiva es alto se le agrega solución acida para poder disminuirla (Valles, 2020).

Conductividad Eléctrica (CE): La presencia de sales en una solución nutritiva interviene para el desarrollo vegetal, que si la conductividad eléctrica es mayor significa que posee

mayor cantidad de sales dentro del agua. (Rojas, 2019). El rango de la CE debe estar entre 5.5 a 7, si en caso de que el pH es inferior a los 5.5 se le añade solución concentrada, si es superior a los 7 se le agrega agua, así manteniendo en equilibrio el pH. (Terceros & Villacorta, 2019).

La aeración u oxigenación: favorece al desarrollo de raíces y absorción de nutrientes con mayor eficiencia; la oxigenación de la solución nutritiva se de realizar diariamente durante 30 minutos dos veces al día (mañana y tarde), con el fin de proporcionar el oxígeno suficiente para las raíces y facilitar la absorción de nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta (Pertierra y Quispe, 2020).

Manejo y prácticas culturales bajo invernadero: poniéndole atención a las condiciones ambientales, sanitarias y productivas.