



Área: agrícola

Fecha de recibido: 22-07-2024

Fecha de aceptado: 15-05-2025

DOI: 10.22490/26653176.8303

PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE LECHUGA (*LECTUCA SATIVA*) APROVECHANDO LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

**HYDROPONIC PRODUCTION OF LETTUCE (*LECTUCA SATIVA*)
TAKING ADVANTAGE OF RAINWATER HARVESTING**

Johan Hernán Martínez Laitón

Tecnólogo en Producción Agrícola y semillero en el semillero

Sembrando Nuevas Ideas Agroecológicas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

<https://orcid.org/0000-0001-5684-0998>

jhmartinezlai@unadvirtual.edu.co

Manuel Torres Torres

Ingeniero agrónomo, especialista en Ingeniería Ambiental, magíster

en Administración de Negocios y PhD en Ingeniería Ambiental.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

<https://orcid.org/0000-0001-6033-4799>

manuel.torres@unad.edu.co

Citación: Martínez Laitón, J.N. y Torres Torres, M. (2025).

Producción hidropónica de lechuga (*Lectuca sativa*)
aprovechando la captación de aguas lluvias.

Agricolae & Habitat, 8(2), (9-29). <https://doi.org/10.22490/26653176.8303>

RESUMEN

Contextualización: en el municipio de Saboyá, en la vereda Merchán, la agricultura tradicional continúa basada en las actividades agronómicas del modelo de la Revolución Verde, aplicando malas prácticas agrícolas, como el uso inadecuado de agroquímicos, que causa resistencias en los insectos, convirtiéndolos en plagas, y aumentan la propagación de enfermedades. Por otro lado, la utilización de fertilizantes sintéticos genera la degradación de los suelos, la pérdida de la microbiología, la alteración de su composición química y la generación de la desertificación de suelos, condiciones que no son aptas para producir alimentos sanos e inocuos y de manera sostenible.

Una alternativa de solución al problema presentado es la hidroponía. Esta es una forma de producir alimentos principalmente a partir de hojas y algunos pequeños árboles frutales. Esta alternativa presenta varias ventajas especialmente ambientales, pero también en la producción continua de alimentos limpios sin el uso de agroquímicos.

Vacío de conocimiento: la falta de conocimiento acerca de los sistemas alternativos de producción, como el hidropónico, para el manejo eficiente del recurso hídrico por parte del productor en la zona. Además, se evidencia el desconocimiento de la estrategia de la implementación de estrategias encaminadas a mejorar la disponibilidad del recurso hídrico en épocas de sequía. Finalmente, no existen estudios sobre la captación de aguas lluvia en zonas rurales del departamento de Boyacá.

Propósito: el propósito de investigación fue implementar un sistema hidropónico con el aprovechamiento del agua lluvia para la producción del cultivo de lechuga, como una alternativa para producir alimentos inocuos y sanos.

Metodología: se procedió a construir el sistema hidropónico; conociendo los costos de establecimiento en el sistema hidropónico implementado,

cuenta con una capacidad para producir 480 plantas simultáneamente. Para estas se realizó el ciclo de producción completo, desde la siembra, trasplante al sistema hidropónico y cosecha, con un tiempo total del ciclo de 60 días: 25 días en almácigo y 35 días de desarrollo en sistema hidropónico. Para la producción de la lechuga hidropónica es necesaria la utilización de diferentes materiales, algunos de estos son: solución nutritiva, espumas, reguladores de pH, entre otros. Con lo anterior, se tiene un plan de producción de lechuga hidropónica, con un tiempo estimado, un uso eficiente del agua, una producción de alimento en poco espacio, entre otros, esto con el fin de mostrar el proyecto a los interesados.

Resultados y conclusiones

Se obtuvieron los siguientes datos: el consumo de agua de la primera cosecha de lechuga hidropónica fue de 33 litros para el almácigo y 1445 litros para el sistema de producción hidropónico. En la segunda cosecha, el consumo de agua fue 42 litros para el almácigo y 1552 litros para el sistema de producción hidropónico. En la tercera cosecha, el consumo de agua fue de 33 litros para el almácigo y 1408 litros para el sistema de producción hidropónico.

Se concluyó que el aprovechamiento del espacio se utiliza de mejor manera en la hidroponía, ya que permite obtener muchas más cosechas de manera constante, sin correr el riesgo de que este pierda la fertilidad, como se puede presentar en los cultivos tradicionales que usan el suelo. Con el desarrollo del proyecto se comprobó que la hidroponía contribuye al mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y es una alternativa viable para mitigar el efecto del cambio climático.

Palabras clave: sistema hidropónico, solución nutritiva, regulador de pH, trasplante.

ABSTRACT

Contextualization: In the municipality of Saboya, in the Merchán area, traditional agriculture continues with agronomic activities of the green revolution model, applying bad agricultural practices, such as the inappropriate use of agrochemicals that cause resistance in insects, turning them into pests and the spread of diseases. On the other hand, the use of synthetic fertilizers generates soil degradation, the loss of microbiology, chemistry and the generation of soil desertification, which are not suitable conditions for producing healthy and safe food in a sustainable manner. An alternative solution to the problem presented is hydroponics, it is a way of producing food mainly from leaves and some small fruit trees, they present several advantages, especially environmental, but also in the continuous production of food produces clean food without the use of agrochemicals. A strategy as a contribution to reduce the negative environmental effects of traditional agriculture.

Knowledge gap: The lack of knowledge of alternative production systems, such as hydroponics, for efficient water resource management by producers in the area. The lack of awareness of strategies for implementing strategies aimed at improving water availability during droughts, and finally, the lack of studies on rainwater harvesting in rural areas of the department of Boyacá.

Purpose: The purpose of the research was to implement a hydroponic system with the use of rainwater for the production of lettuce crops, as an alternative to produce safe and healthy food.

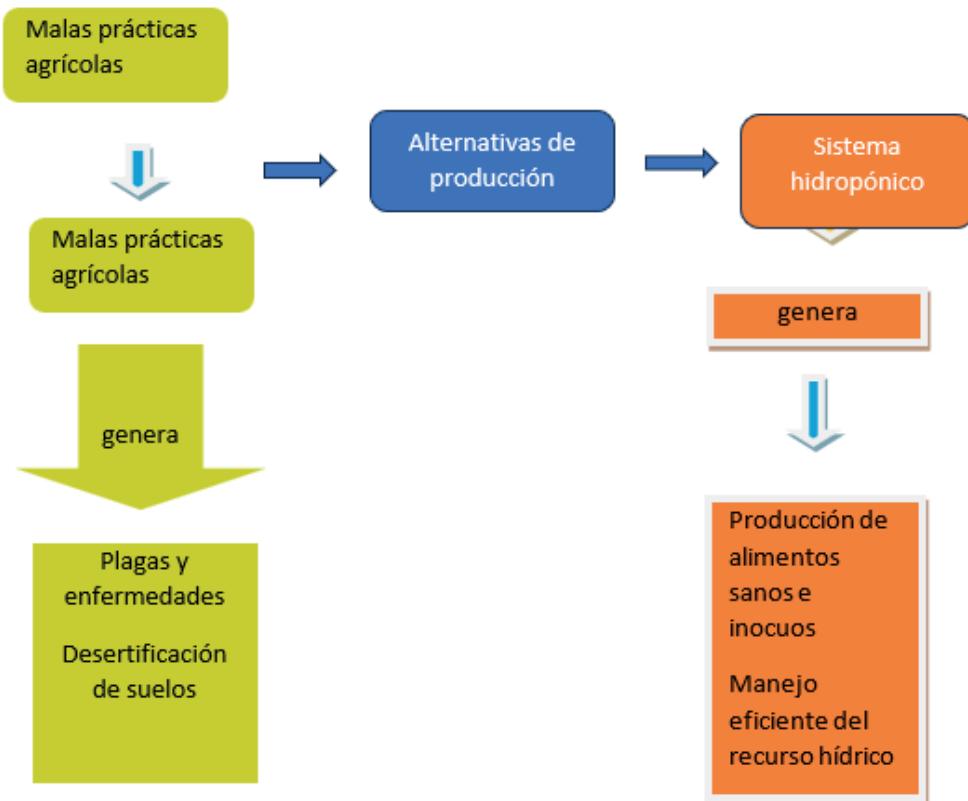
Methodology: The hydroponic system was built, knowing the establishment costs in the implemented hydroponic system, it has a capacity to produce 480 plants simultaneously, for these the complete production cycle was carried out, from sowing, transplanting to the hydroponic system and harvest, with a total cycle time of 60 days "25 days in seedbed and 35 days of development in a hydroponic system", for the

production of hydroponic lettuce it is necessary to use different materials, some of these are, nutrient solution, foams, pH regulators among others, with the above there is a hydroponic lettuce production plan, with an estimated time and efficient use of water, food production in less space among others, this in order to show the project to those interested.

Results and conclusions: The following data were obtained for water consumption of the first hydroponic lettuce harvest was 33 liters, in liters of water consumption for the seedbed and for the hydroponic production system was 1445 liters, for the second hydroponic lettuce harvest was 42 liters in water consumption for the seedbed, and for the hydroponic production system was 1552 liters, and for the third hydroponic lettuce harvest was 33 liters in water consumption for the seedbed, and for the hydroponic production system was 1408 liters, and it was concluded that the use of space is used in the best way in hydroponics, being able to obtain many more crops, and constantly, without running the risk of it losing fertility, as can occur in traditional crops that use the soil. With the development of the project, it was possible to verify that hydroponics contributes to the better use of water resources and is an alternative for the producer to mitigate the effect of climate change.

Keywords: hydroponic system, nutrient solution, pH regulator, transplant.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores

1. INTRODUCCIÓN

Según la FAO (2002), la agricultura utiliza dos tercios del agua utilizada por la humanidad y es, además, el principal agente contaminante de este recurso, debido al uso de diferentes productos químicos aplicados en el suelo, la salinización y otros factores que reducen notablemente el rendimiento de los cultivos.

El municipio de Saboyá, en la vereda Merchán, la agricultura tradicional continúa basada en las actividades agronómicas del modelo de la Revolución Verde, aplicando malas prácticas agrícolas, como el uso inadecuado de agroquímicos, que causa resistencias en los insectos, convirtiéndolo en plagas, y aumentan la propagación

de enfermedades. Por otro lado, la utilización de fertilizantes sintéticos genera la degradación de los suelos, la pérdida de la microbiología, la alteración de su composición química y la generación de la desertificación de suelos, condiciones que no son aptas para producir alimentos sanos e inocuos y de manera sostenible. En consecuencia, una alternativa de solución al problema presentado es la hidroponía, que es una forma de producir alimentos sanos e inocuos en forma continua.

El proyecto de investigación brinda la oportunidad de conocer y aprender otra manera de producir alimentos, mostrando que hay sistemas alternativos de producción destinados a cambiar la manera de cultivar de los productores. El diseño e implementación del sistema hidropónico

para la producción de lechuga se realizó utilizando agua de lluvia, la cual es captada y recolectada del techo de una vivienda rural, con el fin de aprovechar mejor el recurso hídrico. El sistema fue mixto tipo NFT, de estructura piramidal, capaz de soportar 480 plantas al mismo tiempo.

El manejo de un cultivo hidropónico es diferente al manejo tradicional de la producción, sin embargo, se requiere de una inspección diaria para tener buen resultado. En el cultivo de lechuga se requieren las actividades agronómicas para la producción, que empiezan desde la siembra y culminan con la cosecha.

Finalmente, el objetivo busca como resultado el aprovechamiento del espacio, el buen uso y aprovechamiento del agua, y la reducción de la contaminación por usos de productos agroquímicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los materiales y equipos necesarios para la producción de lechuga hidropónica

- **Bandejas de germinación:** se utilizan para la germinación de las semillas, ya que cuentan con alveolos divididos que permiten que cada semilla tenga un espacio independiente para su desarrollo en las etapas iniciales, facilitando además el trasplante sin que se dañen entre plantas.
- **Sustrato:** para la germinación de las semillas es necesario contar con unas óptimas condiciones para la semilla, como la correcta humedad, adecuada aireación, oxigenación y porosidad. Por lo tanto, es necesario contar con un buen sustrato que pueda otorgar estas condiciones; en este proyecto se utiliza la turba, un sustrato con buenas características que permite tener las condiciones ideales para la correcta germinación de las semillas.

- **Semilla:** en el sistema fue diseñado para el cultivo de lechuga, por lo que se utiliza semilla de esta especie. La variedad seleccionada es la lechuga verde crespa, ya que presenta mejor rendimiento y adaptación al método hidropónico.

- **Solución nutritiva:** como el cultivo, en sus fases importantes, no se desarrolla en suelo y, por tanto, no se pueden extraer los nutrientes para su desarrollo, es necesario proveérselos mediante una solución nutritiva. Esta contiene todos los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas —mayores y menores— en las cantidades exactas.

En el mercado se encuentran kits de soluciones nutritivas conformados por un kilo de elementos mayores (solución A) y un kilo de elementos menores (solución B). Cada kilo debe ser disuelto en cuatro litros de agua y se deben almacenar en un envase diferente. Este kit de solución nutritiva rinde aproximadamente para 1000 litros de agua. Además, se debe tener en cuenta la medición de conductividad eléctrica (EC), ya que a través de esta solución nutritiva es se suministran los nutrientes al cultivo.

- **Electroconductímetro:** es un equipo utilizado en la hidroponía para medir la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Al proporcionar los nutrientes de la solución A y B en el agua, se debe medir el rango de conductividad eléctrica para determinar si las plantas se pueden alimentar o si la solución puede ser tóxica para estas. Según Hernández Villaseñor (2022), el rango óptimo de conductividad eléctrica es de 0,75 a 2 mS/cm o de 750-1000 ppm. Por debajo de las 750 ppm, las plantas no logran absorber los nutrientes, mientras que por encima de 1500 ppm, la solución nutritiva llega a ser tóxica para las plantas. Por eso, es necesario contar

con este equipo para realizar una medición diaria de esos rangos. Por consiguiente, en el proyecto se utilizó un rango de 1200 ppm aproximadamente.

- **PH-metro digital:** así como es muy importante medir la electro conductividad, es más importante aún medir y estar al pendiente del pH, ya que este, como sabemos, es muy influyente en la absorción y disponibilidad de los nutrientes para las plantas. Por lo tanto, se necesita de una medición diaria para controlar que el pH esté en los rangos óptimos para una correcta absorción de los nutrientes.

Según Groho (2020), los rangos óptimos de pH son de 5.5 a 6.5, siendo el rango más óptimo de 5.8 a 6.0. En el proyecto se manejó un pH en los rangos más óptimos mediante mediciones diarias con un pH-metro digital y la aplicación de los correctivos necesarios para mantener el pH ideal. Para los ajustes, los productos que se utilizan son dos diferentes: uno para aumentar el pH y el otro para reducirlo, según las necesidades.

- **Hidróxido de potasio:** en este proyecto se utiliza el hidróxido de potasio como correctivo para el pH, específicamente para subir su valor cuando está por debajo del rango óptimo o en niveles ácidos. Debido a su alta alcalinidad, este producto no debe aplicarse puro, requiere una preparación previa, como la solución nutritiva. Para su elaboración, se disuelven 500 gramos de hidróxido de potasio en cuatro litros de agua; la cantidad depende del grado de acidez y el volumen de agua, pero se debe ir aplicando en pequeñas cantidades (mililitros) e ir revisando los niveles con el pH-metro digital.
- **Ácido nítrico:** para disminuir el pH, en el proyecto se utilizó el ácido nítrico, un producto muy eficiente para esta labor y,

además, económico. Se utiliza cuando el pH está sobre los parámetros normales, es decir, en niveles alcalinos, hasta alcanzar un rango ideal. Al igual que el hidróxido de potasio, este producto no se aplica puro a la solución nutritiva para bajar el pH, sino que se debe realizar una preparación previa.

El ácido nítrico es un producto muy ácido, así que, en un envase, se deben disolver 70 mililitros de ácido nítrico en cuatro litros de agua. Se debe tener especial atención en el manejo de este producto puro, ya que puede generar quemaduras; no obstante, después de haber realizado la mezcla el riesgo disminuye significativamente. La aplicación de la mezcla para bajar el pH se debe ir agregando en pequeñas cantidades (mililitros) e ir realizando mediciones con el pH-metro digital hasta llegar a los parámetros deseados, no se tiene la cantidad exacta de mezcla ácida a agregar, pues depende de la cantidad de agua y el nivel de alcalinidad que está presente.

- **Espumas para soporte:** para el trasplante de las plántulas de las bandejas de germinación hacia la tubería de cultivo, cada planta debe contar con algún tipo de soporte para que no se una al tubo y se mantenga fija en su lugar. Para esto, se pueden utilizar vasos o canastillas especiales, pero estas son un poco costosas, además, como permiten el ingreso de luz hacia el interior del tubo, favorecen la aparición de algas. Por ello, se utiliza una espuma con medidas de 6 cm de largo, 6 cm de ancho y 3cm de alto, la cual se sujetta perfectamente a cada hueco del tubo sin hundirse. Cada espuma tiene una pequeña apertura en la mitad donde se coloca la planta.

Las espumas favorecen a la planta ya que mantiene la humedad y el desarrollo ra-

dicular de las plántulas. Si bien se pueden encontrar en los mercados hidropónicos, como un método de reutilización y cuidado medio ambiental, se recomienda utilizar las espumas provenientes de colchones que ya cumplieron su ciclo de vida y que no tienen una disposición final. A estos colchones se le realizan distintos cortes con la medidas deseadas, contribuyendo así al cuidado del medio ambiente y a la reducción de costos del cultivo.

- **Bolsas o empaque para las plantas:** para la cosecha, poscosecha y comercialización del producto final (la lechuga), los mercados exigen que el producto esté empacado en una bolsa especial, por lo que es necesario la compra de estas bolsas para la lechuga hidropónica, las cuales están elaboradas con materiales biodegradables.

Materiales necesarios para la construcción del sistema de captación de agua

El sistema de captación se instaló en el techo de la casa ubicada en la finca, con el fin de aprovechar el agua lluvia que cae en el techo para captarla y recolectarla. En este caso, se utilizó un sistema de captación y almacenamiento proporcionado por la Corporación Autónoma Regional (CAR) de Cundinamarca, en su programa Lluvia para la Vida, donde se proporcionaron los diferentes materiales para la construcción de estos sistemas, los cuales son:

Canales: son plásticos de 3 metros, de una forma cuadrada y sin una cara, es por esta parte donde se recolecta el agua del techo.

Sopletes: son metálicos y tienen la función de sujetar los canales hacia el techo.

Bajantes: es un tubo cuadrado o redondo, su función es transportar el agua recolectada desde los canales hasta el sitio de almacenamiento.

Tanque: es de plástico y es utilizado para el almacenamiento del agua colectada; en este caso, el proyecto incluye un tanque de 1000 litros.

Metodología de la construcción del sistema hidropónico

Para la construcción del sistema hidropónico se inició con la selección de la parte del terreno donde se ubicó el sistema, para lo cual se analizaron los diferentes factores:

1. Sector más plano del terreno.
2. Sitio de más fácil acceso.
3. Lo posiblemente más cercano a la vivienda para el servicio de energía.
4. Lo más cerca del sistema de captación y almacenamiento de agua.
5. Sitio con una buena entrada de luz para el adecuado metabolismo de las plantas.

Construcción de la estructura o pirámides

Después de analizar los factores mencionados en el terreno, se procedió a seleccionar el sitio donde se establecería el sistema, iniciando con la construcción de la estructura. Para la construcción, con la madera de la finca se armó una estructura en forma de triángulo. Cada pirámide tuvo cinco triángulos de madera, ubicados a una distancia de 1,50 m entre uno y otro. El sistema implementado lo conforman dos pirámides, por lo que fue necesario construir diez estructuras en forma de triángulo, estas debían quedar correctamente alineadas y niveladas para sujetar los tubos. La estructura desarrollada en el proyecto quedó como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Estructura de madera formando el triángulo



Fuente: Autores.

Realización del sistema de alimentación

Para la alimentación del sistema hidropónico o el bombeo de la solución nutritiva, fue necesaria la construcción de un sistema de distribución que permitiera conducir la mezcla desde el tanque de almacenamiento hacia los tubos de cultivo. En el tanque se ubicó la bomba utilizada, a la que se le conectó una manguera lechosa de $\frac{3}{4}$ pulgadas, la cual se dirige de manera vertical desde el tanque o de la bomba hasta el nivel de los tubos más altos.

En este punto, se instaló una T que distribuye el agua hacia los dos lados, donde se ubica cada pirámide, y se colocaron dos llaves —una en cada salida de la T— para permitir cerrar o abrir el flujo de solución nutritiva hacia cada una de las pirámides. A un metro de la primera T, hacia ambos lados, se agregó la segunda T, la cual alimenta los primeros dos tubos (uno por cada lado de las pirámides). Desde la segunda T la manguera continua 70 cm hasta el otro tubo, donde se conecta para alimentar otro tubo y el lado opuesto de la pirámide.

En medio de este tramo se añadió otra llave para controlar que el flujo de solución nutritiva sea

igual hacia los dos lados de la pirámide. Con este sistema de distribución se alimentan dos tubos de cada pirámide, para un total de cuatro tubos en todo el sistema. Cada uno de estos tubos tiene la función de alimentar a los tres restantes de cada lado. El sistema de alimentación se muestra en la figura 2.

Figura 2. Tubería colocada y amarrada hacia la estructura piramidal



Fuente: Autores

Realización del sistema de drenaje

El sistema de drenaje es el encargado de circular la solución nutritiva, alimentando del primer tubo al segundo, del segundo al tercero, del tercero al cuarto y, por último, el retorno de la solución nutritiva desde el cuarto tubo al tanque.

Para la construcción de este sistema se utilizaron tapas de 3 pulgadas, una manguera de lavadora y silicona de poliuretano. Con la ayuda de un taladro y una broca o copa sierra de 32 mm, se realizó una perforación hacia un extremo de la circunferencia de la tapa. Luego, se cortó un trozo de manguera de unos 40 cm y se pegó uno de los extremos con la silicona de poliuretano hacia la perforación de la tapa. El otro extremo se adhirió de la misma manera a otra tapa, permitiendo así conectar dos tubos entre sí.

Se repitió el mismo proceso para todos los tubos, excepto para un extremo del último, donde únicamente se colocó una tapa. El otro extremo de la manguera se dirigió hacia el tanque de almacenamiento, por donde retorna la solución nutritiva.

Figura 3. Tapas y manguera de drenaje encargadas de la recirculación



Fuente: Autores

Obtención de un sistema hidropónico

Con la realización de los procesos de construcción mencionados se obtiene la construcción del sistema hidropónico. Este es un sistema realizado a bajo costo, ya que algunos de los materiales utilizados se encontraban disponibles en la finca, como es el caso de la madera utilizada para la estructura de este. Además, se recurrió al uso de materiales reciclables, como es el caso de las

bandas elásticas que habían cumplido su función en las llantas de los automóviles. En lugar de desechárlas —lo que implicaría contribuir a la contaminación medio ambiental—, en este proyecto se les dio una disposición final útil, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y reduciendo costos en el sistema, especialmente en la parte de amarre de la tubería de cultivo.

Como resultado final, se obtuvo un sistema hidropónico tipo NFT mixto, de tipo piramidal recirculante. En el sistema piramidal se aprovecha el espacio, mientras que el sistema NFT brinda la recirculación de la solución nutritiva cada cierto tiempo, así como también mantiene porción de la solución nutritiva en la tubería para que las plantas se alimenten durante los períodos sin riego. De esta forma, si se presentan fallas en el servicio de energía, las plantas pueden contar con solución nutritiva para su nutrición mientras no haya servicio de energía para el funcionamiento de la bomba.

Como producto final, se tiene un sistema hidropónico conformado por dos pirámides. Cada pirámide soporta ocho tubos cultivo, distribuidos en cuatro tubos a cada lado de la pirámide, obteniendo un sistema hidropónico compuesto por diecisésis tubos en total. Como se mencionó, cada tubo tiene la capacidad de soportar 30 plantas, por lo que en el sistema se cuenta con una capacidad de soporte para 480 plantas de manera simultánea.

Para el sistema hidropónico se cuenta con un sistema de bombeo, que está conformado por un tanque de almacenamiento de 500 L, una bomba sumergible encargada de la distribución de la solución nutritiva y demás accesorios que hacen posible la distribución de la solución nutritiva, la recirculación y el retorno de esta hacia el tanque de almacenamiento.

Figura 4. Sistema hidropónico construido en producción



Fuente: Autores

Producción de lechuga en el sistema hidropónico realizado

Para la producción del cultivo de lechuga hidropónica, es necesario implementar diferentes procesos, materiales y equipos importantes que garanticen un correcto desarrollo del cultivo. La producción de lechuga hidropónica no abarca todo el ciclo de vida de la planta dentro del sistema hidropónico, es decir, la siembra de la lechuga no se hace directamente en el sistema hidropónico. En la etapa inicial —que comprende la siembra, la germinación y el comienzo del desarrollo vegetal— el cultivo se lleva a cabo en almácigos.

Se puede decir que la producción de lechuga hidropónica tiene dos fases: la fase de almácigo y la de trasplanté y desarrollo en el sistema hidropónico. En la etapa de almácigo no se necesita del sistema hidropónico; este se utiliza en la etapa de trasplanté definitivo, donde la planta completa su desarrollo hasta la cosecha.

A continuación se describen cada uno de los procesos para la producción de la lechuga hidropónica, así como los materiales y equipos necesarios.

Proceso de producción de la lechuga hidropónica

Siembra

Para iniciar el ciclo de cualquier cultivo se debe realizar la siembra. Para el caso de la lechuga hidropónica, en este proyecto el proceso de la siembra se realiza de la siguiente manera:

1. Se desinfecta la bandeja de germinación utilizando agua con desinfectante. Esto puede ser con cloro al 10 % para evitar posibles patógenos que se alberguen en la bandeja.
2. Se prepara el sustrato. Como se utiliza la turba, esta se debe humedecer agregando agua lentamente, de manera que obtenga un nivel de humedad óptimo, ni muy húmedo ni muy seco, facilitando así el manejo de la turba.
3. Se agrega la turba preparada a la bandeja de germinación. Con las manos se esparce suavemente por todos los alveolos, sin generar presión, para evitar compactación y mantener una buena porosidad y aireación.

4. Con la ayuda de cualquier material, puede ser un trozo pequeño de madera previamente desinfectado, se realiza un pequeño hueco en la turba para cada uno de los alveolos de la bandeja.
5. Por último, se agrega una semilla de lechuga en cada uno de los huecos realizados en cada alveolo. Luego, se cubren todos los huecos y las semillas con una fina capa del sustrato, con ayuda de un aspersor de gota fina, se rocían con agua y se guarda la bandeja en un lugar fresco, preferiblemente a oscuras.

Figura 5. Bandejas de germinación sembradas



Fuente: Autores

Luego de haber realizado los cinco pasos de la siembra y haber guardado la bandeja sembrada en un lugar fresco y oscuro, se debe supervisar diariamente y realizar una leve aspersión de agua. Al tercer o cuarto día las semillas empiezan a brotar del sustrato; es ahí donde se debe sacar la bandeja a un lugar con entrada de luz, ya que, si se deja la bandeja por más tiempo a oscuras, las plantas comienzan un proceso de etiolación, donde el tallo se puede alargar y crecer muy delgado. Esto se da por el fototropismo, que es la búsqueda de luz por parte de las plantas.

Desarrollo vegetativo en almácigos

Luego de la siembra y germinación, comienza el desarrollo de las plántulas en almácigos. Se debe regar durante los primeros cinco días después de sacar las bandejas a la luz, y luego comienza un proceso de adaptación a la hidroponía. El almácigo cuenta con las siguientes medidas: 90 cm de largo, 60 cm de ancho y 10 cm de alto, y se recubrió con un plástico.

Figura 6. Bandejas de germinación en la piscina de almácigos



Fuente:Autores

En esta esta etapa, se agrega una capa de solución nutritiva en rangos requeridos de pH y Conductividad Eléctrica, CE, y se colocan las bandejas de germinación. Como estas bandejas cuentan con unos orificios por la parte de debajo de cada alveolo, permiten que la solución nutritiva ingrese y, por capilaridad, suba por el alveolo y el sustrato hasta llegar a la raíz. De esta manera, las plántulas se empiezan a alimentar de la solución nutritiva desde los 8 o 9 días después la siembra. En las bandejas de germinación y con este sistema de alimentación, las plántulas pueden durar de 25 a 30 días después de la siembra, con un monitoreo diario de parámetros; es ahí donde ya estarán listas para la siguiente etapa: el trasplante.

Figura 7. Desarrollo de las plantas durante las cuatro semanas después del trasplanté



Fuente: Autores

En la semana cuatro, las plantas comienzan a mostrar su tamaño de comercialización, presentan un buen porte grande y aún continúan en su crecimiento para llegar al tamaño ideal exigido por los mercados.

Cosecha

El momento de la cosecha de la lechuga hidropónica se da entre las 5 o 6 semanas después del trasplante. Es en este momento donde las plantas cuentan con el tamaño ideal exigido por los mercados. El proceso de cosecha se hace de manera manual: se levantan las hojas de la lechuga y se sujetan el tallo, agarrando parte de este y de la espuma colocada en el trasplanté. Una vez sujetada esta parte de la planta, se tira levemente hacia arriba; de esta manera, la planta sale completa con todo y sus raíces. No se debe inclinar la planta hacia los lados al momento de tirarla, ya que podría romperse el tallo y quedar las raíces dentro del tubo.

Figura 8. Lechuga recién cosechada



Fuente: Autores.

Figura 9. Producto en canastillas apto para la comercialización



Fuente: Autores.

El producto es almacenado en canastillas para facilitar el proceso de transporte hacia los lugares de comercialización, así también el producto mantiene sus condiciones y no se maltrata en el transporte.

Comercialización

Al inicio, la comercialización fue un poco difícil, ya que no se tenía a quién venderle el producto, puesto que era nuevo en el mercado de la lechuga y no se tenía idea de cómo se manejaba este. Por ello, lo primero que se procedió a realizar fue una pequeña investigación del mercado donde, gracias al contacto con amigos, se pudo encontrar clientela que comprara el producto. También, se utilizó el uso de las tecnologías actuales para la venta del producto, como es el caso de la tienda Marketplace de la red social Facebook, por medio de la cual se publicó el producto y, afortunadamente, hubo varios interesados en adquirirlo. El producto se utiliza en ensaladas, en la elaboración de comidas rápidas, entre otros usos.

El precio por unidad es de 1100 pesos, y si es para sitios de comidas rápidas, varía entre 1200 a 1300 pesos. La mayor parte del producto se comercializa en Fruver, ya que es allí donde se concentra la mayor demanda.

Los días de comercialización dependen del mercado. Normalmente, para los Fruver, en la ciudad

de Chiquinquirá se manejan los siguientes días de mercado: martes en la tarde o miércoles en la mañana y sábado en la tarde o domingo en la mañana. Generalmente, se acostumbra a comercializar la lechuga los días miércoles y domingo en la mañana. De igual forma, se aprovechan esos días para comercializarla también en los restaurantes o sitios de comidas rápidas, aunque en estos sitios se puede comercializar cualquier día de la semana.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aspectos de los resultados obtenidos se centraron en el aprovechamiento de agua como recurso primordial, especialmente en estos tiempos en que los efectos del cambio climático hacen necesario el manejo óptimo del recurso hídrico. Otro aspecto relevante fue el de los costos. El rendimiento y la eficiencia del uso del agua para la producción de lechuga oscilaron entre 0.10 y 1.20 kg m⁻², así como de 0.21 a 2.93 kg m⁻³ de agua, respectivamente (Fernández et al., 2023).

Los trabajos de investigación sobre captación de aguas lluvias aplicada a cultivos hidropónicos están relacionados a la agricultura urbana, como el de Martínez y Garibello (2021), donde se plantea la idea de desarrollar un prototipo de sistema de

captación de aguas lluvias que, a su vez, alimente un cultivo de tipo hidropónico que puede emplearse de manera urbana. Es decir, está pensado principalmente para las ciudades, aunque determina la cantidad de agua requerida por el cultivo hidropónico, lo cual no se había realizado previamente.

Otro aspecto a determinar fueron los costos necesarios para la construcción del sistema hidropónico. Cuando se habla de los costos requeridos, se hace referencia a todos aquellos materiales y equipos que fueron necesarios para la construcción y el funcionamiento del sistema hidropónico realizado. A continuación, se presenta una lista

de los materiales y equipos utilizados.

Consumo de agua en la producción de 480 lechugas en hidroponía

Para conocer el consumo de agua de la lechuga hidropónica, se dividió el proceso en dos fases: 1) la fase de almácigos, que está conformada por las primeras cuatro semanas de desarrollo de las plántulas, y 2) la fase de desarrollo en el sistema hidropónico, conformada por seis semanas después del trasplante. Los datos de consumo de agua o solución nutritiva fueron recolectados durante tres cosechas. A continuación, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Datos de consumo recolectados durante tres cosechas

Consumo de agua de la lechuga hidropónica durante 3 cosechas			
Cosecha	Semana	Unidad de medida	Etapa de almácigos en 480 plantas
			Consumo
1	1	litros	5
	2	litros	8
	3	litros	10
	4	litros	12
	Total de consumo en almácigo		35
	Consumo en sistema hidropónico		
	1	litros	50
2	2	litros	150
	3	litros	200
	4	litros	260
	5	litros	330
	6	litros	420
	Total del consumo en hidropónico		1410
Consumo total del cultivo			1445

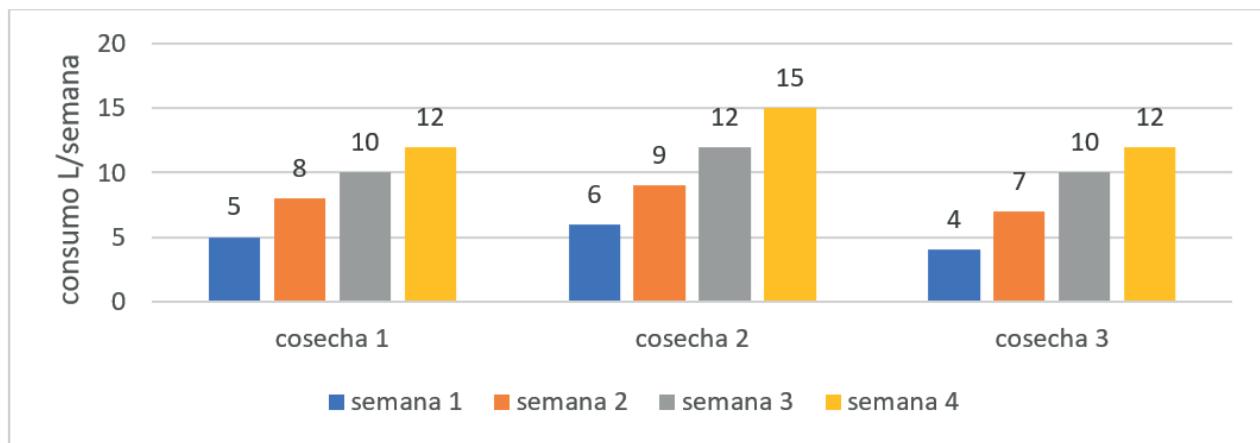
		Etapa de almácigos en 480 plantas	
Cosecha	Semana	Unidad de medida	Consumo
2	1	litros	6
	2	litros	9
	3	litros	12
	4	litros	15
	Total de consumo en almácigo		42
	Consumo en sistema hidropónico		
	1	litros	65
	2	litros	155
	3	litros	215
	4	litros	280
	5	litros	345
	6	litros	450
	Total de consumo en hidropónico		1510
	Consumo total del cultivo		1552

		Etapa de almácigos en 480 plantas	
Cosecha	Semana	Unidad de medida	Consumo
3	1	litros	4
	2	litros	7
	3	litros	10
	4	litros	12
	Total de consumo en almácigo		33
	Consumo en sistema hidropónico		
	1	litros	55
	2	litros	140
	3	litros	195
	4	litros	250
	5	litros	325
	6	litros	410
	Total consumo en hidropónico		1375
	Consumo total del cultivo		1408

Fuente: autores

En la tabla 1 se muestran los datos de consumo recolectados durante las tres cosechas. Estos están divididos para cada una de las etapas de almácigo y desarrollo en el sistema hidropónico,

para que la información presentada en la tabla 6 sea más fácil de comprender. A continuación, se muestra consignada en gráficas.

Figura 10. Consumo de solución nutritiva en almácigos

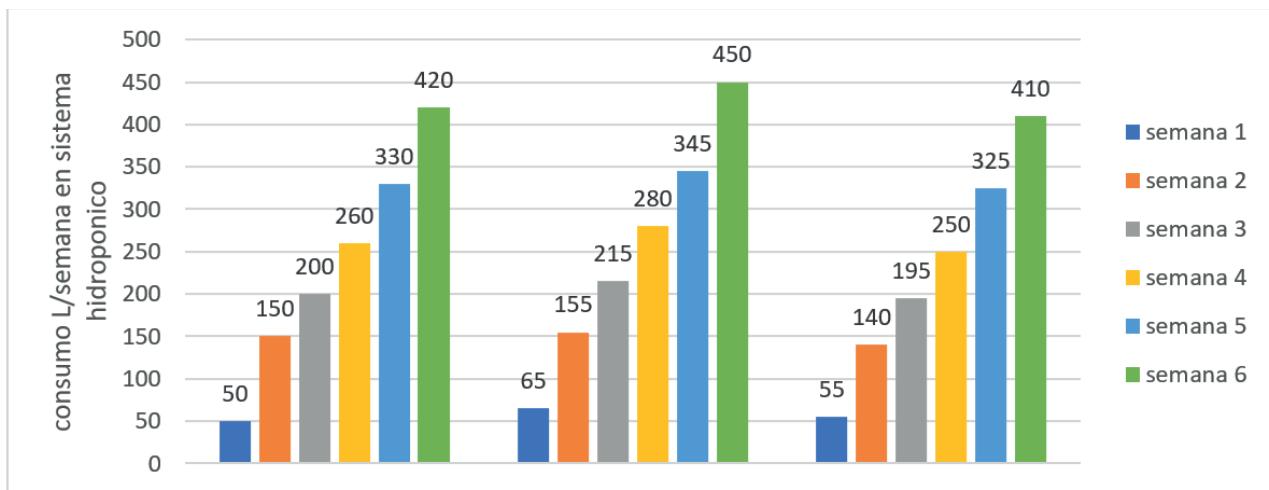
Fuente: Autores.

En la figura 10 se muestra el consumo de las plántulas de lechuga en cada cosecha. Para la etapa de almácigos, se muestra el consumo en litros correspondiente a cada una de las semanas de desarrollo. Se evidencia un consumo similar para cada una de las cosechas durante sus cuatro semanas de desarrollo, siendo evidente un mayor consumo en la cosecha 2, con un consumo total de 42 litros en la etapa de almácigo. La cosecha en la que se registró el menor consumo fue en la

cosecha 3, con un total de 33 litros. Con estos datos, se puede obtener un promedio del consumo en almácigo para las tres cosechas, para lo cual se realiza el siguiente cálculo:

$$(35+42+33)/3=110/3=36.6$$

El promedio de consumo en la etapa de almácigos fue de 36,6 litros.

Figura 11. Consumo de solución nutritiva en el desarrollo del sistema hidropónico

Fuente: autores.

En la figura 11 se muestra el consumo de solución nutritiva registrado durante las tres cosechas para la etapa de desarrollo en el sistema hidropónico, que estuvo conformada por seis semanas después del trasplante. A primera vista, en la gráfica se observa un consumo mucho mayor que en la fase de los almácigos; esto se debe a que las plantas estarían mucho más grandes que en la fase anterior. Se evidencia un aumento significativo en el consumo semana a semana, puesto que las plantas crecen y, por siguiente, su consumo es mayor. Al igual que en la etapa de almácigos, el mayor consumo se presentó en la cosecha 2 con un total de 1510 litros, y el menor

consumo se presentó en la cosecha 3 con un total de 1375 litros. El promedio de consumo en la etapa de desarrollo en el sistema hidropónico fue de:

$$(1410+1510+1375)/3=4295/3=1431.6$$

Consumo total del cultivo

El consumo total del cultivo, desde la etapa de almácigos hasta el desarrollo en el sistema hidropónico y la cosecha, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2. Consumo total de la lechuga hidropónica en 480 plantas

Consumo total de la lechuga hidropónica en 480 plantas

		Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3
Almácigo	semana 1	5	6	4
	semana 2	8	9	7
	semana 3	10	12	10
	semana 4	12	15	12
Hidropónico	semana 5	50	65	55
	semana 6	150	155	140
	semana 7	200	215	195
	semana 8	260	280	250
	semana 9	330	345	325
	semana 10	420	450	410
Consumo total		1445	1552	1408

Fuente: autores

En la tabla 2 y la figura 12 se muestra el consumo total de las cosechas. Para la cosecha 1, se tuvo un consumo total de 1445 litros; para la cosecha 2, un consumo total de 1552 litros, siendo la cosecha con mayor consumo; y para la cosecha 3, se tuvo el menor consumo, con un total de 1408 litros. El promedio de consumo total se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$(1445+1552+1408)/3=4405/3=1468.6$$

Por lo tanto, el promedio de consumo de solución nutritiva en 480 plantas de lechuga durante todo su ciclo de vida fue de 1468,6 litros.

Plan de producción de lechuga hidropónica

A continuación, se muestra una infografía que representa un plan de producción de lechuga hidropónica. Este plan expone, de manera breve, cada una de las actividades a seguir para poder producir lechuga, así como algunos rangos para tener en cuenta en el cultivo. Está dirigido a las personas interesadas en implementar un cultivo hidropónico, ya sean estudiantes de agronomía o alguna carrera afín con el tema, egresados, agricultores de la zona, entre otros. Además, resulta ser una guía básica de labores y manejo del cultivo de lechuga en condiciones de hidroponía en el sistema hidropónico NFT mixto.

Tabla 3. Costos de materiales y equipos del sistema hidropónico

Nombre de elemento	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tubos 3" * 6m	Unidad	16	\$ 26.000	\$ 416.000
Tapas para tubo de 3"	Unidad	32	\$ 1.000	\$ 32.000
Puntillas de 4"	Kilogramos	2	\$ 8.000	\$ 16.000
Bandas elásticas de "neumático"	Unidad	1	\$30.000	\$30.000
Manguera de drenaje	Metros	11	\$ 4.000	\$ 44.000
Silicona de poliuretano	Unidad	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Tanque de 500 litros	Unidad	1	\$ 190.000	\$190.000
Manguera lechosa ¾"	Metros	6	\$ 2.500	\$ 15.000
Tes de ¾"	Unidad	3	\$ 1.000	\$ 3.000
Llave de ¾"	Unidad	4	\$ 4.000	\$ 16.000
Adaptadores machos para llave	Unidad	8	\$ 1.000	\$ 8.000
Bomba sumergible	Unidad	1	\$170.000	\$ 70.000
Extensión para intemperie	Unidad	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Cronómetro digital	Unidad	1	\$ 38.000	\$ 38.000
Broca de 2"	Unidad	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Broca de 1 ¼"	Unidad	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Valor total de todos los elementos necesarios				\$1.118.000

Fuente: autores.

En la tabla 3, se muestran los materiales necesarios para la construcción y funcionamiento del sistema hidropónico realizado en este proyecto. Se observa la cantidad requerida de estos, el valor unitario y el valor total. Como resultado final, los costos necesarios ascienden a un valor total de \$1.118.000 pesos colombianos. Se debe tener en cuenta que en este valor solo se contemplaron los costos del sistema hidropónico, de establecimiento y de equipos y materiales para el funcionamiento del sistema, por lo que dentro de este valor no están incluidos los costos de producción y de equipos y materiales necesitados para la producción.

Si se compara este costo con el costo de establecimiento de un sistema aeropónico, el sistema que se realizó es más económico, ya que, para implementar un sistema aeropónico con la capacidad de producir 400 plantas, se tendría que contemplar un valor de \$2.500.000 aproximadamente, porque este necesita más equipos y otros elementos. Si se compara el costo con un sistema raíz flotante, los costos serían similares al sistema implementado.

Costos de los materiales y equipos de producción

Tabla 4. Precios de los materiales y equipos utilizados en la producción de lechuga hidropónica

Nombre de elemento	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Bandejas de germinación	Unidad	4	\$ 8.000	\$ 32.000
Sustrato	Kilogramo	1	\$ 6.000	\$ 6.000
Semilla	Gramo	1	\$ 3.000	\$ 3.000
Solución nutritiva	Kit	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Electro conductímetro	Unidad	1	\$ 40.000	\$ 40.000
pH-metro digital	Unidad	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Hidróxido de potasio	Kilogramo	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Ácido nítrico	Galón	1	\$ 20.000	\$ 20.000
Espumas	Unidad	1	\$ 26.000	\$ 26.000
Bolsas de cosecha	Unidad	1	\$ 75.000	\$ 75.000

Fuente: autores.

En la tabla 4 se muestra el precio de los productos utilizados en la producción de lechuga hidropónica. Esta tabla no hace referencia a los costos de producción para una cosecha en nuestro sistema

hidropónico, ya que algunos de los productos que se encuentran en la tabla 4 solo se compraron una vez y se pueden utilizar en muchas cosechas.

Tabla 5. Productos compra única para la producción hidropónica

Nombre de elemento	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Bandejas de germinación	Unidad	4	\$ 8.000	\$32.000
Electro conductímetro	Unidad	1	\$ 40.000	\$ 40.000
pH-metro digital	Unidad	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Valor total de los productos de única compra				\$ 102.000

Fuente: autores.

En la tabla 5 se presenta el valor por compra de los productos que se requieren para la producción hidropónica, pero que se compraron una única vez. Esto significa que no se necesita comprar uno de estos para cada cosecha; por lo tanto, se pueden categorizar como costos de establecimiento sumados a los costos obtenidos en la tabla 5.

Con los datos presentados en la tabla 3, se pueden conocer los costos de producción para las 480 lechugas en el sistema hidropónico realizado en el proyecto, sabiendo que las bandejas de germinación y los medidores de pH y CE no entran en los costos de producción. En el caso del hidróxido de potasio, se necesita $\frac{1}{2}$ kilogramo del kilogramo completo presentado en la tabla 4, por lo que, teniendo en cuenta el valor del kilo a \$25.000, estaríamos gastando \$12.500. Para el caso del ácido nítrico se necesitan solo 70 mililitros de los 4000 que trae el galón observado; el galón tiene un costo de \$20.000, por lo que el costo del mililitro sería de:

$$20000/4000 * 70 = 350$$

El mililitro de ácido nítrico tiene un costo de \$5 pesos colombianos; entonces, como se necesitan 70 mililitros para hacer la mezcla de la solución ácida, esto tendría un costo de \$350 pesos. Además, una sola mezcla es suficiente para la cosecha de las 480 plantas.

El precio de las bolsas para la cosecha y comercialización de la lechuga se muestra en la tabla 3, que tienen un costo de \$75.000 pesos colombianos; este costo es para 1000 bolsas, por lo que el costo de unidad es de \$75.

El costo de la espuma presentado en la tabla 3 equivale a una lámina completa, de la cual se obtienen todas las espumas necesarias para una cosecha, es decir, para las 480 plantas.

En la tabla 6 se muestran los costos reales obtenidos en el sistema hidropónico elaborado en el proyecto, correspondientes a las cosechas ya finalizadas. Estos costos se pueden reducir en \$26.000, gracias a la reutilización de las espumas de colchones usados, quedando así los costos de producción de la siguiente manera:

Tabla 6. Costos de producción reales para una cosecha de 480 lechugas hidropónicas

Nombre de elemento	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Sustrato	Kilogramo	1	\$ 6.000	\$ 6.000
Semilla	Gramo	1	\$ 3.000	\$ 3.000
Solución nutritiva	Kit	3	\$30.000	\$ 90.000
Hidróxido de potasio	Kilogramos	½	\$25.000	\$ 12.500
Ácido nítrico	Mililitros	70	\$ 5	\$ 350
Espumas	Unidad	1	\$ 26.000	\$ 26.000
Bolsas de cosecha	Unidad	480	\$ 75	\$ 36.000
Valor total de los costos de producción para 480 lechugas hidropónicas				\$ 173.850

Fuente: autores.

Tabla 7. Costos de producción utilizando espumas de colchones usados

Nombre de elemento	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Sustrato	Kilogramo	1	\$ 6.000	\$ 6.000
Semilla	Gramo	1	\$ 3.000	\$ 3.000
Solución nutritiva	Kit	3	\$30.000	\$ 90.000
Hidróxido de potasio	Kilogramos	1	\$25.000	\$ 12.500
Ácido nítrico	Mililitros	70	\$ 5	\$ 350
Bolsas de cosecha	Unidad	480	\$ 75	\$ 36.000
Costos de producción totales con ahorro en el gasto de espumas				\$ 147.850

Fuente: autores.

CONCLUSIONES

La hidroponía ayuda a producir cultivos de manera más rentable por su método de nutrición; el ahorro de fertilizantes es más eficiente y, además, no se utilizan productos agroquímicos para el control de enfermedades y plagas, lo que genera una reducción significativa de los costos de producción.

El aprovechamiento del espacio en la hidroponía se utiliza de la mejor manera, pudiendo sacar muchas más cosechas, de manera constante, sin correr el riesgo de que este pierda la fertilidad, como se puede presentar en los cultivos tradicionales que usan el suelo.

La hidroponía es una alternativa que se puede utilizar tanto para reducir el impacto de la agricultura tradicional como para la producción de alimentos sostenibles que contribuyan con la seguridad alimentaria de la región, dado que la comunidad consumidora es cada vez más exigente con alimentos sanos e inocuos.

Con el desarrollo del proyecto se pudo comprobar que, efectivamente, la hidroponía sí contribuye al mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y constituye una alternativa viable para que el productor mitigue el efecto del cambio climático.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis y toma de datos, conceptualización, logística, adquisición de recursos, escritura y borrador original.

Segundo autor: investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Abierta y a Distancia (UNAD) por abrirnos sus puertas y facilitarnos la oportunidad de publicar este artículo. De igual forma, a los docentes de esta prestigiosa institución educativa, especialmente a los docentes y monitores del Centro de Educación Abierta y Distancia (CEAD) de Chiquinquirá.

LITERATURA CITADA

Fernández, H. A., Salazar-Moreno, R., Fitz-Rodríguez, E., López Cruz, I. L., Schmidt, U. y Dannehl, D. (2023). Rendimientos y eficiencia en el uso del agua de lechuga y tomate cherry en jardines urbanos. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 14(5), 220–256. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9080786>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2002). Despilfarro y mal uso del agua. In Agua y Cultivos. FAO. <https://www.fao.org/4/y3918s/y3918s05.htm>

GroHo. (2020, 6 de mayo). *Perfeccione el pH de la solución nutritiva*. Blog GroHo. <https://www.groho.es/post/perfeccione-el-ph-de-la-solucion-nutritiva>

Hernández Villaseñor, R (2022). ¿Qué es la conductividad eléctrica? Hydro Environment. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=35

López, c. (2001, 11 de abril). *Conceptos básicos de producción*. GestioPolis. <https://www.gestiopolis.com/conceptos-basicos-produccion/>

Marín Suárez, J. C. y Garibello Amaya, K. C. (2021). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias con aplicación a un cultivo hidropónico en una vivienda urbana* [Trabajo de grado de pregrado]. Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería. <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/610b3fd5-9c35-4f7c-9b6e-2ba11c8f1f40>



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.