

**DETALLAR EL DESARROLLO DE UN CULTIVO DE CILANTRO (Coriandrum  
sativum) EN UN SISTEMA AEROPÓNICO AUTOMATIZADO**

**YEIMI MARCELA AVILEZ BEDOYA**

**PROYECTO APLICADO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO**

**AMBIENTE**

**PROFESIONAL EN AGRONOMIA**

**IBAGUE – TOLIMA**

**2019**

**DETALLAR EL DESARROLLO DE UN CULTIVO DE CILANTRO (*Coriandrum  
sativum*) EN UN SISTEMA AEROPÓNICO AUTOMATIZADO**

**YEIMI MARCELA AVILEZ BEDOYA**

**OPCION DE GRADO**

**PROYECTO APLICADO**

**ASESOR: INGENIERO FRANCISCO JOSE MONTEALEGRE**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO**

**AMBIENTE**

**PROFESIONAL EN AGRONOMIA**

**IBAGUE – TOLIMA**

**2019**

**Nota de aceptación**

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

## RESUMEN ANALÍTICO ESPECIALIZADO RAE<sup>1</sup>

<b>Tema</b>	Desarrollo rural
<b>Título</b>	Detallar el desarrollo de un cultivo de cilantro ( <i>coriandrum sativum</i> ) en un sistema aeropónico automatizado
<b>Autores</b>	Yeimi Marcela Avilez Bedoya
<b>Fuente bibliográfica</b>	<p>Se referencia 38 fuentes bibliográficas, algunas que mencionan la temática principal son:</p> <p>Aquino, Y. R. (2013). SISTEMAS AEROPONICOS EN AGRICULTURA PROTEGIDA. Especialización en Química Aplicada, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. Obtenido de <a href="https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/420/1/Ye%20sica%20Rendon%20Aquino.pdf">https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/420/1/Ye sica%20Rendon%20Aquino.pdf</a></p> <p><u>Castillo, Y. D. (2018). EVOLUCION DE LA AEROPONÍA EN COLOMBIA COMO INNOVACION AMBIENTAL. Tesis, Ibagué-Tolima. Obtenido de <a href="https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/21077/1/1110479431%20.pdf">https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/21077/1/1110479431 %20.pdf</a></u></p> <p><u>Chicangana, D., Salvador, M., &amp; Zapata, A. (s.f.). Evaluación de densidades de siembra en dos cultivos de cilantro “CEUNP” (Primera parte). AgroSintesis. Recuperado el 31 de Julio de 2019, de <a href="http://www.culturaorganica.com/html/articulo.php?ID=184">http://www.culturaorganica.com/html/articulo.php?ID=184</a></u></p> <p><u>FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). FAO. Obtenido de <a href="http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf">http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf</a></u></p> <p><u>Gobernación del Tolima (2013), Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Tolima, PECTIT 2020.</u></p> <p><u>Hoyos, F., Cándelo Becerra, J., &amp; Chavarría, H. (2018). Automatización de cultivos de cilantro aeropónico sin pesticidas. INGE CUC, 15(1), 123-132. Obtenido de <a href="https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/download/1949/2093?inline=1">https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/download/1949/2093?inline=1</a></u></p>

	<p><u>IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (septiembre de 2007). IICA. Obtenido de <a href="http://repiica.iica.int/docs/B3444e/b3444e.pdf">http://repiica.iica.int/docs/B3444e/b3444e.pdf</a></u></p> <p><u>Martínez, Peñaloza, P.A. (2013). AEROPONIA COMO METODO DE CULTIVO SOSTENIBLE, RENTABLE E INCLUYENTE EN BOGOTA D.C, COLOMBIA. Universidad Piloto de Colombia. [PDF]. Recuperado de: <a href="http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000864.pdf">http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000864.pdf</a></u></p>
<b>Año</b>	2019
<b>Resumen</b>	<p>La Aeroponía es una técnica de cultivo en la cual las plantas se desarrollan en el aire sin hacer uso del suelo, este método de agricultura presenta varias ventajas como, por ejemplo; el máximo aprovechamiento del recurso hídrico, menor tiempo en producción, manejo focalizado de plagas y enfermedades, lo que permite una disminución en el uso de agroquímicos entre otras, actualmente se implementó un prototipo automatizado bajo esta técnica como objeto de estudio, empleando el Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) como especie de gran importancia comercial, culinaria y medicinal.</p> <p>El presente proyecto aplicado da a conocer el proceso llevado a cabo de la siembra en un metro cuadrado como muestra, de las plantas de Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) en el prototipo Aeropónico comparado con un sistema de siembra tradicional (suelo), durante dos cosechas en cada técnica, allí se evaluó el comportamiento que tuvieron las plantas con variables controladas y monitoreadas mediante una interfaz gráfica y no controladas en suelo, obteniendo resultados muy interesantes tanto cuantitativos y cualitativos del desarrollo de los especímenes frente a estos dos procedimientos, los resultados evidencia las ventajas de la Aeroponía con respecto al sistema tradicional mediante un análisis comparativo los cuales son dados a conocer a la comunidad científica y productiva, resultados que se detallan en el cuerpo de este documento.</p>
<b>Palabras claves</b>	Suelo, Aeroponía, Soluciones nutritivas, Automatización, Prototipo, Agricultura urbana.
<b>Descripción del problema de investigación</b>	La agricultura se ha convertido en una de las actividades más importantes y relevantes en lo que corresponde al sistema económico de un país, de tal manera que parte de esta depende del progreso del mismo, pero actualmente, se ha convertido en un problema para

nuestro ecosistema, debido a los trabajos realizados para cultivar, donde parte de los mismos han perdido su capacidad productiva en consecuencia a diferentes factores ya sean naturales como son las variaciones climáticas, la erosión y otras relacionadas a las practicas inadecuadas por parte del ser humano, como. la sobreexplotación del mismo, la contaminación del suelo mediante productos químicos, la deforestación que genera la tala de árboles para la adecuación de los terrenos, lo cual se ha convertido en un tema de gran importancia en lo que corresponde al cuidado y conservación del suelo, según Montanarella et al., (2015) “el 33 por ciento de los suelos está de moderada a altamente degradado debido a la erosión, el agotamiento de nutrientes, la acidificación, la salinización, la compactación y la contaminación química” (p.8). por lo consiguiente nos encontramos frente a un recurso natural que no es renovable, el cual está siendo sometido constantemente, ya sea con fines agrícolas, forestales, pastorales y de urbanización, de hecho “la degradación de los suelos y la pérdida de sus servicios ecosistémicos es uno de los problemas ambientales más serios que enfrenta el planeta” (Aguilar et al.,2015, p.74)

Por otro lado, el desarrollo de la agricultura a nivel mundial es constante, el crecimiento poblacional de las últimas décadas ha influenciado en el desarrollo de nuevas modalidades de producción más eficientes que permitan contribuir a la sostenibilidad alimentaria que genera la alta demanda de alimentos. La FAO estima (2017) que “para cubrir la demanda en 2050, la agricultura tendrá que producir casi un 50% más de alimentos, forraje y biocombustible de los que producía en 2012” (p.21)

Por lo tanto, se ha optado por realizar agricultura intensiva en grandes extensiones de tierra, agotando los suelos y enfrentado otros problemas como plagas y enfermedades que se generan y expanden de manera periódica y muy rápida, lo que conlleva a implementar el uso descontrolado de agroquímicos que no solo afectan el suelo, sino el medio ambiente y por ende la salud del ser humano.

A medida que aumenta la presión sobre las tierras y los recursos hídricos ya escasos, el sector agroalimentario debe buscar la forma de reducir su huella ecológica, que abarca las emisiones de gases de efecto invernadero, la utilización de agua, el desperdicio de alimentos, y sus efectos sobre la salud del suelo, los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017, p.37)

La anterior situación no se ve reflejada en lo que indica Planeación Nacional (2014) en el último cuarto de siglo la participación del sector agropecuario en el PIB ha colapsado y aun en periodos de alto crecimiento económico la expansión del sector fue tan solo de la mitad del experimentado por el PIB en general.

Este lento crecimiento del sector se muestra con resultado de la limitada provisión de bienes y servicios en especial el acceso a ciencia, tecnología e innovación, infraestructura vial y adecuación de tierras. El sistema actual carece de la conformación de redes de conocimiento y hace uso limitado de las TIC; es necesario desarrollar e implementar tecnología en la agricultura, con nuevos procesos productivos, desarrollo de variedades, entre otras actividades.

Actualmente existen alternativas de producción agrícola que utilizan sustratos diferentes al suelo y ante todo presentan tres grandes ventajas, no afectan el suelo, maximizan el uso del agua y elevan la calidad de los productos; una de estas alternativas corresponde a la Aeroponía, sistema que se caracteriza por usar como sustrato el aire. El desarrollo e implementación de estos sistemas se ha dado en países altamente industrializados; en Colombia este sistema es poco conocido y son pocos los que se han atrevido a investigar o a implementarlos como parte de un proceso productivo; el nivel de tecnificación que exige esta modalidad de producción es alto, pero se ve recompensado con beneficios ecológicos y productivos en cuanto a calidad y cantidad. Adicionalmente estas nuevas modalidades de producción agrícola son el pilar para lo que se ha llamado agricultura urbana que se caracteriza por realizarse en espacios reducidos, garantizar altos niveles de producción, productos de alta calidad más frescos y fácil disponibilidad al disminuir los trayectos de transporte, incluso se convierte en una opción de trabajo familiar.

Actualmente se pueden encontrar diferentes estructuras y procesos de control para el desarrollo de la aeroponía; algunos aplicables a gran variedad de cultivos y otros a algunos muy específicos, las variables a controlar, a excepción de la humedad y alimentación de la planta, pueden variar dando prioridad a una u otra variable, aunque por lo general se realiza supervisión y control de al menos tres (3) o cuatro (4) variables al tiempo.

En el Cead de Ibagué, se está implementando un prototipo automatizado para producción Aeropónico, inicialmente se realizarán pruebas con especímenes de Cilantro (*Coriandrum sativum*), con el objetivo de garantizar el buen funcionamiento, garantizar ciclo

	completo de la planta, y verificar productividad frente a especímenes en suelo.
<b>Objetivo general</b>	Detallar el desarrollo de un Cultivo de Cilantro ( <i>Coriandrum Sativum</i> ) en un Sistema Aeropónico Automatizado.
<b>Objetivos específicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar dos métodos de cultivo de cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) uno Aeropónico y el otro sistema tradicional bajo condiciones agroecológicas locales.</li> <li>• Demostrar el funcionamiento del sistema aeropónico automatizado en plantas de cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)</li> </ul>
<b>Metodología</b>	<p>La metodología para el proyecto aplicado es basada en la observación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, los cuales nos brindaran la información sobre el comportamiento que tuvieron las plantas en el sistema aeropónico y de igual manera del cultivo en suelo, de tal manera que podamos detallar características ejemplares durante todo el ciclo productivo de las mismas,, por lo consiguiente se realizó un análisis comparativo del desarrollo y crecimiento de las plantas de Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) en los dos sistemas de producción agrícola.</p> <p>El proyecto se desarrolló en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, ubicado en el centro-occidente de Colombia, sobre la Cordillera Central de los Andes, el clima presente en la capital es tropical, la temperatura mínima es de 18°C y la máxima es de 28°C la altitud es de 1225 m.s.n.m.</p> <p>Se realizaron dos procedimientos, el primero con plantas de Cilantro en suelo y el otro con plantas de Cilantro bajo el sistema Aeroponía, para luego recolectar la información del desarrollo de estas durante dos cosechas en ambos procesos.</p>
<b>Referentes teóricos y conceptuales</b>	<p>El Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) es una hierba anual, herbácea, de la familia de las Apiáceas o Umbelífera, tiene una raíz pivotante con raíces secundarias, sus tallos son rectos, presenta hojas compuestas, flores blancas y frutos aromáticos, tiene una altura promedio de 40 a 60 cm, <i>Coriandrum sativum</i> L es su nombre científico, donde la palabra <i>Coriandrum</i> “deriva de la palabra griega “<i>Koris</i>” que significa chinche (insecto), en referencia al olor que despide el fruto inmaduro de la planta joven” (García, 2002, p.20), y su nombre específico <i>Sativum</i>, quiere decir que es una planta cultivada.</p>

	<p>Actualmente el consumo del Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) en el mundo se realiza en forma deshidratada a partir de los frutos secos y molidos o para la obtención de aceites esenciales (Puga, 2008) pero en países como Colombia, se consume el follaje fresco para fines culinarios e inclusive se ha demostrado ser una especie de gran potencial medicinal debido a las propiedades que la misma posee, Por ejemplo; es anestésico, reduce flatulencias y es afrodisíaco.</p> <p>La palabra Aeroponía viene de los términos griegos “aero” y “ponos” que significa aire y trabajo, dicha técnica es una vertiente de la hidroponía, donde el proceso consiste en cultivar plantas en un entorno aéreo, cerrado, sin hacer uso del suelo, mediante el suministro de soluciones nutritivas en las raíces por medio de un sistema de riego por nebulización o microaspersión. Según la International Society for Soil-less Culture la Aeroponía es un sistema donde las raíces están expuestas, de manera continua o discontinua, a un ambiente saturado de finas gotas de una solución nutritiva. (Arano C.R., 1990, citado por Dávila &amp; Santos 2014).</p> <p>Héctor Jaime Chavarría Ardila, Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional sede en Medellín y líder de Aeropónicos de Colombia, nos ha permitido conocer, sus estudios acerca de esta técnica innovadora en el cultivo de Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>), según sus investigaciones y procesos aplicados a esta especie aromática, los resultados obtenidos fueron muy favorables con respecto a un cultivo tradicional, según el autor, la Aeroponía permite cultivar plantas en lugares donde la agricultura convencional de campo abierto es difícil, además el uso de la tecnología mejora la eficiencia de este sistema de producción.</p>
<p><b>Resultados</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante el desarrollo de las plantas de Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) en suelo, se pudo constatar el periodo para la germinación, color antes, durante y después del proceso, altura final de las plantas para la cosecha, peso total de biomasa aérea y tiempo ciclo productivo, de igual manera hubo factores de gran importancia que fueron registrados como por ejemplo; la presencia de enfermedades, propagación de arvenses y por consiguiente los cambios climáticos, que fue uno de los principales limitantes para el adecuado desarrollo y crecimiento de las plantas, en el resultado se evidencio el peso de la biomasa aérea final, donde la segunda cosecha en suelo tuvo un valor más alto, debido a la cantidad de plantas que se</li> </ul>

obtuvieron, de igual manera la altura fue favorable para que aumentara el peso del follaje fresco, aunque la calidad del producto se vio afectada por factores antes mencionados, con respecto a las demás características, como el tiempo, porcentaje, cantidad de semillas germinadas y ciclo productivo, no hubo una diferencia mayor, sin embargo en la segunda cosecha se mantuvo con mejores resultados que en la primera, debido a que no se presentaron lluvias de considerar y hubo días soleados que permitieron una cosecha más rápida.

- En el sistema aeropónico se obtuvieron resultados tanto cualitativos como cuantitativos, como, por ejemplo; la ganancia final de biomasa aérea, altura promedio final, tomando como referencia el metro cuadrado, el tiempo del ciclo productivo, el color de las plantas y factores externos que pueden interferir en el desarrollo de los especímenes, por lo tanto, se pudo observar en las plantas un mejor rendimiento, allí se obtuvo una altura mayor, lo cual mejoro el peso del follaje fresco total y un ciclo productivo más corto, por ejemplo la segunda cosecha bajo esta técnica fue mucho mejor que la primera, debido a que se obtuvo más cantidad de plantas por metro cuadrado, lo que aumento el peso en 768 gramos más, además la altura aumento 5 cm demás, de acuerdo a los cambios hechos con respecto a la iluminación en las plantas, la misma favoreció el crecimiento de estas, generando de igual manera un ciclo productivo en menor tiempo, por otro lado, en lo que corresponde a los demás factores como el tiempo, porcentaje y cantidad de semillas germinadas no hubo una diferencia mayor en ambos procedimientos.
- La aeroponía se ha convertido en una técnica innovadora que permite cultivar distintas especies hortícolas y aromáticas como por ejemplo el Cilantro (*Coriandrum sativum*), planta considerada medicinal y de gran importancia en la Culinaria, dicha especie puede ser fundamental gracias a las propiedades que trae la misma, el cultivo bajo este sistema de agricultura, permite obtener más plantas por metro cuadrado, libres de plagas y enfermedades, lo que quiere decir que el uso de químicos no va hacer necesario, además las soluciones nutritivas contantes promueve un desarrollo más eficiente de

	<p>las plantas y obtener más cosechas por año en comparación a un cultivo Tradicional.</p>
<b>Conclusiones</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realizo la comparación entre los dos sistemas de producción agrícola, donde el cultivo bajo el sistema aeropónico automatizado presento ventajas significativas frente al cultivo tradicional.</li><li>• El sistema aeropónico permite obtener más plantas por metro cuadrado y por consiguiente una producción de follaje superior a cosechas en suelo.</li><li>• A pesar del costo elevado del sistema aeropónico, se comprobó el funcionamiento del prototipo para el desarrollo de las plantas de cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) y la viabilidad que tiene el mismo en cuestión de productividad frente a otros sistemas de producción para beneficio de la comunidad.</li><li>• La oxigenación en las raíces bajo la técnica de Aeroponía, permite un crecimiento masivo y eficiente de las mismas, lo que conlleva a obtener plantas con una altura mayor, saludables y en menos tiempo, por lo cual se puede adquirir más cosechas por año.</li><li>• Se puede constatar el aprovechamiento del recurso hídrico en un 90%, esto se debe a que el riego por microaspersión que se emplea es devuelto al tanque para reutilizar nuevamente el agua y los nutrientes, además este sistema permite suministrar agua rica en nutrientes, formando microgotas adheridas a las raíces, las cuales mantienen a las plantas con el requerimiento nutricional constante y de esta manera obtener rendimientos mayores al del cultivo en suelo.</li><li>• La Aeroponía permite cultivos 100% libres de plagas y enfermedades caso contrario en el cultivo tradicional, por lo consiguiente el uso de químicos no fue necesario, este resultado comprueba con lo que dijo el ingeniero Héctor Chavarría según sus experimentos recientes, acerca de reducir el uso de pesticidas bajo esta técnica.</li><li>• Se puede evidenciar en los resultados, que el uso de la electrónica específicamente de la automatización permite un control eficiente de las variables claves para el desarrollo de la planta como lo son la temperatura y humedad, además de la</li></ul>

posibilidad de visualizar la información en un dispositivo móvil.

- Los prototipos aeropónicos se convierten en una herramienta de estudio para empresas y universidades que desean realizar experimentos e investigaciones con fines educativos o productivos para una especie agrícola.
- El comportamiento de las plantas en el sistema tradicional dependen en gran medida a los cambios climáticos, los cuales juegan un papel muy importante en lo que corresponde al desarrollo y productividad de un cultivo, cuando existen un exceso de humedad por lluvias o temperaturas elevadas, que no pueden ser controladas ya sea por recursos económicos o por razones naturales, existe una pérdida considerable de plantas, dichos factores son consecuentes en la propagación de plagas y enfermedades, además de alterar los procesos biológicos en las plantas lo que conlleva a obtener una baja calidad y rentabilidad del producto, por ejemplo las altas temperaturas promueven el desarrollo temprano de las plantas, este efecto puede ser positivo por que acelera el ciclo productivo, pero también negativo debido al desbalance de giberelinas y citoquininas en la planta lo que promueve el punteamiento prematuro, generando de tal manera hojas filiformes y una baja calidad del producto como se indica en (Davila, 2003).

## **Dedicatoria**

Primeramente, dedico este proyecto a DIOS que hace todo posible y me ha permitido cumplir mi sueño de ser profesional, en segundo lugar, a mis padres Maria Bedoya y Eduardo Avilez, quienes me enseñaron a ser perseverante hasta alcanzar la meta y por último a todas a aquellas personas que siempre confiaron en mí y estuvieron allí cuando más necesite.

## **Agradecimientos**

Doy gracias a este nuevo logro a DIOS, familiares, amigos y tutores de la UNAD que siempre me apoyaron, en especial al ingeniero electrónico Elber Fernando Camelo quien me permitió ser parte de este proyecto aplicado y al ingeniero agrónomo Francisco Jose Montealegre quien me asesoro en todo lo que necesite para culminar con éxito el mismo.

De igual manera mis agradecimientos al Ingeniero Héctor Chavarría y continuo a él, a sus estudiantes, quienes en todo momento me asesoraron para adquirir los conocimientos necesarios para mi proyecto aplicado.

## Resumen

La Aeroponía es una técnica de cultivo en la cual las plantas se desarrollan en el aire sin hacer uso del suelo, este método de agricultura presenta varias ventajas como, por ejemplo; el máximo aprovechamiento del recurso hídrico, menor tiempo en producción, manejo focalizado de plagas y enfermedades, lo que permite una disminución en el uso de agroquímicos entre otras, actualmente se implementó un prototipo automatizado bajo esta técnica como objeto de estudio, empleando el Cilantro (*Coriandrum sativum*) como especie de gran importancia comercial, culinaria y medicinal.

El presente proyecto aplicado da a conocer el proceso llevado a cabo de la siembra en un metro cuadrado como muestra, de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en el prototipo Aeropónico comparado con un sistema de siembra tradicional (suelo), durante dos cosechas en cada técnica, allí se evaluó el comportamiento que tuvieron las plantas con variables controladas y monitoreadas mediante una interfaz gráfica y no controladas en suelo, obteniendo resultados muy interesantes tanto cuantitativos y cualitativos del desarrollo de los especímenes frente a estos dos procedimientos, los resultados evidencia las ventajas de la Aeroponía con respecto al sistema tradicional mediante un análisis comparativo los cuales son dados a conocer a la comunidad científica y productiva, resultados que se detallan en el cuerpo de este documento.

**Palabras claves:** Suelo, Aeroponía, Soluciones nutritivas, Automatización, Prototipo, Agricultura urbana.

## **Abstract**

Aeroponics is a cultivation technique in which plants develop in the air without making use of the soil, this method of agriculture has several advantages, such as; the maximum use of the water resource, less time in production, focused management of pests and diseases, which allows a decrease in the use of agrochemicals among others, currently an automated prototype was implemented under this technique as an object of study, using Cilantro ( *Coriandrum sativum*) as a species of great commercial, culinary and medicinal importance.

The present project applied discloses the process carried out of the sowing in a square meter as a sample, of the Cilantro (*Coriandrum sativum*) plants in the Aeroponic prototype compared to a traditional planting system (soil), during two crops in each technique, there was evaluated the behavior that the plants had with controlled and monitored variables through a graphical interface and not controlled in soil, obtaining very interesting results both quantitative and qualitative of the development of the specimens against these two procedures, the results show the Aeroponics advantages over the traditional system through a comparative analysis which are made known to the scientific and productive community, results that are detailed in the body of this document.

**Key Words:** Soil, Aeroponics, Nutrient solutions, Automation, Prototype, Urban agriculture.

## Contenido

	Pág.
1. Introducción.....	24
2. Planteamiento del problema .....	26
3. Justificación.....	30
4. Objetivos.....	33
4.1    Objetivo general .....	33
4.2    Objetivos específicos.....	33
5. Marco teórico y conceptual .....	34
5.1    Generalidades del Cilantro ( <i>coriandrum sativum</i> ).....	34
5.2    Manejo del cultivo de cilantro ( <i>coriandrum sativum</i> ).....	37
5.3    Importancia de los Macronutrientes y Micronutrientes .....	40
5.3.1    Macronutrientes primarios .....	40
5.3.2    Macronutrientes secundarios .....	41
5.3.3    Micronutrientes .....	42
5.4    Plagas y enfermedades del cultivo de cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) .....	43
5.5    Labores culturales del cultivo de cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ).....	43
5.5.1    Ciclo vegetativo .....	44
5.5.2    Cosecha.....	45
5.6    Descripción de la Aeroponía.....	45

5.6.1	Estructura de un cultivo aeropónico .....	46
5.6.2	Control de variables del sistema aeropónico .....	47
6.	Antecedentes de la Aeroponía .....	48
7.	Estado del arte .....	51
7.1	Aeroponía en el cultivo de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) .....	52
8.	Ventajas y desventajas de la aeroponía .....	56
8.1	Ventajas.....	56
8.2	Desventajas.....	57
9.	Agricultura urbana como alternativa sostenible para el medio ambiente.....	57
10.	Metodología.....	59
10.1	Procedimiento: plantas de cilantro ( <i>coriandrum sativum</i> ) en suelo.....	59
10.1.1	Labores realizadas en el cultivo de cilantro ( <i>coriandrum sativum</i> ) en suelo.....	61
10.2	Procedimiento: plantas de cilantro ( <i>coriandrum sativum</i> ) en el sistema aeropónico.....	65
10.2.1	Componentes del Sistema Aeropónico Automatizado .....	67
10.2.2	Labores del Cultivo de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) en el Sistema Aeropónico.....	71
11.	Resultados.....	73
11.1	Plantas de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) en suelo .....	73
11.1.1	Primera cosecha .....	73
11.1.2	Segunda Cosecha .....	77
11.2	Plantas de cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) en el sistema aeropónico .....	81

11.2.1	Primera Cosecha .....	81
11.2.2	Segunda Cosecha .....	85
12.	Análisis comparativo de las cosechas en suelo .....	88
13.	Análisis comparativo de las cosechas en el sistema aeropónico .....	92
14.	Análisis comparativo: suelo vs aeroponía .....	96
15.	Resultado general del proyecto.....	103
16.	Costos de producción.....	104
16.1	Cultivo tradicional.....	104
16.2	Sistema aeropónico .....	105
17.	Conclusiones.....	108
18.	Recomendaciones .....	110
19.	Referencias bibliográficas .....	112
20.	Anexos.....	118

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1: Materiales empleados para el cultivo en suelo .....	60
Ilustración 2: Establecimiento del Cultivo en suelo .....	61
Ilustración 3: Labores de cultivo realizadas.....	64
Ilustración 4: Semillero para el sistema Aeropónico .....	66
Ilustración 5: Interfaz grafica.....	67
Ilustración 6: Sistema Aeropónico Automatizado .....	69
Ilustración 7: Germinación del semillero.....	72
Ilustración 8: Plántulas instaladas en el sistema Aeropónico .....	72
Ilustración 9: Arvenses presentes en el cultivo de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) .....	75
Ilustración 10: representación del cultivo de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) en suelo .....	77
Ilustración 11: Pudrición de raíz y hojas del cultivo en suelo (Cosecha1) .....	77
Ilustración 12: Cultivo de cilantro en suelo (Cosecha 2).....	80
Ilustración 13: Punteamiento prematuro del cultivo en suelo (Cosecha 2) .....	80
Ilustración 14: Exceso de humedad en el cultivo Aeropónico.....	84
Ilustración 15: Desarrollo del cultivo bajo el sistema aeropónico (Cosecha 1).....	84
Ilustración 16: Problemas de humedad en el sustrato (Cosecha 2).....	87
Ilustración 17: Desarrollo del cultivo de cilantro en el sistema aeropónico (Cosecha 2).....	87
Ilustración 18: Visita Universidad Nacional Sede en Medellín- Colombia, Cultivos Aeropónicos .....	118
Ilustración 19: Asesoría sobre cultivos aeropónicos dictada por el Ingeniero Héctor Chavarría	119

## Lista de graficas

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1: Mayores productores de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) en Colombia .....	36
Gráfico 3 Comparación del tiempo de germinación en la primera y segunda cosecha en suelo ..	88
Gráfico 4: Comparación porcentaje de germinación en la primera y segunda cosecha en suelo .	88
Gráfico 5: Comparación de semillas germinadas en la primera y segunda cosecha en suelo .....	89
Gráfico 6: Comparación cantidad de plantas cosechadas en la primera y segunda cosecha en suelo .....	89
Gráfico 7: Comparación altura promedio final en la primera y segunda cosecha en suelo .....	90
Gráfico 8: Comparación de biomasa final aérea de la primera y segunda cosecha en suelo.....	90
Gráfico 9: Comparación tiempo del ciclo productivo en la primera y segunda cosecha en suelo	91
Gráfico 10. Comparación tiempo de germinación en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico.....	92
Gráfico 11: Comparación del porcentaje de germinación en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico.....	92
Gráfico 12: Comparación de la cantidad de semillas germinadas en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico .....	93
Gráfico 13: Comparación de cantidad de plantas obtenidas en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico .....	93
Gráfico 14: Comparación de altura promedio final de la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico.....	94
Gráfico 15: Comparación de biomasa aérea final en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico.....	94

Gráfico 16: Comparación tiempo del ciclo productivo en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico.....	95
Gráfico 17: Comparación del tiempo de germinación (suelo vs aeroponía) .....	96
Gráfico 18: Comparación Porcentaje de germinación: suelo vs aeroponía .....	97
Gráfico 19: Comparación de cantidad de semillas germinadas (suelo vs aeroponía).....	98
Gráfico 20: Comparación de cantidad de plantas cosechadas (suelo vs aeroponía).....	99
Gráfico 21: Comparación altura promedio final (suelo vs aeroponía) .....	100
Gráfico 22: Comparación de biomasa aérea final (suelo vs aeroponía) .....	101
Gráfico 23: Comparación tiempo ciclo productivo (suelo vs aeroponía).....	102

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Composición Nutricional del Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) .....	35
Tabla 2: Comparación del cultivo de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) en Aeroponía y tierra .....	53
Tabla 3: Segunda comparación del cultivo de Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) en Aeroponía y tierra .....	53
Tabla 4: Solución nutritiva del Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ).....	70
Tabla 5: Resultados de germinación en suelo (Cosecha 1).....	73
Tabla 6: Resultado final/m <sup>2</sup> (cosecha 1) .....	74
Tabla 7: Resultados de germinación en suelo/m <sup>2</sup> (Cosecha 2) .....	78
Tabla 8: Resultado final del cultivo en suelo (Cosecha 2).....	78
Tabla 9: Resultados germinación del semillero (Cosecha 1).....	81
Tabla 10: Resultado final sistema Aeropónico (Cosecha 1).....	82
Tabla 11: Resultados germinación semillero (Cosecha 2).....	85
Tabla 12: Resultado final sistema aeropónico (Cosecha 2).....	85
Tabla 13: Costos de producción x m <sup>2</sup> /Cultivo tradicional .....	104
Tabla 14: Costos de producción x m <sup>2</sup> /Sistema aeropónico .....	105

## 1. Introducción

El proceso de investigación e implementación para un cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo un sistema Aeropónico automatizado, tiene como objetivo analizar y controlar las diferentes variables como temperatura, humedad, pH entre otras, y de igual manera estudiar el respectivo desarrollo de los especímenes en suelo para su correspondiente comparación.

La Aeroponía es una técnica avanzada y de tecnología, que ha permitido cultivar plantas sin hacer uso del suelo, por lo cual ha sido llamada la agricultura sin tierra, este sistema resalta la importancia de hacer crecer las plantas en un entorno cerrado, con las raíces suspendidas en el aire y con un equipo de riego de microaspersión, el cual tiene como finalidad brindar a la misma, la solución nutritiva para su desarrollo y crecimiento.

Actualmente, la agricultura tiene gran importancia en lo que corresponde a la economía de un país, debido a que gran parte de la superficie está dedicada a esta labor, pero desafortunadamente los suelos poco a poco han sido objeto del mal uso por parte del ser humano, lo que ha traído consigo, una degradación exhaustiva, que, si no es controlada, es imposible recuperar. Distintas alternativas surgen en cuestión para el cuidado de los recursos naturales y en especial en la producción y demanda de alimentos en el mercado nacional e internacional, como la Aeroponía, que en la actualidad se considera parte del progreso de la agricultura en el mundo.

El proyecto apunta hacia el establecimiento de un cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) Aeropónico, el cual comprende una alternativa eficaz para la producción y rentabilidad del mismo frente a otros sistemas de siembra, además se sustenta una de las mejores formas para reducir costos, ya que dicho sistema permite múltiples ventajas como la conservación del agua, además de controlar diferentes problemas presentes en las plantas como plagas y enfermedades y

la supervisión de distintas variables ya mencionadas, por lo tanto el cultivo desarrollado bajo el sistema Aeropónico es una forma de obtener cosechas de forma natural y ecológica, donde parte del procedimiento es electrónico y automatizado para garantizar los factores mencionados y de esta manera obtener los resultados deseados para el cultivo.

Con base en lo anterior se pretende recolectar la información desde la germinación hasta la recolección de la cosecha del proceso, al igual se espera analizar el comportamiento que tuvieron estas plantas frente a las variables de temperatura, humedad, frecuencias de riego y soluciones nutritivas empleadas, con el fin de determinar y comparar el crecimiento, color, biomasa y sobre todo el tiempo para completar el ciclo productivo de las mismas.

## 2. Planteamiento del problema

La agricultura se ha convertido en una de las actividades más importantes y relevantes en lo que corresponde al sistema económico de un país, de tal manera que parte de esta depende del progreso del mismo, pero actualmente, se ha convertido en un problema para nuestro ecosistema, debido a los trabajos realizados para cultivar, donde parte de los mismos han perdido su capacidad productiva en consecuencia a diferentes factores ya sean naturales como son las variaciones climáticas, la erosión y otras relacionadas a las prácticas inadecuadas por parte del ser humano, como. la sobreexplotación del mismo, la contaminación del suelo mediante productos químicos, la deforestación que genera la tala de árboles para la adecuación de los terrenos, lo cual se ha convertido en un tema de gran importancia en lo que corresponde al cuidado y conservación del suelo, según Montanarella et al., (2015) “el 33 por ciento de los suelos está de moderada a altamente degradado debido a la erosión, el agotamiento de nutrientes, la acidificación, la salinización, la compactación y la contaminación química” (p.8). por lo consiguiente nos encontramos frente a un recurso natural que no es renovable, el cual está siendo sometido constantemente, ya sea con fines agrícolas, forestales, pastorales y de urbanización, de hecho “la degradación de los suelos y la pérdida de sus servicios ecosistémicos es uno de los problemas ambientales más serios que enfrenta el planeta” (Aguilar et al.,2015, p.74)

Por otro lado, el desarrollo de la agricultura a nivel mundial es constante, el crecimiento poblacional de las últimas décadas ha influenciado en el desarrollo de nuevas modalidades de producción más eficientes que permitan contribuir a la sostenibilidad alimentaria que genera la alta demanda de alimentos. La FAO estima (2017) que “para cubrir la demanda en 2050, la

agricultura tendrá que producir casi un 50% más de alimentos, forraje y biocombustible de los que producía en 2012” (p.21)

Por lo tanto, se ha optado por realizar agricultura intensiva en grandes extensiones de tierra, agotando los suelos y enfrentado otros problemas como plagas y enfermedades que se generan y expanden de manera periódica y muy rápida, lo que conlleva a implementar el uso descontrolado de agroquímicos que no solo afectan el suelo, sino el medio ambiente y por ende la salud del ser humano.

A medida que aumenta la presión sobre las tierras y los recursos hídricos ya escasos, el sector agroalimentario debe buscar la forma de reducir su huella ecológica, que abarca las emisiones de gases de efecto invernadero, la utilización de agua, el desperdicio de alimentos, y sus efectos sobre la salud del suelo, los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017, p.37)

La anterior situación no se ve reflejada en lo que indica Planeación Nacional (2014) en el último cuarto de siglo la participación del sector agropecuario en el PIB ha colapsado y aun en periodos de alto crecimiento económico la expansión del sector fue tan solo de la mitad del experimentado por el PIB en general.

Este lento crecimiento del sector se muestra con resultado de la limitada provisión de bienes y servicios en especial el acceso a ciencia, tecnología e innovación, infraestructura vial y adecuación de tierras. El sistema actual carece de la conformación de redes de conocimiento y hace uso limitado de las TIC; es necesario desarrollar e implementar tecnología en la agricultura, con nuevos procesos productivos, desarrollo de variedades, entre otras actividades.

Actualmente existen alternativas de producción agrícola que utilizan sustratos diferentes al suelo y ante todo presentan tres grandes ventajas, no afectan el suelo, maximizan el uso del agua y elevan la calidad de los productos; una de estas alternativas corresponde a la Aeroponía, sistema que se caracteriza por usar como sustrato el aire.

El desarrollo e implementación de estos sistemas se ha dado en países altamente industrializados; en Colombia este sistema es poco conocido y son pocos los que se han atrevido a investigar o a implementarlos como parte de un proceso productivo; el nivel de tecnificación que exige esta modalidad de producción es alto, pero se ve recompensado con beneficios ecológicos y productivos en cuanto a calidad y cantidad. Adicionalmente estas nuevas modalidades de producción agrícola son el pilar para lo que se ha llamado agricultura urbana que se caracteriza por realizarse en espacios reducidos, garantizar altos niveles de producción, productos de alta calidad más frescos y fácil disponibilidad al disminuir los trayectos de transporte, incluso se convierte en una opción de trabajo familiar.

Actualmente se pueden encontrar diferentes estructuras y procesos de control para el desarrollo de la aeroponía; algunos aplicables a gran variedad de cultivos y otros a algunos muy específicos, las variables a controlar, a excepción de la humedad y alimentación de la planta, pueden variar dando prioridad a una u otra variable, aunque por lo general se realiza supervisión y control de al menos tres (3) o cuatro (4) variables al tiempo.

En el Cead de Ibagué, se está implementando un prototipo automatizado para producción Aeropónico, inicialmente se realizarán pruebas con especímenes de Cilantro (*Coriandrum sativum*), con el objetivo de garantizar el buen funcionamiento, garantizar ciclo completo de la planta, y verificar productividad frente a especímenes en suelo. Por tanto, se genera la siguiente

pregunta: ¿Cómo es el comportamiento de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema Aeropónico Automatizado frente a un sistema de cultivo en suelo?

### 3. Justificación

Es necesario apoyar el desarrollo y la transformación del sector agricultor en Colombia, mediante la implementación de nuevos métodos de producción apoyados en tecnología, como lo es la Aeroponía, mejorando la calidad de los productos, aumentando la producción por área sembrada y disminuyendo los tiempo de cosecha; todo lo anterior haciendo uso eficiente del recurso hídrico, preservando la calidad de los suelos e incursionando en la producción de alimentos orgánicos y la promoción de la agricultura urbana; este último término se relaciona con la posibilidad de producir alimentos lo más cercano posible al consumidor final, huertas caseras, granjas tecnificadas alrededor de la ciudad, apoyando la seguridad alimentaria y la disponibilidad de un producto fresco y de calidad. La agricultura se ha convertido en una labor fundamental no solo en nuestro país, sino en el mundo entero, ya que depende de la misma para asegurar el alimento futuro de la humanidad, por esta razón han existido alternativas las cuales se han enfocado en mejorar la producción agrícola promoviendo la conservación del suelo, las cuencas hidrográficas y sobre todo la preservación de la biodiversidad, por lo tanto, es necesario el desarrollo y la transformación eficiente del sector agrícola, mediante técnicas de siembra que permitan mejorar los indicadores de producción, mantener plantas saludables, minimizar el requerimiento hídrico, lo cual es una de las principales ventajas de la aeroponía, ya que se designa un requerimiento menor de agua por cada metro cuadrado, además cuando son usados de manera comercial, solo utilizan una décima parte del agua necesaria con otros métodos de cultivo para hacer crecer la cosecha como se cita en (Hernandez et al.,2013, p 20) por lo consiguiente y referente a lo anterior, no sucede lo mismo en los cultivos tradicionales, debido a que “el agua que no va directamente a las raíces de la planta, es absorbida por la tierra o simplemente luego evaporada” (Rocha et al.,2017 p 134). Por lo tanto, se puede afirmar que a

través de esta técnica innovadora se puede obtener un ahorro de agua por encima del 80% con respecto al total de agua que se usa en el tiempo de riego

Colombia es un país que en gran parte depende de la agricultura como parte del progreso económico del mismo, por lo tanto, implementar el sistema Aeropónico Automatizado permite obtener un modelo con las características deseadas del cultivo, en este caso de Cilantro (*Coriandrum sativum*) el cual pretende demostrar un estilo de producción útil, segura, ecológica, sustentable y de calidad para enfrentar grandes retos en cuestión económicos y sobre todo como recurso eficiente para la seguridad alimentaria y de esta manera tener más participación y competitividad frente a otros países del mundo.

Según el PECTIT 2020 del departamento del Tolima, Ibagué es su capital y lugar donde se desarrollará el proyecto aplicado, en su objetivo específico 4 manifiesta el apoyo a la generación y desarrollo de conocimiento tecnológico para la solución tecnológica de problemas y necesidades de la región, donde las agropecuarias ocupan el primer lugar en el sector productivo. Por tanto, el desarrollo de este proyecto va en línea con el plan estratégico del Tolima y por ello existe la alta posibilidad de recibir apoyo para avanzar en proyectos investigativos basados en el que plantea esta propuesta. Desarrollar exitosamente este proyecto, permitirá validar el funcionamiento del prototipo automatizado de cultivo aeropónico, mediante pruebas con especímenes de Cilantro (*Coriandrum sativum*) esto representará para la población académica de la UNAD la posibilidad de tener un laboratorio para áreas de agronomía, electrónica y telecomunicaciones; que servirá de apoyo para que estudiantes e investigadores avancen en diferentes proyectos aplicados o de investigación.

Todo lo anterior contribuirá en un futuro a la mejora de los indicadores del sector agropecuario y su impacto en la economía del país, si vislumbramos una etapa de postconflicto

apoyar el campo mediante estos proyectos será una estrategia fundamental de la UNAD para la sociedad como se ha demostrado recientemente en el lanzamiento de Campo UNAD

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Detallar el desarrollo de un Cultivo de Cilantro (*Coriandrum Sativum*) en un Sistema Aeropónico Automatizado.

### 4.2 Objetivos específicos

- Comparar dos métodos de cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) uno Aeropónico y el otro sistema tradicional bajo condiciones agroecológicas locales.
- Demostrar el funcionamiento del sistema aeropónico automatizado en plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*)

## 5. Marco teórico y conceptual

### 5.1 Generalidades del Cilantro (*Coriandrum sativum*)

El Cilantro (*Coriandrum sativum*) es una hierba anual, herbácea, de la familia de las Apiáceas o Umbelífera, tiene una raíz pivotante con raíces secundarias, sus tallos son rectos, presenta hojas compuestas, flores blancas y frutos aromáticos, tiene una altura promedio de 40 a 60 cm, *Coriandrum sativum* L es su nombre científico, donde la palabra *Coriandrum* “deriva de la palabra griega “*Koris*” que significa chinche (insecto), en referencia al olor que despide el fruto inmaduro de la planta joven” (García, 2002, p.20), y su nombre específico *Sativum*, quiere decir que es una planta cultivada, actualmente recibe otros nombres comunes como; Coriandro, Perejil chino, Perejil árabe y culantro, su origen es muy poco conocido pero se considera originario del sureste de Europa y del norte de África.

Actualmente el consumo del Cilantro (*Coriandrum sativum*) en el mundo se realiza en forma deshidratada a partir de los frutos secos y molidos o para la obtención de aceites esenciales (Puga, 2008) pero en países como Colombia, se consume el follaje fresco para fines culinarios e inclusive se ha demostrado ser una especie de gran potencial medicinal debido a las propiedades que la misma posee, Por ejemplo; es anestésico, reduce flatulencias y es afrodisíaco. También es usado para el tratamiento de la ansiedad y el insomnio y actualmente el consumo frecuente del Cilantro (*Coriandrum sativum*) puede contribuir a reducir la concentración de colesterol, glucosa y triglicéridos en seres humanos, además en sus hojas existen químicos con propiedades antibacterianas y nutricionalmente en las mismas contienen calcio y vitaminas A, B2 y C, y las semillas poseen antioxidantes (Morales, 2011), por lo tanto es una planta aromática que ha sido

considerada mágica, no solo en nuestro país, sino en muchos otros, como México y Venezuela, los cuales también emplean sus hojas frescas para el uso culinario y remedios caseros, al igual que en muchas culturas en la India, Grecia, China y Japón que asocian la importancia de las múltiples propiedades medicinales que esta planta posee.

A continuación, se muestra parte de los valores nutricionales que tiene el Cilantro (*Coriandrum sativum*) en 100 gr de porción comestible Según el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)

<b>Parte comestible (%)</b>	<b>90</b>	<b>Calcio (mg)</b>	<b>188</b>
<b>Calorías (%)</b>	49	Hierro (mg)	3.00
<b>Agua (%)</b>	86	Fosforo (mg)	72
<b>Grasa total (g)</b>	0.70	Potasio (mg)	521
<b>Proteína (g)</b>	3.30	Tiamina (mg)	0.15
<b>Carbohidratos (g)</b>	8.00	Niacina (mg)	1.60
<b>Colesterol (mg)</b>	0	Riboflavina (mg)	0.28
<b>Zinc (mg)</b>	0.50	Vitamina B6 (mg)	0.15
<b>Sodio (mg)</b>	46	Vitamina C (mg)	75

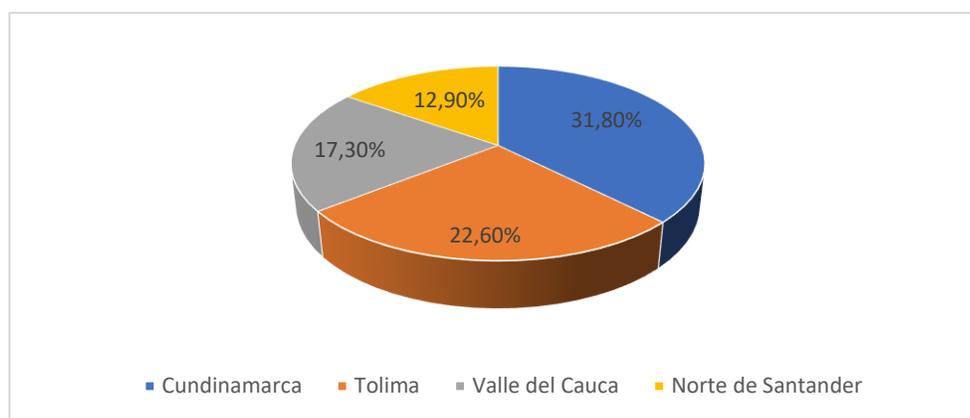
**Tabla 1:** Composición Nutricional del Cilantro (*Coriandrum sativum*)

**Fuente:** (INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá), 2012)

*Elaboración propia*

Los principales países productores de Cilantro son India, Rusia, Marruecos, México, Rumania, Argentina, Irán y Pakistán. Los principales países importadores son; Alemania, Estados Unidos, Sri Lanka y Japón, de acuerdo con Reliance Spot Exchange (2011) citado en Arizio et al. (2011) “India es el principal productor y consumidor mundial. La producción mundial de coriandro está estimada en 600.000 t, de las cuales India produce entre el 50 y 65% de ese total, siendo el principal estado productor Rajastán” (p.267) la India y Bulgaria siguen siendo los principales países productores y exportadores de Cilantro en el mundo, Brasil es el principal país importador de América del Sur ocupando el puesto 19 en el ranking mundial, y sus importaciones representan el 1,1% del total mundial, Argentina por ejemplo, es considerado en América del sur un importante productor y exportador de *Coriandrum sativum*.

En Colombia, el Cilantro (*Coriandrum sativum*) es considerada una hortaliza de gran importancia económica, debido a que es una de las hierbas culinarias más consumidas en nuestro país, en el siguiente grafico podemos apreciar los departamentos que han tenido mayor participación Nacional (Has) del producto.



**Gráfico 1:** Mayores productores de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en Colombia

**Fuente:** (Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. (2012). Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011) Citado en (Chicangana, Salvador, & Zapata)

## 5.2 Manejo del cultivo de cilantro (*coriandrum sativum*)

**Variedades:** Mágnum, Slow bolt, Castilla, americano, Patimoro o Patamorada, variedad Unapal Precoso.

**Requerimientos edafo-climáticos:** El Cilantro (*Coriandrum sativum*) es una planta anual la cual tiende a tener un crecimiento rápido, claro está, dependiendo de las temperaturas reportadas durante su ciclo, por lo general prefiere temperaturas cálidas sobre los 20°C, aunque puede prosperar en lugares más frescos, pero con un crecimiento Mas lento, el mismo no tolera temperaturas altas, debido a que se induce a la floración temprana y con respecto a las heladas, estas, afectan seriamente el desarrollo, crecimiento y por ende la productividad de la planta. de acuerdo con (Corporacion Colombia Internacional, 2006) en el PHN (Plan Hortícola Nacional) “la temperatura óptima para la etapa de emergencia es de 20°C y las temperaturas entre 10°C y 30°C proveen las condiciones óptimas de crecimiento” (p.316) otros autores señalan la temperatura optima en cuestión de germinación y resultados puede darse a los 22°C según Putievsky (1983), citado en (Davila, 2003).

**pH:** fluctúa entre 6 y 7 aunque tolera ligeramente la acidez.

**Suelo:** es una planta que prefiere suelos con textura franca, de igual manera ricos en materia orgánica y bien drenados.

**Humedad relativa:** es uno de los factores más importantes, debido a que se debe mantener estable la misma, para evitar incidencia de hongos por su exceso o con valores muy bajos podemos presentar una excesiva pérdida de agua por transpiración, por lo tanto, la recomendación debe ser aproximadamente a un 75% de humedad relativa.

**Luminosidad:** la planta de Cilantro (*Coriandrum sativum*) prefiere alta intensidad lumínica, para su crecimiento, aunque los días largos y cálidos promueven la floración temprana, de acuerdo con castellanos (2015) citado en Carcamo (2018) “el requerimiento óptimo son de 5-6 horas sol por día” (p.23)

**Precipitación:** requiere aproximadamente durante su ciclo vegetativo una precipitación pluvial alrededor de los 300 a 400 mm.

**Altitud:** Se adapta entre los 800 y 2.800 msnm.

**Siembra:** la propagación del Cilantro (*Coriandrum sativum*) se hace por medio de semillas, se pueden colocar directamente en el campo o por trasplante, aunque por este medio no es recomendable debido a que la raíz de la planta es muy delicada y por lo general no resiste el proceso, se debe mantener húmedo el suelo para que la germinación sea eficiente, se debe colocar la semilla a una profundidad de 1 a 2 cm, sin exponerla al sol directo.

**Distancia y Densidad de Siembra:** se puede considerar una distancia entre plantas de 10 a 15 cm y 20 a 30 cm entre hileras, lo que requiere aproximadamente 20 a 25 kg/ha (Morales, 1995) según el autor es recomendable sembrar un exceso de semillas para garantizar la germinación y de esta manera proceder a ralear a la semana de la nacencia, otros autores señalan que la densidad de siembra es dependiendo de la variedad y según las exigencias del agricultor, en el cultivo, se puede manejar densidades de siembra de hasta 80 a 100 kg/ha, Cabrera & Estrada (2004) afirman que “la cantidad de semilla varía entre 1.5 y 2.5 gramos por metro cuadrado con un equivalente de 15 a 25 kg/ha lo que permite una población de 180-250 plantas/m<sup>2</sup> o 1.800.000 a 2.500.000 plantas/ha” (p.305).

**Rendimiento de acuerdo la densidad de siembra:** según las investigaciones de Cilantro

(*Coriandrum sativum*), Acuña (2004, p.43) afirma que “la siembra a golpes en forma directa, con una distancia entre surcos de 30 cm y 20 cm entre plantas se obtuvieron rendimientos de 6 a 8 T/ha en peso de follaje verde” citado por Rodríguez (2016, p.8). La (Corporacion Colombia Internacional, 2006) en el PHN sugiere una densidad optima de plantas de 120 a 200 plantas/m<sup>2</sup> donde se requiere aproximadamente 30 a 60 libras de semillas/ha. Según lo anterior los rendimientos de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en Colombia son de 11 T/h.

Por otro lado, Cuando se garantiza un suministro adecuado de riego y nutrientes en las plantas podemos efectuar una población entre 200 y 300 plantas/m<sup>2</sup> para obtener una producción de 18 y 20 T/ha de follaje verde, según investigaciones realizadas por otros autores (Mejía et al.,2014)

**Requerimiento Nutricional:** el Cilantro (*Coriandrum sativum*) es una planta que requiere elementos tanto mayores como menores, los cuales proporcionarán a la misma, sabor, aroma y por ende mejores rendimientos, la fertilización puede ser orgánica o química, por ejemplo los abonos empleados para nutrir al cultivo son; composta, té de estiércol, abonos verdes, y abonos orgánicos fermentados, los cuales tienen la capacidad de mejorar la estructura del suelo y liberar los nutrientes requeridos para el desarrollo de este, de acuerdo a Morales et al, (2012) “las dosis aproximadas de los abonos mencionados es de 15 a 20 libras por metro cuadrado, antes de la siembra y se puede complementar con una aplicación a los 25 días de trasplantado o a los 30 días de sembrado” (p.4). En la fertilización química es necesario conocer los nutrientes disponibles a través de un análisis de suelo, de esta manera se identifica los elementos disponibles para la respectiva y adecuada dosificación. Acuña (1988) “recomienda la aplicación de 50 kg/ha de nitrógeno antes de la siembra y la misma dosis al voleo con intervalo de ocho días después de la emergencia” (Mejía et al., 2008, p.195) de igual manera es necesario

las aplicaciones completas de N, P y K más complementos foliares con micronutrientes.

### **5.3 Importancia de los Macronutrientes y Micronutrientes**

Las plantas necesitan nutrientes para llevar a cabo su crecimiento y desarrollo, por lo tanto, existen elementos esenciales para llevar a cabo tal proceso como, por ejemplo, los macronutrientes y micronutrientes los cuales suministran la mayor parte de la energía metabólica del organismo, dichos elementos deben ser suministrados según el requerimiento que necesita la planta en su ciclo vegetativo y productivo, entre los elementos mayores y con mayor importancia encontramos el Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Magnesio, Calcio y Azufre y entre los menores podemos encontrar Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Boro, Cloro y Molibdeno, no quiere decir que estos últimos no sean importantes, en realidad la planta necesita de los mismos en cantidades muy pequeñas, pero de igual manera hacen parte de la vitalidad de la misma para poder sobrevivir.

Los elementos como el Carbono, el Hidrogeno y el Oxígeno, se obtienen del aire y del agua, y cumplen funciones importantes en el desarrollo de las plantas, por ejemplo; el Carbono es indispensable para el proceso de la fotosíntesis, el Hidrogeno, hace parte de los carbohidratos, proteínas y el oxígeno es requerido para la respiración.

#### **5.3.1 Macronutrientes primarios**

**Nitrógeno (N).** Es uno de los elementos mayores más importantes en el cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*), el mismo forma parte de la molécula de clorofila, la cual es esencial en el proceso de la fotosíntesis, además es un componente de las vitaminas y aminoácidos los cuales forman las proteínas, su carencia puede traer graves consecuencias en las

plantas, debido a que la misma pierde la habilidad de ejecutar funciones esenciales como la absorción de nutrientes.

**Fosforo (P):** Constituyente de coenzimas, ácidos nucleicos y sustratos metabólicos, la deficiencia de este puede provocar, enanismo y retraso en la madurez, pero de igual manera el exceso de este elemento genera un gran desarrollo radicular (AgroEstrategias, s.f)

**Potasio (K):** dicho elemento se toma de forma catiónica, es un activador de algunas enzimas, interviene en el proceso de la fotosíntesis, su deficiencia genera debilidad en el tallo y sensibilidad al ataque de patógenos, además de retraso en el crecimiento de la misma, su exceso puede interferir en la absorción y disponibilidad de otros cationes como por ejemplo el Ca y el Mg. (AgroEstrategias, s.f)

### 5.3.2 Macronutrientes secundarios

**Calcio (Ca):** también es absorbido por la planta como catión, su función principal es formar parte de la matriz de la pared celular, la deficiencia de este se observa en las hojas jóvenes donde los meristemas apicales se deforman, de igual manera los brotes del tallo y las flores se caen.

**Magnesio (Mg):** es uno de los elementos más importantes, debido a que es el constituyente central de la clorofila, de acuerdo con la FAO (2002) “del 15 al 20 por ciento del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta” (p.8)

**Azufre (S):** conforma parte de la estructura de las proteínas, su deficiencia puede causar una reducción en la síntesis de proteínas, por lo general los síntomas aparecen en hojas jóvenes manifestando una clorosis.

### 5.3.3 Micronutrientes

Los micronutrientes o microelementos son esenciales para el crecimiento adecuado de las plantas, se requieren en mínimas cantidades cuando los mismos no pueden ser provistos en el suelo.

**Hierro (Fe):** actúa como cofactor en la síntesis de proteínas, su deficiencia produce clorosis o amarillamiento en las hojas jóvenes, además en suelos básicos su disponibilidad es reducida, por lo tanto, es necesario administrar el mismo a través de formas de complejos orgánicos como los quelatos asimilables por las plantas (AgroEstrategias, s.f)

**Manganeso (Mn):** producción de oxígeno durante la fotosíntesis.

**Molibdeno (Mo):** interviene en el proceso de la fijación de nitrógeno y en el metabolismo de carbohidratos.

**Zinc (Zn):** es un activador de enzimas, las cuales regulan los procesos metabólicos de las plantas, su deficiencia produce un retraso en el crecimiento de las hojas. (FAO, 2002)

**Cobre (Cu):** es fundamental para el proceso de la fotosíntesis y en la respiración de las plantas, su deficiencia aparece en hojas jóvenes, donde crecen atrofiadas, enanas, débiles y retorcidas.

**Boro (B):** hace parte de la formación del tubo polínico, por lo que ayuda con la polinización y el desarrollo de frutas y semillas, su deficiencia causa tallos y peciolos quebradizos, con crecimiento anormal y de color blanquecino.

**Cloro (CL):** aunque se requiere en pequeñas cantidades, el mismo es esencial para distintos procesos en las plantas, por ejemplo, en el cierre y apertura de las estomas, también es

activador de enzimas.

Otros nutrientes son de gran importancia y de igual manera son esenciales y benéficos para algunas plantas como el Sodio (Na), Silicio (Si) y el Cobalto (Co) (FAO,2002)

#### **5.4 Plagas y enfermedades del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*)**

Las plagas que generalmente se pueden presentar en las plantas son los Ácaros, Áfidos o Pulgones, Minador y Trips.

Entre las enfermedades de mayor importancia que pueden manifestarse en el cultivo se encuentran las siguientes causadas por patógenos que afectan a las hojas de la planta como los hongos *Erysiphe*, *Cercospora* y *Alternaria*, y la bacteria *Pseudomonas syringae*, por otro lado los hongos que afectan las raíces son *Rhizoctonia* y *Fusarium*, según el autor estas enfermedades son frecuentes cuando existen periodos de alta humedad, aunque también se pueden presentar otros como *Cercospora* sp. y *Colletotrichum* s. (Morales, et al., 2012)

#### **5.5 Labores culturales del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*)**

**Control de arvenses:** es una de las labores más importantes, debido a que la presencia de las llamadas malas hierbas, puede interferir en el desarrollo y crecimiento de las plantas, las arvenses requieren espacio, agua, luz y nutrientes lo que genera una competencia entre ellas, además pueden ser hospederas de plagas y enfermedades, entre las que compiten con el cultivo

son, verdolaga, pata de gallina, bledo, coquito (Morales et al., 2012) esta práctica cultural se recomienda hacerla manual.

**Raleo de plantas:** es una labor muy importante después de emerger las semillas, con esta práctica se reduce el número de plantas en un área, de tal manera que favorezca el crecimiento de los mejores individuos, para que estos tengan mejor calidad y producción.

**Riego:** según Morales et al (2012) “es necesario suministrar las cantidades de agua según el desarrollo del cultivo, teniendo cuidado de generar condiciones de capacidad de campo, es decir no inundar el suelo”.

**Aporcar:** es una actividad agrícola, la cual se establece después de aplicar abono o fertilizante con el fin de amontonar el suelo a la raíz o bien para dar soporte a la planta, la mismas puede realizarse manual o mecánica, según Tibaduiza et al (2018) “en general durante el ciclo de cultivo el productor da entre 3 y 4 aporques, después de los primeros riegos o de haber fertilizado y fumigado el cultivo” (p.780)

### 5.5.1 Ciclo vegetativo

se desarrolla en dos etapas, la primera es la vegetativa, la cual, durante el establecimiento del cultivo, se produce la aparición de hojas en la base, las cuales son parecidas al perejil, luego en la segunda etapa, que es la reproductiva, se manifiestan hojas parecidas al hinojo, de igual manera se elongan los tallos y por consiguiente se desarrollan las flores y los frutos (IICA, 2007) su ciclo vegetativo es de 90 a 150 días para producir una cosecha al año con un buen rendimiento.

### 5.5.2 Cosecha

la misma se realiza dependiendo el uso que se le va a dar al producto, por lo general se cosecha para follaje a los 45 - 60 días tras la siembra, antes de que ocurra la respectiva floración, pero si es el caso de producir semilla madura, debemos esperar un poco más, aproximadamente cuatro meses, otros autores como Dávila (2003) señala que para la producción de follaje fresco la cosecha se debe realizar:

Cuando la planta alcanza una altura de 25 a 30 cm y su coloración es verde intenso, según el autor, esto se logra a los 50-60 días después de la siembra en verano y a los 115-125 días después de la siembra en invierno (p.8)

Algo muy importante en la cosecha de Cilantro (*Coriandrum sativum*) de acuerdo con el autor, cuando existe punteamiento prematuro en el mismo, es preferible no cosechar, debido a que no se cumplen con las características deseadas para una buena calidad en la cosecha, este síntoma en las plantas según Yáñez (1988) citado en Dávila (2003) “es un proceso fotomorfogénico provocado por el fotoperiodo largo y las altas temperaturas que ocasionan un cambio en la concentración hormonal endógena” (p.112) las plantas con estas características presentan hojas filiformes, lo que quiere decir, hojas muy delgadas y finas, para posteriormente aparecer el vástago floral, por lo tanto, es muy importante esta sintomatología en la planta ya que si se requiere follaje verde, no se puede hacer la cosecha si se presenta este proceso en el cultivo.

### 5.6 Descripción de la Aeroponía

La palabra Aeroponía viene de los términos griegos “aero” y “ponos” que significa aire y trabajo, dicha técnica es una vertiente de la hidroponía, donde el proceso consiste en cultivar

plantas en un entorno aéreo, cerrado, sin hacer uso del suelo, mediante el suministro de soluciones nutritivas en las raíces por medio de un sistema de riego por nebulización o microaspersión. Según la International Society for Soil-less Culture la Aeroponía es un sistema donde las raíces están expuestas, de manera continua o discontinua, a un ambiente saturado de finas gotas de una solución nutritiva. (Arano C.R., 1990, citado por Dávila & Santos 2014).

### **5.6.1 Estructura de un cultivo aeropónico**

*Sistema de superficies planas inclinadas:* La base del sistema es un marco metálico o de madera dura, construido en forma de prisma triangular, el cual es el que mantiene la estructura. Los dos frentes triangulares deben estar cubiertos con plástico negro, lo mismo que la unión superior de las planchas laterales, a los efectos de darle al conjunto la mayor hermeticidad posible a la luz solar, con el objeto de evitar el desarrollo de algas. Todo el sistema se complementa con un caño alimentador y pulverizadores, un tanque de solución nutritiva con recuperador, una bomba adecuada y un "timer" para regular las aplicaciones a intervalos determinados de tiempo. (Arano, 1990).

*Aeroponía en paneles verticales:* Consiste en paneles planos enfrentados de a pares a 10 cm de distancia entre sí, y colocados en 4 líneas separadas 80 cm una de otra. Cada una de estas líneas de 10 metros de longitud estaba conformada por 10 paneles por lado. Como en el caso anterior la solución nutritiva se riega entre los paneles a través de un caño distribuidor a lo largo de cada fila. (Arano, 1990).

*Aeroponía por niebla en paneles horizontales:* Sistema que usa una densa niebla nutritiva en lugar de la pulverización fina de las partículas mayores usadas en otros sistemas. Las raíces de las plantas se mantienen húmedas dentro de un gabinete pequeño colocado horizontalmente a

unos 60 cm del piso, el cual sirve de soporte a las plantas. Una parrilla de caños plásticos con los pulverizadores respectivos va colocada a aproximadamente 15 cm del piso dentro de la estructura descrita. Los líquidos condensados vuelven al tanque por una ligera pendiente del film plástico utilizado como piso y son recirculados nuevamente como niebla. (Arano C.R., 1990).

### 5.6.2 Control de variables del sistema aeropónico

Un sistema aeropónico se compone de ciertos elementos, mismos que pueden ser controlados electrónicamente con el fin de satisfacer las necesidades propias de la planta descritas a continuación (Portilla, 2016).

**pH:** es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias (Portilla, 2016).

**Riego:** La eficiencia de un método de riego se refiere a la cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular, en relación con la cantidad total de agua que se usa (Portilla, 2016). Los métodos de riego son por microaspersión, riego por goteo, y nebulización.

**Temperatura:** factor que incide en el desarrollo eficiente de la planta, la misma es controlada mediante sensores en el prototipo automatizado, los sensores de temperatura se utilizan para medir el calor para asegurar que el proceso se encuentre, o bien dentro de un cierto rango, lo que proporciona seguridad en el uso de la aplicación, o bien en cumplimiento de una condición obligatoria cuando se trata de calor extremo, riesgos, o puntos de medición inaccesibles.

**Luz, humedad relativa y hora de aplicación:** La luz es un factor importante en la fotosíntesis y para que una planta pueda incorporar nutrimentos en los metabolitos se requiere de

un proceso fotosintéticamente activo en la planta. La humedad relativa influye en la velocidad de evaporación del agua que se aplica, los sensores de humedad se aplican para detectar el nivel de líquido en un depósito, o en sistema de riego para detectar cuando las plantas necesitan agua y cuando no. Por consiguiente, una alta humedad relativa del medio favorece la penetración de los nutrimentos al mantener húmeda la hoja. Las fuentes de luz pueden ser naturales o artificiales.

## **6. Antecedentes de la Aeroponía**

Según, Stanhill, G., & Vaadia, Y. (1967) citado en Castillo (2018) se afirma lo siguiente:

Desde los años 1699 el investigador Woodward fue el primero que experimentó con plantas en medio acuoso usando recipientes con diferente cantidad de suelos disueltos, creando sin saberlo una solución nutritiva que permitía el crecimiento de las plantas, pero no se establecieron los elementos que permitían el desarrollo debido a los bajos conocimientos en química de la época (p.13)

La Aeroponía data de los años cuarenta y una de las primeras investigaciones en el tema corresponde al científico Walter Carter (1942) en su libro "A method of growing plants in water vapor to facilitate examination of roots" Un método para cultivar plantas en vapor de agua para facilitar el examen de las raíces, donde expone una teoría referente al crecimiento de plantas en entorno aéreo.

El primer sistema aeropónico fue desarrollado por el Dr. Franco Massantini en la Universidad de Pia (Italia), lo que le permitió crear las denominadas "columnas de cultivo". Una columna de cultivo consiste en un cilindro de PVC, u otros materiales, colocado en posición

vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento de realizar el trasplante. (Durán, Martínez, & Navas, 2000).

A comienzos de la década de 1980 el doctor Hillel Sofer investigador principal del Instituto Volcani en Ein Gedi desarrolla un método de cultivo cuyo fin era superar las condiciones áridas y calientes en Ein Gedi. Durante un período de 2 años (1986-1988) el doctor Sofer usa el llamado cultivo aero-hidropónico en el cual cuantificó el efecto de los diversos niveles de oxígeno en el crecimiento de la raíz y en la reproducción de plantas. Sus hallazgos fueron publicados en la revista de la Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas.

Otros casos puntuales e importantes acerca de la aeroponía, son durante la década de 1990, avances los cuales fueron llevados por la NASA, donde se realizaron investigaciones y experimentos, cultivando plantas en condiciones de microgravedad, alimentando las raíces con muy poca cantidad de agua pulverizada o nebulizada rica en nutrientes, estos acontecimientos tuvieron resultados muy favorables, donde la cosecha fue mucho mayor que la de cultivos tradicionales, además el sistema Aeropónico de acuerdo a la NASA (2007) permite reducir el uso del agua un 98%, el uso de fertilizantes un 60% y el uso de pesticidas en un 100%, ya que no se registran enfermedades y plagas, por lo tanto se vuelve innecesario el uso de estos productos.

Países como Holanda, Francia, Israel, Estados Unidos, Brasil, Italia y Japón, entre otros, han desarrollado avances significativos, con respecto a este sistema de producción, de acuerdo a Noreña (2009) citado en Aquino (2013) “se han obtenido excelentes incrementos en los rendimientos de hasta 500% en algunos casos en comparación con el cultivo a campo abierto” lo que ha llevado a que dichos países, sean competitivos y ocupen los primeros lugares en exportación de hortalizas y flores a través de esta técnica.

La Aeroponía se ha convertido en una de las técnicas de producción más importantes e innovadoras en el mundo, su eficiencia ha permitido ser utilizada en países como Holanda e Israel con la producción de cultivo de flores, España con el desarrollo de tubérculos de papa y Estados Unidos con el cultivo de menta, existen otros países los cuales están siendo participes con este método de producción agrícola como por ejemplo Perú y México que actualmente tiene cultivos aeropónicos en desarrollo.

En Colombia la investigación e implementación de cultivos aeropónicos está tomando relevancia, son pocas las investigaciones indexadas al respecto desarrolladas en el país, sin embargo son varias las empresas e investigadores reconocidos en esta temática; es el caso del Dr. Antonio Rosas Roa, un profesor, escritor agrícola e investigador quien se ha dedicado desde hace varios años al estudio y desarrollo de la hidroponía y aeroponía, actualmente ofrece en su granja montajes hidropónicos y aeropónicos en variedad de estructuras además de producir forraje verde mediante estos métodos de cultivo.

Martínez, P. (2016) concluye en su artículo “Aeroponía como método de cultivo sostenible, rentable e incluyente en Bogotá D.C, Colombia”, que la Aeroponía según los resultados de las matrices realizadas y la relación costo-beneficio a nivel urbano frente al cultivo tradicional, presenta grandes ventajas a nivel sostenible aun por encima de la hidroponía ya que, los recursos naturales no se ven comprometidos e impactados por la práctica, ayudando a la preservación y conservación de los ecosistemas, además de ahorrar con su propio sistema mediante el reciclaje de nutrientes y el sistema temporizado de riego.

## 7. Estado del arte

Actualmente, la Aeroponía se ha convertido en una fuente de estudio e investigación por parte de universidades, empresas privadas y entidades públicas, que ha permitido mostrar sus avances por medio de artículos, informes, videos, acerca de este sistema de producción. Como lo habíamos mencionado anteriormente la Aeroponía es practicada de manera comercial en distintos países, que han demostrado según sus estudios aplicados, la eficiencia de esta técnica, con respecto a la productividad de las cosechas en comparación con las obtenidas en cultivos tradicionales.

En Colombia se encuentran algunos cultivos bajo este sistema de producción como, por ejemplo y antes mencionado; la Aeroponía Rotacional, expuesta por el Doctor Antonio Rosas Roa, quien ha permitido mostrar sus avances en la Hidroponía y Aeroponía, para brindar una agricultura limpia y de calidad en los productos obtenidos, además según sus investigaciones, el mismo afirma que a través de este sistema, se usa de una manera eficiente el recurso hídrico y se limita el uso de productos químicos

A través de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, en su sede en Tibaitata, en el municipio de Funza- Cundinamarca, se han realizado cultivos aeropónicos, en especial de la producción de Mini Tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) donde se ha puesto en marcha esta tecnología como avance para la agricultura en el mundo, además y según la entidad, cualquier hortaliza puede ser cultivada a través de esta técnica, mostrando resultados favorables frente a otros sistemas de producción,

Aeropónicos de Colombia SAS ubicada en La Estrella – Antioquia, es una de las empresas de cultivos aeropónicos que se encuentran en producción de hierbas aromáticas y

hortalizas en Colombia, donde se han obtenido productos de excelente calidad y plantas con mayores rendimientos por cosecha, el Cilantro (*Coriandrum sativum*), por ejemplo, se ha comercializado a almacenes de cadena como el éxito.

### **7.1 Aeroponía en el cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*)**

Héctor Jaime Chavarría Ardila, Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional sede en Medellín y líder de Aeropónicos de Colombia, nos ha permitido conocer, sus estudios acerca de esta técnica innovadora en el cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*), según sus investigaciones y procesos aplicados a esta especie aromática, los resultados obtenidos fueron muy favorables con respecto a un cultivo tradicional, según el autor, la Aeroponía permite cultivar plantas en lugares donde la agricultura convencional de campo abierto es difícil, además el uso de la tecnología mejora la eficiencia de este sistema de producción.

En un artículo científico reciente, sobre la Automatización de cultivos de Cilantro Aeropónico sin pesticidas, el Doctor Chavarría y otros autores, dan a conocer los resultados obtenidos durante el proceso experimental, según los estudios realizados acerca del cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo esta tecnología moderna, permitió conocer detalladamente el desarrollo de las plantas en el prototipo y en suelo, para las respectivas comparaciones, de acuerdo a los autores, Hoyos, Cándelo Becerra , & Chavarría (2018) se utilizó esta especie, debido a que tiene un rápido crecimiento, según sus estudios aproximadamente 90 días en tierra y aproximadamente 56 días en sistemas Aeropónicos. Para la respectiva investigación se cultivaron cinco plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en cada recipiente, con 56 recipientes para cada soporte de espuma de poliestireno, todo en base a un metro cuadrado del sistema.

Los resultados obtenidos muestran la comparación y ventajas de un cultivo Aeropónico, frente a un cultivo en tierra, en términos de producción por metro cuadrado, como lo muestran las siguientes tablas expuestas por los autores:

<b>Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) Aeroponía vs Tierra</b>						
<b>Tipo de cultivo</b>	Perdidas de cosecha (%)	Producción (Kg/m2) / año	Consumo agroquímico (%)	Precio de nutrientes (\$) cama/año (%)	Fuerza laboral (%)	Grado de riesgo fitopatológico (%)
<b>Aeroponía</b>	8%	89.5	10%	40%	30%	30%
<b>Tierra</b>	20%	18	100%	100%	100%	100%

**Tabla 2:** Comparación del cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en Aeroponía y tierra

*Fuente tomada de (Hoyos, Cándelo Becerra, & Chavarría, 2018)*

<b>Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) Aeroponía vs Tierra</b>					
<b>Tipo de cultivo</b>	Cosechas/año	Grado de riesgo energético (%)	Grado de riesgo climático (%)	Costo de producción (%)	Consumo de energía /2000 m <sup>2</sup>
<b>Aeroponía</b>	18	5%	5%	30%	\$500.000/mes
<b>Tierra</b>	2.5	0%	90%	100%	0

**Tabla 3:** Segunda comparación del cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en Aeroponía y tierra

*Fuente tomada de Aeropónicos de Colombia (Hoyos Velasco, Chavarría Ardila, & Ríos Salazar, 2016)*

De acuerdo a los resultados expuestos en las tablas, se puede evidenciar las ventajas y desventajas que hay entre los dos sistemas de producción en Cilantro (*Coriandrum sativum*), según el Ingeniero Agrónomo Chavarría, el sistema permite reducir el uso de agroquímicos, lo que genera un menor costo en los productos, además el control automático del riego, energía y suministro de nutrientes, mantiene un mejor crecimiento de las plantas, además de lograr un aumento en los niveles de peso y volumen de las mismas.

Los resultados de estas pruebas fueron favorables hasta el día 56 (cosecha) pues de acuerdo con los autores expuestos se pudo constatar que, al cultivar de manera aeropónica, el Cilantro (*Coriandrum sativum*) tiene ventajas como “reducir el uso de pesticidas, espacio, agua y nutrientes” (Hoyos et al., 2018)

Las investigaciones con respecto a la Aeroponía continúan pues en el momento en la Universidad Nacional sede en Medellín, se siguen realizando experimentos con Cilantro (*Coriandrum sativum*), según las investigaciones realizadas en la sede, se tuvo la oportunidad de conocer un nuevo experimento con esta especie en el prototipo Aeropónico, el cual fue realizado por el Agrónomo Héctor Jaime Chavarría y el estudiante De Zootecnia Dónovan Samith Velásquez Cárdenas, quienes me brindaron información detallada acerca de la prueba hecha, de acuerdo a una entrevista con el estudiante Donovan, el nuevo estudio se realizó para evaluar la producción por metro cuadrado, teniendo como variable la densidad de siembra, con el consentimiento de los autores, me permito mostrar algunos de los resultados obtenidos del procedimiento:

Fueron 3 tratamientos cada uno con una distancia y densidad de siembra distinta y resultados según el proceso, como lo vemos a continuación:

<b>Tratamiento</b>	<b>Distancia de siembra/m2</b>	<b>Densidad de siembra/m2</b>	<b>Peso fresco total (g)</b>	<b>Altura promedio final (cm)</b>	<b>Cosecha (días)</b>
<b>1</b>	5x5 hasta el día 28 que se pasó a 15x15 hasta el día 50 que se realizó la cosecha.	36 cocas: 99 plantas	4207	65	50
<b>2</b>	5x5 hasta el día 28 que se pasó a 10x10 hasta el día 50 que se realizó la cosecha.	100 cocas:300 plantas	5862	69	50
<b>3</b>	10x10 desde el día 0 hasta el día 50 de cosecha.	324 cocas: 972 plantas	6350	80,3	50

*Fuente: Información suministrada por el ING. Héctor Chavarría y el estudiante Dónovan Samith Velásquez (2019) autores del experimento.*

Como se puede observar los resultados fueron muy favorables en cuestión de rendimientos por cosecha, además y según los autores mencionados, durante las pruebas, no se visualizaron plagas y enfermedades, por lo tanto, no fue necesario emplear productos químicos, esto demuestra que se puede disminuir el uso de los mismos y reducir costos, además es una forma de contribuir al cuidado del medio ambiente y por ende la salud de los seres vivos.

## **8. Ventajas y desventajas de la aeroponía**

### **8.1 Ventajas**

Cultivo sin suelo: el sistema aeropónico permite la producción de plántulas sin el uso de suelo y sustratos, el cual elimina la opción de enfermedades provenientes del suelo y por ende mejora la sanidad de la planta. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

Menor consumo de fertilizantes: al utilizar soluciones nutritivas la planta obtiene de manera instantánea el nutriente mediante la absorción por sus raíces, comparado con el sistema convencional el cual el nutriente debe ser asimilado a lo largo de la duración del cultivo no siendo totalmente utilizado por la planta por diversos factores. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

Menor consumo de agua: al ser un sistema recirculante, el agua con la solución nutritiva se usa de manera continua, en cual la planta absorbe los nutrientes necesarios y luego es cambiado cada cierto tiempo. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

Mejor sanidad: siendo un cultivo bajo invernadero, la asepsia es controlada, no permitiendo el ingreso de plagas o enfermedades al recinto. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

Mayor número de plantas en menor área: el sistema Aeropónico permite la producción de mayor número de plantas por superficie debido al aprovechamiento del espacio vertical. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

Mayor desarrollo del cultivo en corto tiempo: las pulverizaciones continuas permiten a la planta aprovechar al máximo los nutrientes y por ende asimilarlos en corto tiempo lo que influye

directamente en desarrollo no solo foliar, sino radicular de la planta. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

## **8.2 Desventajas**

Costo inicial elevado: el alto costo de construcción e instalación se debe a los materiales utilizados para el invernadero y el sistema hidráulico en su mayoría. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

Calidad del agua: el agua debe tener ciertas características que permitan la mayor absorción de los nutrientes por la planta, en el cual se recomienda el uso de agua potable para este sistema. (Durán et al. 2000, citado por Mateus 2010).

El proceso necesita de automatización en su sistema de riego como mínimo y es posible implementar un alto nivel de automatización que permita supervisar y controlar una gran cantidad de variables y así garantizar una alta producción y cualidades diferenciadoras en el producto final.

El sistema requiere energía constante para garantizar el funcionamiento del riego del cultivo aerónico y el control del invernadero.

## **9. Agricultura urbana como alternativa sostenible para el medio ambiente**

Hace referencia a una estrategia de desarrollo socioeconómico que promueve la seguridad alimentaria de las comunidades vulnerables, con la producción de alimentos frescos, diversos y sanos en áreas improductivas; debido a la presente contaminación del ambiente esta metodología

se basa en prácticas orgánicas que promueve la conservación del ecosistema y el uso racional de los recursos del territorio.

La agricultura utiliza aquellos espacios dentro de la ciudad es decir terrenos baldíos, públicos y privados, zonas recuperadas por riesgo ambiental y aquellos espacios que se encuentren en graves condiciones de degradación ambiental, siendo esta una alternativa de gestión ambiental orientada a la recuperación de suelos erosionados y la reutilización de aguas contaminadas convirtiéndolos en generadores de actividades agro-productivas.

## 10. Metodología

La metodología para el proyecto aplicado es basada en la observación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, los cuales nos brindaran la información sobre el comportamiento que tuvieron las plantas en el sistema aeropónico y de igual manera del cultivo en suelo, de tal manera que podamos detallar características ejemplares durante todo el ciclo productivo de las mismas,, por lo consiguiente se realizó un análisis comparativo del desarrollo y crecimiento de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en los dos sistemas de producción agrícola.

El proyecto se desarrolló en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, ubicado en el centro-occidente de Colombia, sobre la Cordillera Central de los Andes, el clima presente en la capital es tropical, la temperatura mínima es de 18°C y la máxima es de 28°C la altitud es de 1225 m.s.n.m.

Se realizaron dos procedimientos, el primero con plantas de Cilantro en suelo y el otro con plantas de Cilantro bajo el sistema Aeroponía, para luego recolectar la información del desarrollo de estas durante dos cosechas en ambos procesos.

### 10.1 Procedimiento: plantas de cilantro (*coriandrum sativum*) en suelo

Para el desarrollo de las plantas en suelo se utilizaron los siguientes materiales:

- Semilla de Cilantro variedad Patimorado
- Copas de plástico
- Azadón
- Cinta métrica
- Tablas
- Tierra abonada

- Atomizador
- Manguera
- Fertilizante industrial CRECER 500
- Abono orgánico
- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica

Se realizó el procedimiento en un metro cuadrado de suelo, la estructura fue hecha por tablas las cuales tenían la medición exacta para el proceso, se hizo un drenaje para mantener la humedad adecuada y evitar encharcamientos y luego se incorporó tierra abonada y debidamente desinfectada, se hicieron 100 hoyos con una distancia de siembra de 10x10 cm /m<sup>2</sup> y una densidad de 6.89 gramos/m<sup>2</sup> lo que quiere decir que en cada hoyo se suministró 6 semillas para un total de 600 semillas/m<sup>2</sup>.



*Ilustración 1: Materiales empleados para el cultivo en suelo*

*Fuente. Elaboración Propia*

Teniendo el establecimiento del metro cuadrado de tierra, se procedió a realizar unas aureolas con copas de plástico para colocarlas en cada hoyo, esto se hizo con el fin de dar un procedimiento igual al del sistema Aeropónico, además sirvió de guía para incorporar las semillas sin que estas se salieran del mismo, después de esto se realizó un riego para mantener húmedo el suelo y de esta manera permitir la germinación de las semillas.



*Ilustración 2: Establecimiento del Cultivo en suelo*

*Fuente: Elaboración Propia*

Durante las dos cosechas se realizó el mismo procedimiento, pero con materiales nuevos para evitar contaminación o alteraciones en los resultados.

### **10.1.1 Labores realizadas en el cultivo de cilantro (*coriandrum sativum*) en suelo**

**Riego:** el suministro hídrico fue manual (manguera), este se hacía de acuerdo a las condiciones ambientales presentadas durante el día, si, por ejemplo las temperaturas eran demasiadas altas, se realizaba un riego en la mañana y en la tarde, pero en caso contrario solo en la mañana, de igual manera hubo días de lluvia en los cuales no fue necesario el suministro de

riego, además de ello, se hacía una prueba de puño, la cual consistía en presionar una parte de la tierra con la mano para determinar si la misma tenía exceso o muy poca cantidad de agua.

**Control de arvenses:** las llamadas malas hierbas, fueron controladas manualmente, las cuales eran arrancadas en su totalidad para evitar que volvieran a crecer, la observación se hacía diariamente para determinar la presencia de estas y hacer la limpieza correspondiente.

**Trasplante:** se mantuvo 20 copas en germinación como alternativa para el trasplante de aquellas semillas que no emergieron de los hoyos.

**Raleo de plantas:** se realizó 8 días después de la siembra y consistió en arrancar las plántulas que habían nacido muy juntas, débiles y que no habían tenido un crecimiento uniforme, esto con el fin de que no haya una competencia por nutrientes, espacio, luz y agua, de tal manera que las otras puedan tener un desarrollo favorable para la cosecha.

**Fertilización:** de acuerdo a los requerimientos nutricionales del Cilantro (*Coriandrum sativum*), el mismo necesita de Macronutrientes y Micronutrientes, por lo tanto, se suministró una fertilización foliar con un producto llamado CRECER 500 (Fertilizante compuesto NPK, con elementos menores) el Nitrógeno como lo habíamos mencionado anteriormente es esencial para fabricar, proteínas y aminoácidos en las plantas, además fomenta el crecimiento y asegura una producción fotosintética máxima en las hojas para mayor follaje, por lo consiguiente el producto que contiene un 42% del mismo, se suministró 21 días después de la germinación con una dosis de 5 gramos por litro en un metro cuadrado vía foliar, la dosificación fue aplicada con asesoría agronómica.

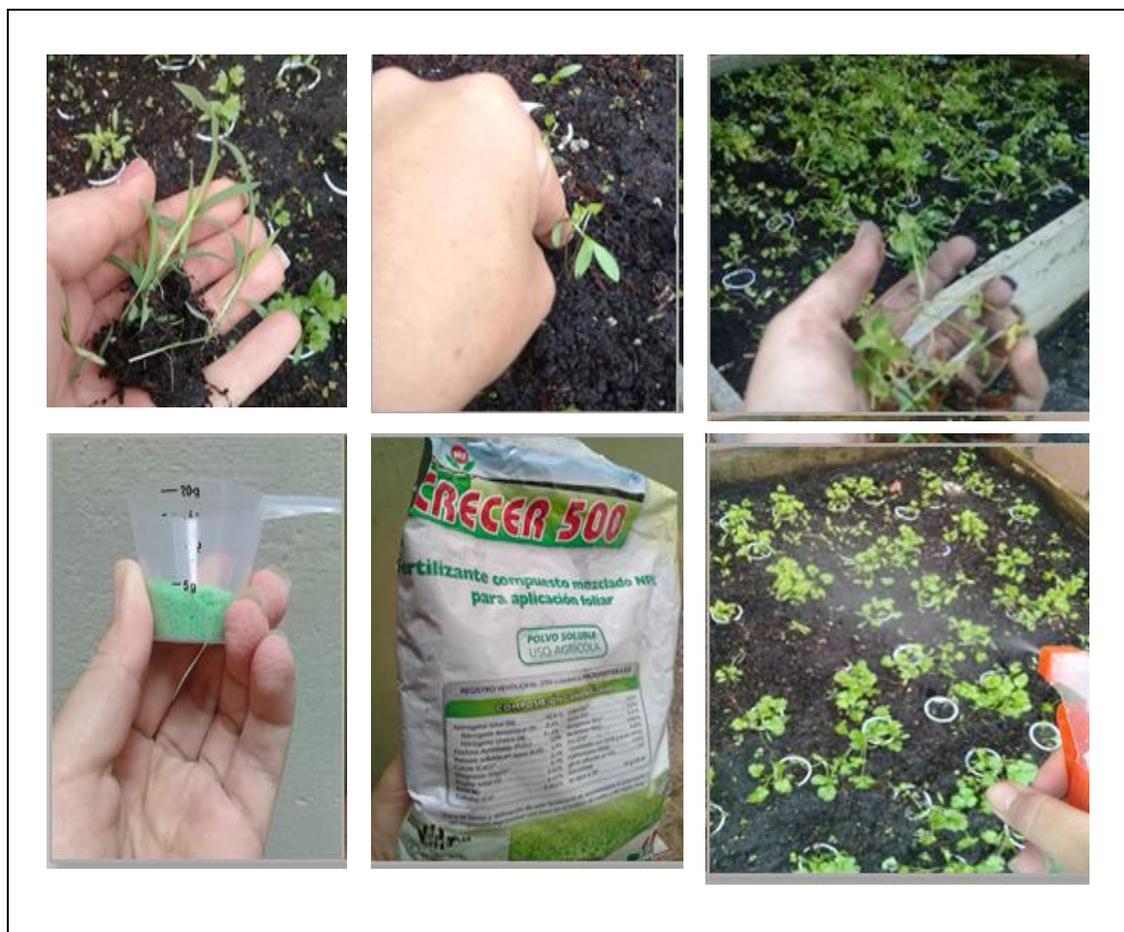
La fertilización con CRECER 500 fue suministrada una sola vez durante la primera cosecha, en la segunda se hicieron dos aplicaciones una a los 21 días y la otra, 15 días después, esto con el fin de mejorar el desarrollo de las plantas.

**Abonado:** se realizó a los 30 y 45 días después de la siembra, con un abono orgánico llamado compost (abono natural, que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, los cuales han sido descompuestos bajo condiciones controladas) el mismo ayuda a la estructura del suelo, crecimientos de las raíces y proporciona nutrientes para las plantas, todos los beneficios que proporciona este producto, ayuda a la fertilidad del suelo.

Se suministro 10 libras de compost y la aplicación se realizó alrededor de todas las plantas tanto en la primera como en la segunda cosecha, de igual manera al hacer este procedimiento se hizo como labor cultural incluida el aporque, para proteger, favorecer el desarrollo de las raíces, oxigenar el suelo y también facilitar el riego.

**Condiciones ambientales:** fue necesario e indispensable la observación diariamente de las condiciones climáticas presentadas durante el desarrollo de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*), debido que, durante las dos cosechas, se presentaron días soleados y lluviosos, por lo consiguiente, se incrementó el riego cuando las temperaturas eran muy altas y caso contrario se disminuyó el mismo, para no generar un problema de humedad y que tuviera consecuencia de enfermedades producidas por hongos, no se contó con los siguientes instrumentos para controlar las variables de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica (Peachimetro o Potenciómetro, Higrómetro, Conductímetro) debido al costo de los aparatos, aunque siempre hubo un monitoreo en la humedad, color y textura del suelo como base para determinar la falta o carencia de nutrientes, un ejemplo de ello es el color negro en el suelo, que

quiere decir que existe cantidad de materia orgánica descompuesta ósea un suelo fértil, pero en el caso del color rojo está asociado a pH ácidos con baja fertilidad en los suelos y otro ejemplo y uno de los más importantes es la coloración gris que nos indica un drenaje malo, debido a la ausencia de oxígeno al ser reemplazada por agua, por lo tanto fue una de las alternativas que se tomaron para identificar problemas en el cultivo.



*Ilustración 3: Labores de cultivo realizadas*

*Fuente: Elaboración Propia*

## 10.2 Procedimiento: plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) en el sistema aeropónico

Para el proceso del Cultivo Aeropónico de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en el prototipo se utilizaron los siguientes materiales:

- Semilla de Cilantro variedad Patimorado
- 100 copas de plástico
- Cinta métrica
- Icopor
- Turba
- Soluciones nutritivas (elementos mayores y menores)
- Sistema Aeropónico automatizado
- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica

**Semillero:** se realizó con un material orgánico llamado Turba, la cual es muy utilizada en semilleros gracias a su porosidad y retención de agua, lo que permite que las plántulas tengan un adecuado anclaje radicular. Se emplearon 100 copas de plástico en las cuales se incorporó el material orgánico, para luego suministrar las 6 semillas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en cada copa de plástico, para un total de 6.89 gr equivalente a 600 semillas, sin embargo, se adicionó 20 copas más para garantizar la germinación de las copas requeridas para el prototipo y de igual manera se suministró la misma cantidad de semilla.

Las copas de plásticos fueron puestas en una lámina de Icopor, en la cual se hicieron unos orificios para incorporar las copas de plástico, además este tipo de semillero permitió mantener firmes las mismas y hacer más fácil el traslado hasta el Prototipo Aeropónico.

En las dos cosechas se realizó el respectivo semillero, pero con materiales nuevos como método de asepsia y también se empleó la misma cantidad de semilla y por consiguiente el mismo procedimiento.



*Ilustración 4: Semillero para el sistema Aeropónico*

*Fuente: Elaboración Propia*

Cada copa tenía sus respectivos orificios para el drenaje y por consiguiente para la exposición de las raíces al momento de suministrar la solución nutritiva.

**Labores del semillero:** Las condiciones de humedad, temperatura y aireación, fueron controladas, mediante la observación diariamente, debido a que era necesario mantener húmedo el sustrato, pero sin exceso de agua, al igual mantener el semillero en un lugar cálido con una temperatura de 22°C que es la óptima para que suceda el proceso.

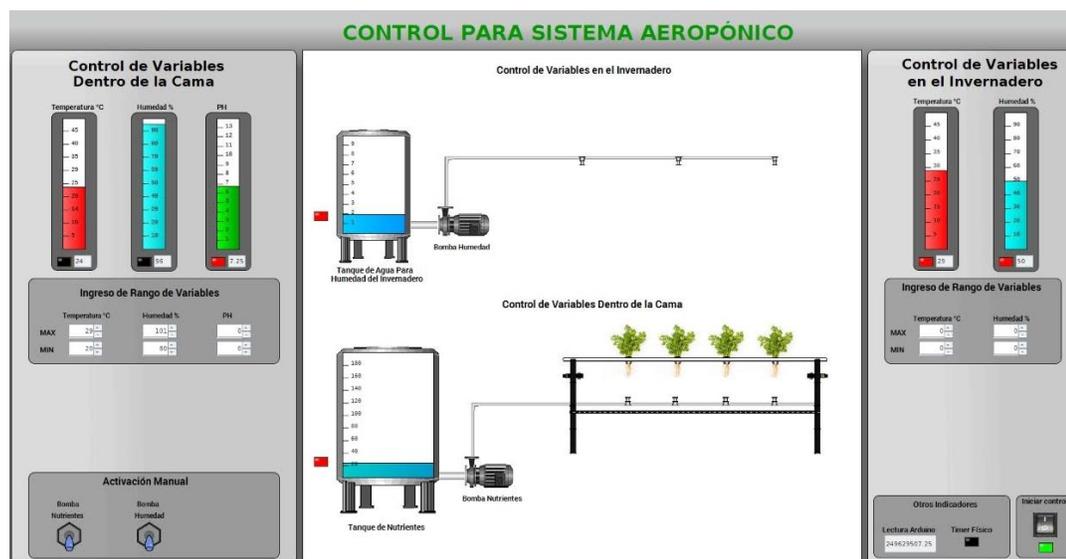
### 10.2.1 Componentes del Sistema Aeropónico Automatizado

El Prototipo Aeropónico consta de 2 metros cuadrados, con una lámina de Icopor que consta de 200 orificios (100orificios/m<sup>2</sup>) a una distancia de 10x10 cm, en los cuales se incorporaron las 100 copas con sus respectivas plántulas.

En la primera cosecha se utilizó un m<sup>2</sup> y para la siguiente el otro m<sup>2</sup> con el mismo procedimiento llevado a cabo en la primera.

El prototipo está conformado de los siguientes implementos para el control del crecimiento y desarrollo de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*).

**Raspberry:** es una computadora la cual maneja un software que de manera gráfica permite manipular y monitorear las variables de temperatura y humedad, pH y conductividad eléctrica, estos sensores envían toda la información a la raspberry para el análisis correspondiente.



*Ilustración 5: Interfaz gráfica*

*Fuente: SIART (2019)*

**Tanque de agua:** con capacidad para 250 litros, en el mismo se incorporó las soluciones nutritivas, de acuerdo con el requerimiento nutricional empleado para el ciclo vegetativo del Cilantro (*Coriandrum sativum*).

**Bomba eléctrica:** con un caballo de fuerza, es la encargada de impulsar la solución nutritiva desde el tanque hacia el área de siembra a través de la tubería de distribución.

**Medidor de presión:** encargado de moderar la presión en el sistema Aeropónico.

**Tapa de potencia:** la misma es encargada de controlar los tiempos de riego de la bomba.

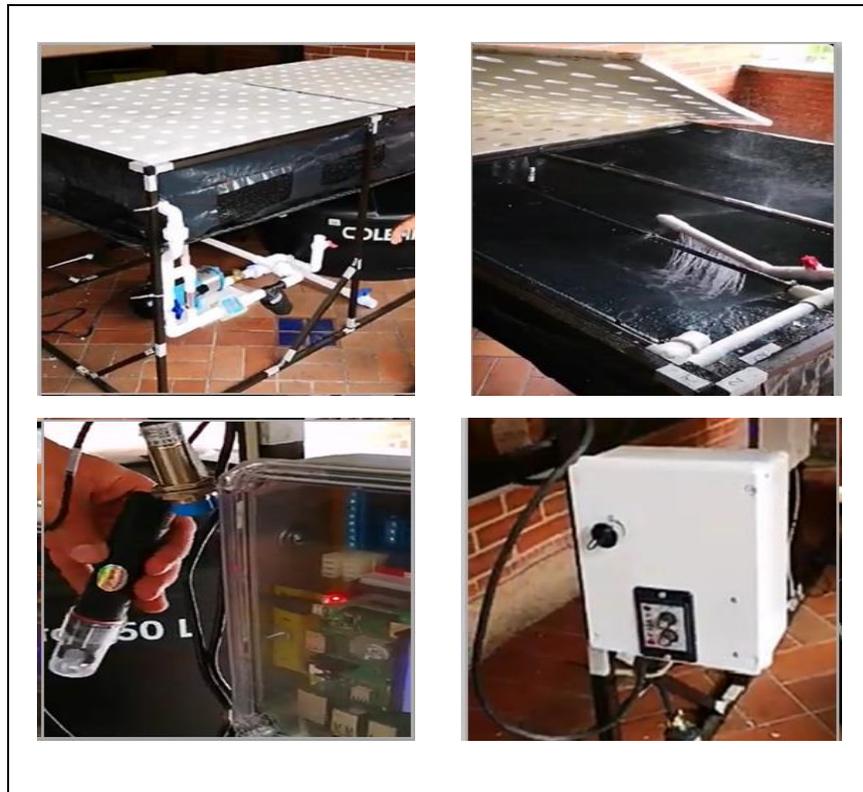
**Tapa de control y automatización:** es el encargado de que todos los dispositivos que componen el prototipo funcionen correctamente, hay dos una digital y la otra de respaldo, la digital es con la que usuario interactúa mediante la interfaz, y la de respaldo es un contador en el cual cada 6 minutos hace el riego durante 5 segundos.

**Sistema de riego por microaspersión:** es el instrumento mediante el cual el agua de riego con los nutrientes es sometida a presión para convertirse en gotas menudas que se esparcen uniformemente sobre las raíces de las plantas, se empleó este tipo de riego, para que las microgotas quedaran adheridas a las raíces y de esta manera permitir la humedad y disponibilidad de nutrientes en las mismas.

**Tubería de distribución:** es la encargada de circular el agua con la solución nutritiva hacia las raíces.

**Sensores de pH, Temperatura, Humedad y Conductividad eléctrica:** son muy importantes, debido a que se utilizan para llevar un control en el desarrollo de las plantas, por ejemplo los sensores de temperatura permiten medir el calor para asegurar que el proceso se

encuentre dentro del rango, en este caso 20°C a 28°C con el sensor de humedad se detecta si las plantas necesitan agua y cuando no, con el sensor de pH se monitorea el rango en el que debe estar el cultivo por ejemplo el Cilantro esta entre 5,5 a 7 y por otro lado la conductividad eléctrica que permite saber si los nutrientes están llegando adecuadamente a las plantas.



*Ilustración 6: Sistema Aeropónico Automatizado*

*Fuente: Elaboración Propia*

Se hicieron los respectivos ensayos para probar el sistema en su totalidad (Riego, sensores, energía)

**Traslado de Plántulas al Sistema Aeropónico:** De acuerdo con lo anterior y después de haber ensayado el prototipo, el semillero con el respectivo raleo de plantas fue trasladado al sistema a los 15 días después de haber germinado las plántulas y que estas tuvieran la raíz expuesta en los orificios de las copas, con el fin de suministrar por microaspersión la solución

nutritiva en las mismas, allí se incorporaron 100 copas con los especímenes al metro cuadrado para su respectivo desarrollo.

Las soluciones nutritivas fueron suministradas de acuerdo con el requerimiento nutricional del Cilantro (*Coriandrum sativum*), la fórmula que se suministro fue la siguiente con la asesoría del Ingeniero Agrónomo Héctor Chavarría, quien según su experiencia en el tema de la Aeroponía y soluciones nutritivas nos proporciona la siguiente dosificación para el cultivo.

<b>Dosificación</b>											
<b>ppm /200 L</b>											
<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>B</b>	<b>Mo</b>
<b>226</b>	50	214	210	65	90	5.0	0.5	0.13	0.11	0.26	0.05

*Tabla 4: Solución nutritiva del Cilantro (*Coriandrum sativum*)*

*Fuente: Asesoría Agronómica*

Las partes por millón (ppm) es una unidad de concentración que sirven para expresar concentraciones que están en cantidades muy pequeñas y se representa cuando es masa/volumen como; mg/L o también mg de soluto en un litro de solución, lo quiere decir que es la sustancia que se va a disolver en un solvente donde ambos formaran la solución nutritiva, por lo consiguiente las partes por millón nos ayudara a expresar la cantidad de soluto que hay en dicha solución.

Los productos empleados para la preparación de los nutrientes fueron los siguientes: Calcinit (Nitrato de Calcio) Solunk, Ácido Fosfórico, Hidróxido de Potasio, Sulfato de Hierro, Magnesio, Zinc, Cobre, Molibdato de Sodio y Ácido Bórico.

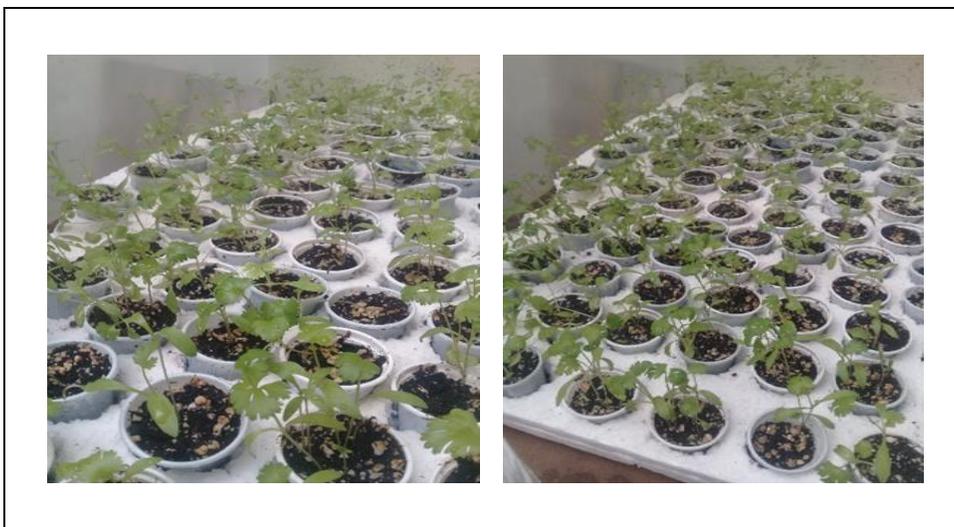
Luego de tener los nutrientes listos se dispuso a suministrar los mismos a 200 L de agua, para luego colocar en funcionamiento el sistema y de esta manera analizar el desarrollo de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) con variables controladas y monitoreadas.

- El riego fue programado cada 6 minutos con una frecuencia de 5 segundos, aunque dependiendo del comportamiento de las plantas frente a la humedad, se programaba el mismo a otras frecuencias.
- El rango de temperatura fue de 20°C a 28°C
- Humedad relativa: 80% y 95% la humedad es elevada debido al riego por microaspersión, por ser constante se eleva la misma.
- El rango de pH fue de 6 a 7

### **10.2.2 Labores del Cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en el Sistema Aeropónico**

Durante el desarrollo de las plántulas, se hizo una revisión cada dos días, para mirar la adaptación y evolución de estas, además durante todo el proceso se seleccionaron 10 plantas, las cuales fueron medidas para obtener un promedio final de altura, de igual manera se hicieron observaciones en color, monitoreo de plagas y enfermedades, síntomas de exceso o carecía de nutrientes y control de variables de temperatura, humedad y monitoreo del pH y conductividad eléctrica.

Adema se evaluó al final del proceso el peso final de biomasa aérea en el metro cuadrado que se utilizó como muestra de producción para las dos cosechas de *Coriandrum sativum*.



*Ilustración 7: Germinación del semillero*

*Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 8: Plántulas instaladas en el sistema Aeropónico*

*Fuente: Elaboración Propia*

## 11. Resultados

### 11.1 Plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en suelo

#### 11.1.1 Primera cosecha

Durante el desarrollo de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en suelo, se pudo constatar el periodo para la germinación, color antes, durante y después del proceso, altura final de las plantas para la cosecha y el peso total de biomasa aérea, de igual manera hubo factores de gran importancia que fueron registrados como por ejemplo; la presencia de enfermedades, propagación de arvenses y por consiguiente los cambios climáticos, que fue uno de los principales limitantes para el adecuado desarrollo y crecimientos de las plantas.

- **Siembra;** 18 de marzo de 2019
- **Cosecha:** 16 de mayo de 2019

Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Numero de Hoyos/m2	Germinación efectiva/hoyos	% de germinación /m2	Tiempo de germinación suelo/días	Total /semillas germinadas/m2	Raleo de plantas	Total, de plantas en producción
100	89	89	15	440	128	312

*Tabla 5: Resultados de germinación en suelo (Cosecha 1)*

*Fuente: Elaboración propia*

Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Total, plantas cosechadas	Color de las plantas			Altura promedio final/cm	Biomasa aérea final/gr	Cosecha /días
	Germinación	Vegetativa	Productiva			
82	Verde intenso	Verde con menor intensidad	Verde tornando amarillo	19	311	59

**Tabla 6:** Resultado final/m<sup>2</sup> (cosecha 1)

*Fuente;* Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados en las tablas, la germinación en el metro cuadrado de suelo fue exitosa debido a que el 89% de los hoyos germinó, frente a un 11% que no, de acuerdo a el porcentaje de germinación de la semilla de Cilantro el rango está entre 70 a 85%, con respecto a la producción de la primera cosecha no fue muy buena en número plantas, altura, peso y color, debido a que durante el experimento se presentaron distintos factores que intervinieron en el desarrollo adecuado de las plantas, por ejemplo los siguientes:

**Presencia de arvenses:** fue constatada durante todo el periodo vegetativo del cultivo, las malas hierbas que se presenciaron al comienzo y al final de la cosecha, fueron el pasto (gramíneas) y el trébol (Fabaceae) se realizaba limpieza cada 3 días o cuando existía presencia de estas, pero su propagación y crecimiento era muy rápida lo que generaba una competencia persistente de agua, nutrientes y espacio, con los especímenes de Cilantro (*Coriandrum sativum*).



*Ilustración 9: Arvenses presentes en el cultivo de Cilantro (Coriandrum sativum)*

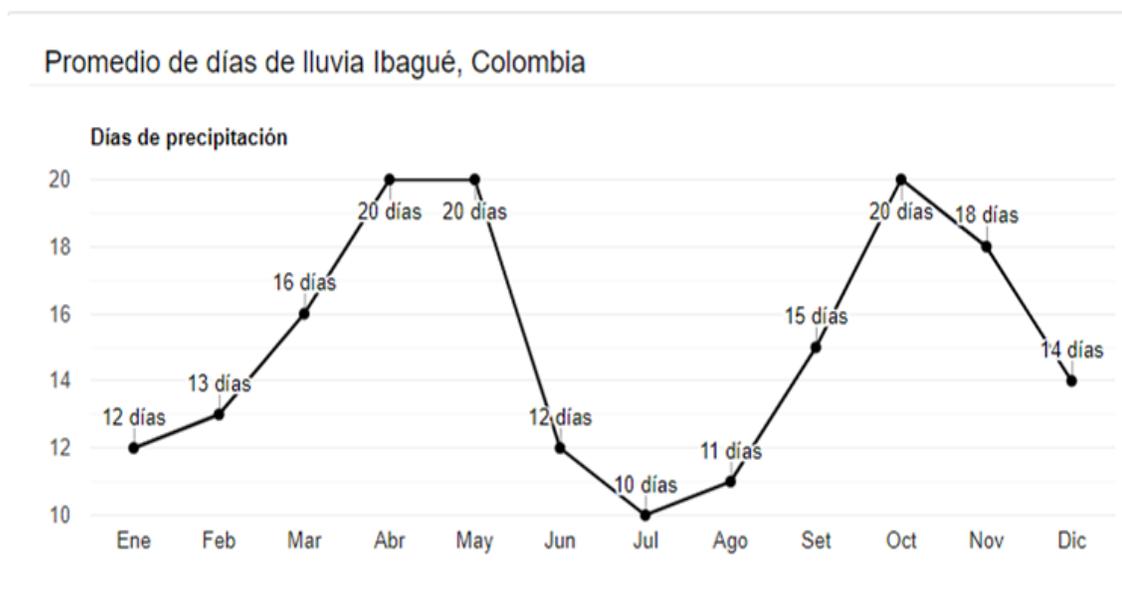
*Fuente: Elaboración propia*

**Cambios climáticos:** el exceso de agua en el suelo causado por las intensas lluvias presentadas durante el experimento, aumento considerablemente la humedad en el suelo y en las hojas de las plantas, debido a que el agua se acumula en las mismas lo que genera problemas de enfermedades y absorción de nutrientes, por lo anterior, muchas de las mismas se pudrieron debido a enfermedades fúngicas, como, por ejemplo:

- **Botrytis:** también conocida como podredumbre gris, este hongo patógeno se propaga fácilmente cuando el clima es muy húmedo, las plantas que fueron afectadas por el mismo no sobrevivieron, debido a que el follaje empezó a dañarse levemente lo que permitió pérdidas considerables en el cultivo. La identificación del hongo fue hecha por asesoría agronómica.
- **Pudrición en la raíz:** la misma además de absorber agua y nutrientes también respira, por lo tanto, debe haber una oxigenación en el suelo, al haber un exceso de agua en el suelo

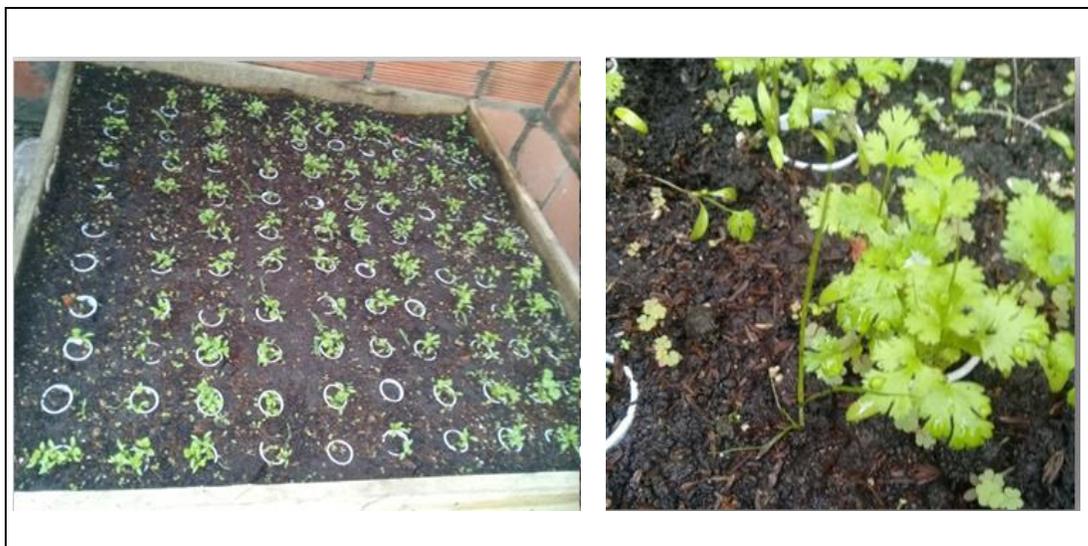
provoca asfixia de las raíces, por lo tanto, los tejidos radiculares se pudren debido a este factor y las plantas comienzan a perder vigor, color, sus hojas se caen y de igual manera marchitez de estas.

En la siguiente grafica podemos observar los días de lluvias que se presentaron en la ciudad de Ibagué lugar donde se llevó a cabo el proyecto.



Tomado de: <https://www.weather-col.com/es/colombia/ibague-clima>

Como podemos observar, durante abril y mayo, meses donde se mantuvo la producción de Cilantro (*Coriandrum sativum*), hubo precipitaciones muy altas, lo que causo los problemas antes mencionados, estos cambios climaticos fueron constantes, pues muchas veces, en tiempos de lluvia, también hubo días soleados, lo que generaba cambios bruscos de temperatura en las plantas.



**Ilustración 10:** representación del cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en suelo

**Fuente:** Elaboración Propia



**Ilustración 11:** Pudrición de raíz y hojas del cultivo en suelo (Cosecha1)

**Fuente:** Elaboración Propia

Durante todo el ciclo productivo del Cilantro, no se presentaron plagas, pero si otros insectos como abejas y avispas no considerados amenaza para las plantas.

### 11.1.2 Segunda Cosecha

En la segunda cosecha, se realizó el mismo procedimiento que en la primera, se tomó información del color antes, durante y después del experimento, al igual, que el porcentaje y tiempo de germinación, altura promedio final de las plantas para la cosecha, peso total de

biomasa aérea, tiempo del ciclo productivo y el registro de factores de gran importancia como presencia de enfermedades, propagación de arvenses y factores climáticos.

- **Siembra:** 7 de junio de 2019
- **Cosecha:** 29 de julio de 2019

Cilantro/ ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Numero de Hoyos/m2	Germinación efectiva/hoyos	% de germinación /m2	Tiempo de germinación suelo/días	Total /semillas germinadas/m2	Raleo de plantas	Total, de plantas en producción
100	92	92	12	425	97	328

**Tabla 7:** Resultados de germinación en suelo/m2 (Cosecha 2)

*Fuente: Elaboración propia*

Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Total, plantas cosechadas	Color de las plantas			Altura promedio final/cm	Biomasa aérea final/gr	Cosecha /días
	Germinación	Vegetativa	Productiva			
266	Verde intenso	Verde normal	Verde claro	23	813	52

**Tabla 8:** Resultado final del cultivo en suelo (Cosecha 2)

*Fuente; Elaboración Propia*

De acuerdo con los resultados en las tablas, la germinación fue más rápida y el porcentaje de germinación fue mayor, hubo más plantas productivas, una altura mayor y un aumento considerablemente en el peso de la biomasa aérea, además el ciclo productivo fue más corto, aunque hubo factores que intervinieron en el adecuado desarrollo de las plantas durante todo el ciclo productivo, los cuales afectaron la calidad y el color del follaje, como por ejemplo los siguientes:

**Presencia de arvenses:** al igual que en la primera cosecha, se manifestaron malas hierbas, que como lo habíamos mencionado anteriormente, pueden interrumpir el crecimiento y productividad de las plantas de Cilantro (*Coriandrum sativum*), de igual manera se realizó la limpieza cada vez que las mismas aparecían en el suelo.

**Presencia de plagas:** en el proceso de la segunda siembra, se pudo notar insectos no considerados plaga como abejas y avispas, pero al revisar las hojas de las plantas, se pudo visualizar araña roja, la misma es un arácnido de medio milímetro, son ácaros muy pequeñitos que solo pueden ser vistos con una lupa, la presencia del mismo es notoria debido al color rojizo que muestra en el envés de la hoja, esta plaga puede causar daños considerables, debido a que por ser de aparato bucal chupador, succiona la savia, lo que genera hojas amarillas y secas que se pueden desprender de la planta, además de reducir la fotosíntesis, lo que puede perjudicar seriamente el rendimiento del cultivo.

**Clima:** también jugó un papel fundamental en el desarrollo de las plantas, en este caso no se presentaron lluvias, sino días soleados con temperaturas muy altas, las cuales aceleraron los procesos biológicos de las mismas, este factor puede ser positivo, pues debido a ello se tuvo una cosecha más temprana, pero también fue negativo, ya que se generó un exceso de respiración que implica gastar energía, lo cual es desfavorable para continuar un adecuado crecimiento en el

Cilantro (*Coriandrum sativum*), también genera un estrés hídrico en las mismas, donde las plantas se estresan por conservar agua cerrando sus estomas, por ejemplo; durante los días con temperaturas elevadas, algunas plantas presentaron punteamiento prematuro, que al incrementarse la temperatura también se incrementan las giberelinas y las citoquininas, esto quiere decir que se adelanta el proceso, lo que genera hojas filiformes para luego aparecer el vástago floral, por lo tanto, no se cosecharon dichas plantas. Durante el procedimiento no se registraron enfermedades.



**Ilustración 12:** Cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en suelo (Cosecha 2)

**Fuente:** Elaboración propia



**Ilustración 13:** Punteamiento prematuro del cultivo en suelo (Cosecha 2)

**Fuente:** Elaboración Propia

## 11.2 Plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) en el sistema aeropónico

### 11.2.1 Primera Cosecha

Se realizó la interpretación de resultados de las distintas variables que interfieren en el proceso de crecimiento y desarrollo de las plantas en el sistema Aeropónico, además de las características físicas que presentaron las mismas frente a las variables controladas y monitoreadas.

De acuerdo con lo anterior, se realizó un seguimiento continuo del experimento realizado, desde la germinación hasta la cosecha, allí se obtuvieron resultados tanto cualitativos como cuantitativos, como, por ejemplo; la ganancia final de biomasa aérea, altura promedio final, tomando como referencia el metro cuadrado, el tiempo del ciclo productivo, el color de las plantas y factores externos que pueden interferir en el desarrollo de los especímenes.

- **Siembra;** 18 de marzo de 2019
- **Cosecha:** 8 de mayo de 2019

Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Numero de copas/m2	Germinación efectiva/copas	% de germinación /m2	Tiempo de germinación suelo/días	Total /semillas germinadas/m2	Raleo de plantas	Total, de plantas en producción
100	90	90	10	435	88	347

**Tabla 9:** Resultados germinación del semillero (Cosecha 1)

**Fuente:** Elaboración propia

Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Total, plantas cosechadas	Color de las plantas			Altura promedio final/cm	Biomasa aérea final/gr	Cosecha /días
	Germinación	Vegetativa	Productiva			
290	Verde intenso	Verde normal	Verde claro	24	1410	51

**Tabla 10:** Resultado final sistema Aeropónico (Cosecha 1)

*Fuente:* Elaboración Propia

La Aeroponía es una de las técnicas más avanzadas y de alta tecnología, que permiten el desarrollo y crecimiento de plantas en un entorno cerrado y con las raíces suspendidas en el aire, para luego ser sometidas a un riego por microaspersión que permite suministrar las soluciones nutritivas para generar productos de alta calidad, por lo consiguiente y de acuerdo al resultado de las tablas, la germinación en el semillero fue más rápida, esto es debido a que las condiciones ambientales son controladas para que suceda eficazmente el proceso, la altura tuvo un promedio regular, se cosecho a esta, debido a que el follaje se mostraba con las características para realizar el proceso, no se podía permitir más el crecimiento ya que disminuía la calidad de las hojas, por lo tanto era el momento exacto para realizar la cosecha, de acuerdo a las investigaciones realizadas el peso fresco de follaje fue favorable bajo esta técnica, el tiempo del ciclo productivo fue normal de acuerdo al estudio realizado.

Las variables de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica, se mantuvo estable en todo el experimento, el rango fue el siguiente:

- **Temperatura Promedio:** 25.21 °c
- **Humedad Promedio:** 93.90%

- **pH:** 6.8
- **Conductividad Eléctrica:** 2.5

Alguno de los sucesos ocurridos durante el procedimiento en el sistema Aeropónico, fueron los siguientes:

**Falla en el sistema:** el prototipo automatizado funciona con energía eléctrica, esto quiere decir que al no tener la misma, los sensores y demás dispositivos que lo componen no funcionan, por lo tanto, las plantas se pueden ver afectadas debido a que no tienen el suministro de agua en sus raíces, lo que genera un secado parcial de las mismas, en el procedimiento ocurrió esto, debido a unas fallas en la energía, lo que ocasiono que algunas plantas tuvieran un estrés hídrico por falta de agua en sus raíces, algunas de las mismas no se sobrepusieron frente a este problema, por lo tanto. no continuaron su desarrollo y crecimiento, lo cual toco retirarlas del sistema.

**Exceso de Humedad:** algunas plantas presentaron coloración amarilla en sus hojas y marchitez, debido a un exceso de humedad en el sustrato a base turba, este material vegetal retiene bastante humedad, después de una semana se disminuyó los pulsos de riego, para evitar complicaciones con las demás plantas.

**Iluminación:** el lugar donde se encontraba el prototipo no contaba con iluminación directa, la cama recibía aproximadamente tres horas de sol, recordemos que las plantas de Cilantro crecen muy bien a pleno sol, por lo tanto, este factor pudo haber generado que las mismas no tuvieran una mejor altura y mayor peso de follaje fresco con base en las investigaciones sobre el tema.

Durante todo el proceso desde la germinación hasta la respectiva cosecha no hubo presencia de arvenses, plagas y enfermedades, por lo tanto, no fue necesario el uso de productos

químicos, las labores culturales fueron el raleo de plantas y extraer aquellas que se encontraban en mal estado por exceso de humedad.



*Ilustración 14: Exceso de humedad en el cultivo Aeropónico*

*Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 15: Desarrollo del cultivo bajo el sistema aeropónico (Cosecha 1)*

*Fuente: Elaboración Propia*

### 11.2.2 Segunda Cosecha

Se realizo al igual que en la primera cosecha, la interpretación de resultados de las distintas variables que interfieren en el proceso de crecimiento y desarrollo de las plantas en el sistema Aeropónico se tomó lo siguiente: ganancia final de biomasa aérea, altura promedio final, tiempo del ciclo productivo, color de las plantas, características físicas y factores externos presentados durante el desarrollo de las plantas en el sistema.

- **Siembra:** 7 de junio de 2019
- **Cosecha:** 25 de julio de 2019

Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Numero de copas/m2	Germinación efectiva/copas	% de germinación /m2	Tiempo de germinación suelo/días	Total /semillas germinadas/m2	Raleo de plantas	Total, de plantas en producción
100	88	88	10	402	44	358

*Tabla 11: Resultados germinación semillero (Cosecha 2)*

*Fuente: Elaboración propia*

Cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) Patimorado						
Total, plantas cosechadas	Color de las plantas			Altura promedio final/cm	Biomasa aérea final/gr	Cosecha /días
	Germinación	Vegetativa	Productiva			
320	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde normal	31	2178	48

*Tabla 12: Resultado final sistema aeropónico (Cosecha 2)*

*Fuente: Elaboración propia*

De acuerdo a la tabla de resultados se puede observar un mejor rendimiento, con respecto a la primera cosecha, allí se obtuvo una altura mayor, lo cual mejoro el peso del follaje fresco total y un ciclo productivo más corto, debido a que durante el procedimiento se adecuo el sitio del prototipo, donde se instaló en un espacio el cual brindo una mayor iluminación a las plantas durante el día, aproximadamente 6 horas de sol, por lo tanto los resultados fueron favorables, se mostró un vigor y calidad en las hojas, además el color de las mismas no presento variaciones durante todo el proceso, lo que determino que la luz es parte fundamental para el adecuado desarrollo de las plantas.

Las variables de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica, se mantuvo estable en la segunda cosecha, el rango fue el siguiente:

- **Temperatura Promedio:** 26.51
- **Humedad Promedio:** 90.78
- **pH:** 6.9
- **Conductividad Eléctrica:** 2 a 2.5

Alguno de los sucesos ocurridos durante el procedimiento en el sistema Aeropónico, fueron los siguientes:

**Exceso de Humedad:** se volvió a tener problemas con la humedad en el sustrato, a pesar de que en la segunda cosecha se utilizó poca turba para evitar inconvenientes con la misma, esto no fue suficiente, lo que determino que algunas plantas presentaran problemas en su crecimiento y desarrollo, las mismas fueron retiradas del sistema para evitar propagación de enfermedades fúngicas hacia las demás plantas.

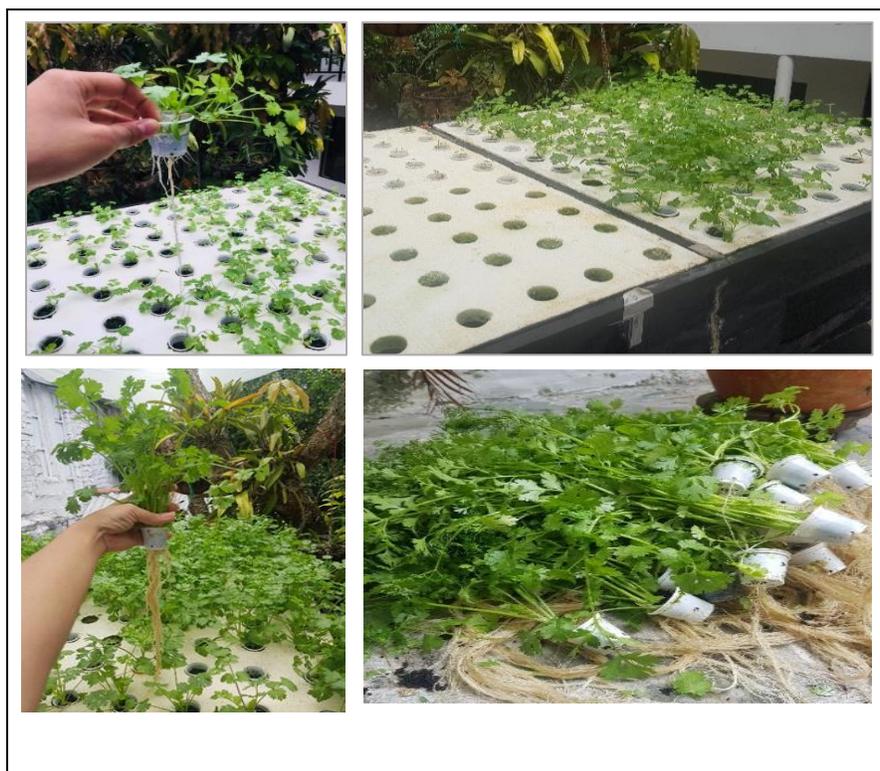
No hubo problemas de arvenses, enfermedades y plagas, por lo consiguiente no fue

necesario el uso de productos químicos durante el procedimiento desde la germinación hasta la respectiva cosecha.



*Ilustración 16: Problemas de humedad en el sustrato (Cosecha 2)*

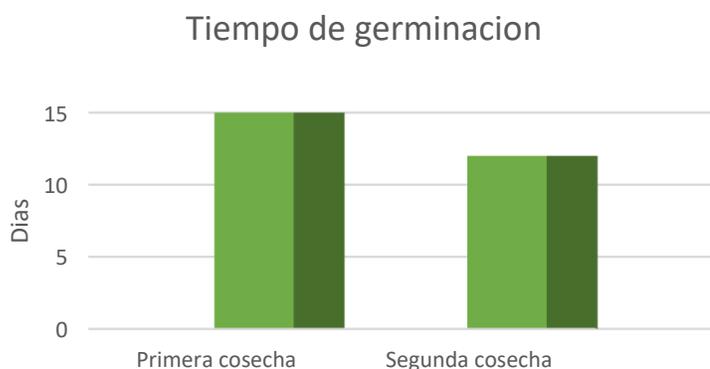
*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 17: Desarrollo del cultivo de cilantro (Coriandrum sativum) en el sistema aeropónico (Cosecha 2)*

*Fuente: Elaboración Propia*

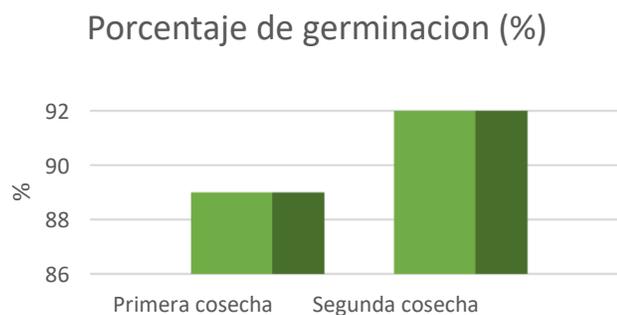
## 12. Análisis comparativo de las cosechas en suelo



**Gráfico 2** Comparación del tiempo de germinación en la primera y segunda cosecha en suelo

*Fuente; Elaboración Propia*

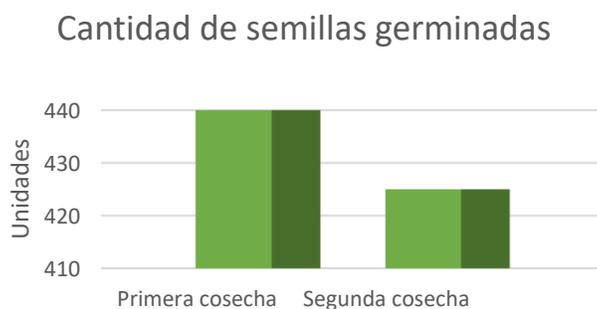
En la gráfica podemos apreciar el tiempo de germinación comprendido en las dos cosechas en suelo, en donde la segunda cosecha presento un tiempo más rápido.



**Gráfico 3:** Comparación porcentaje de germinación en la primera y segunda cosecha en suelo

*Fuente; Elaboración Propia*

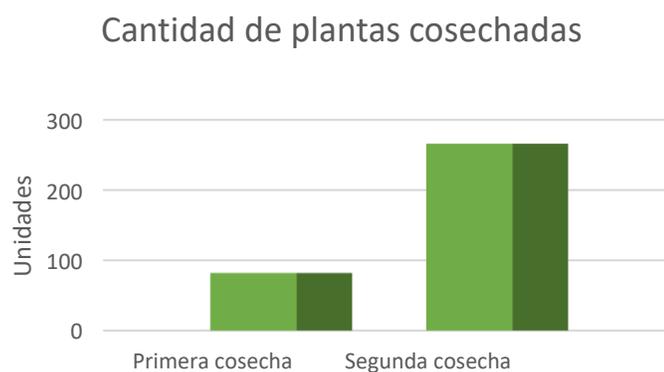
De acuerdo con la gráfica, se puede observar que el porcentaje de germinación en los hoyos fue mucho mayor en la primera cosecha, debido a que se presentó el proceso en el 92% de los mismos.



**Gráfico 4:** Comparación de semillas germinadas en la primera y segunda cosecha en suelo

*Fuente; Elaboración Propia*

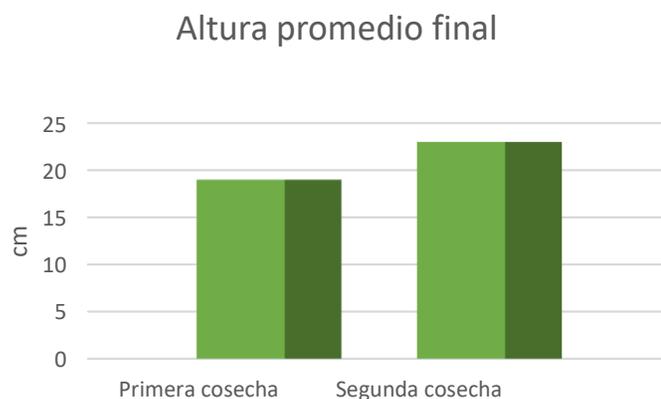
En la gráfica podemos apreciar la cantidad de semillas que germinaron en las dos cosechas, a pesar de que en la primera cosecha se produjo una cantidad mayor, la segunda cosecha presentó más plantas productivas.



**Gráfico 5:** Comparación cantidad de plantas cosechadas en la primera y segunda cosecha en suelo

*Fuente; Elaboración Propia*

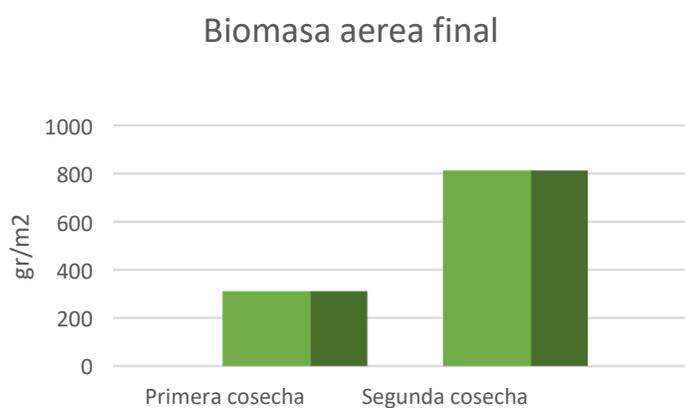
Se puede evidenciar en la gráfica que la segunda cosecha tuvo una cantidad mucho mayor de plantas cosechadas, debido a que durante el primer proceso se presentaron inconvenientes con el exceso de humedad en el suelo, lo que provocó una pérdida considerable de plántulas.



**Gráfico 6:** Comparación altura promedio final en la primera y segunda cosecha en suelo

**Fuente;** Elaboración Propia

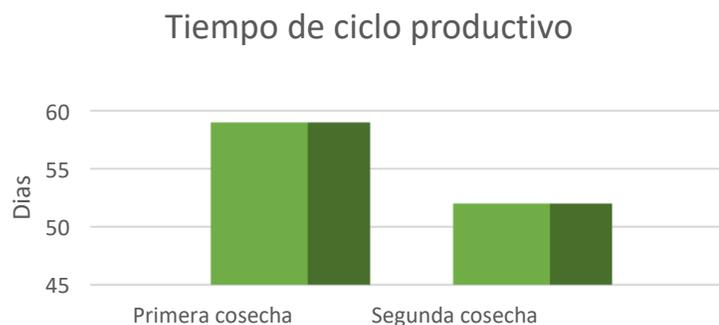
Como podemos observar la altura de las plantas fue mayor por 4 cm más, lo que favoreció que las plantas tuvieran más peso en el follaje final, además y como se había mencionado, en la primera cosecha existieron distintos factores que no permitieron el adecuado desarrollo de las plántulas.



**Gráfico 7:** Comparación de biomasa final aérea de la primera y segunda cosecha en suelo

**Fuente;** Elaboración Propia

En la gráfica podemos visualizar el peso total de follaje fresco, donde la segunda cosecha tuvo un valor más alto, debido a la cantidad de plantas obtenidas, altura final, lo que ayudo a que aumentara el peso en 502 gramos más.



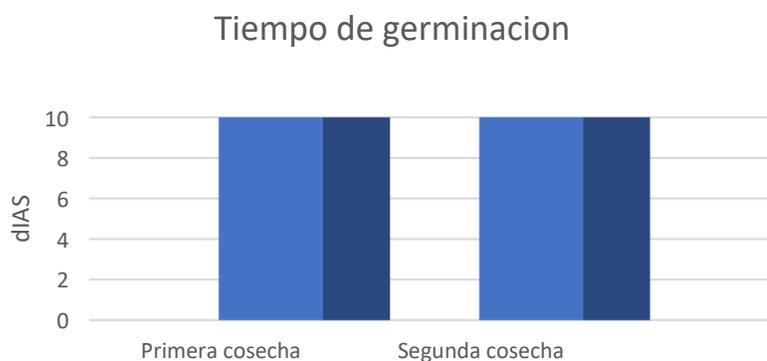
**Gráfico 8:** Comparación tiempo del ciclo productivo en la primera y segunda cosecha en suelo

**Fuente;** Elaboración Propia

El ciclo productivo fue más rápido en el sistema aeropónico, debido a que se implementó un semillero, el cual tuvo las condiciones óptimas para que sucediera el proceso en menos tiempo.

**Análisis de las gráficas:** En las gráficas se puede apreciar la comparación de las dos cosechas de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en suelo, como podemos observar la diferencia más notoria es el peso de la biomasa aérea final, donde la segunda cosecha tuvo un valor más alto, debido a la cantidad de plantas que se obtuvieron, de igual manera la altura fue favorable para que aumentara el peso del follaje fresco, aunque la calidad del producto se vio afectada por factores antes mencionados, con respecto a las demás características, como el tiempo, porcentaje, cantidad de semillas germinadas y ciclo productivo, no hubo una diferencia mayor, sin embargo en la segunda cosecha se mantuvo con mejores resultados que en la primera, debido a que no se presentaron lluvias de considerar y hubo días soleados que permitieron una cosecha más rápida.

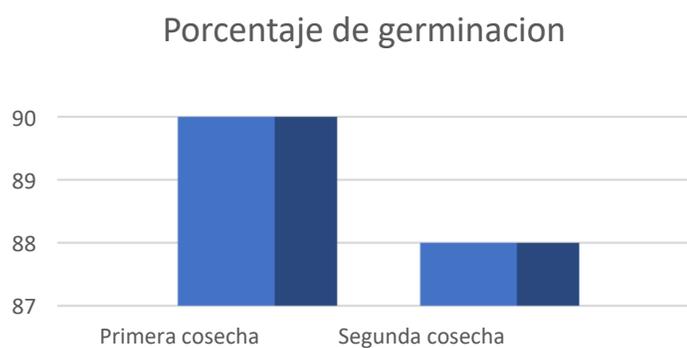
### 13. Análisis comparativo de las cosechas en el sistema aeropónico



**Gráfico 9.** Comparación tiempo de germinación en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico

*Fuente; Elaboración Propia*

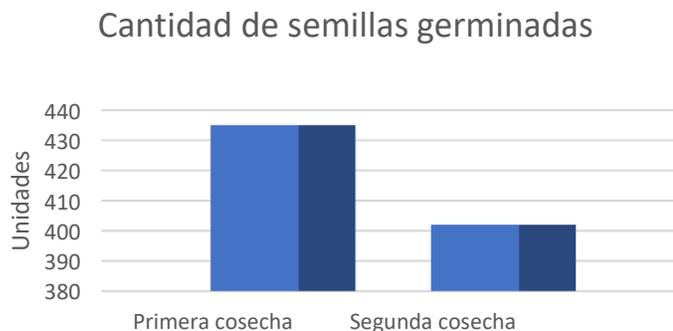
El tiempo de germinación fue igual en la primera y segunda cosecha, debido a que en ambos procedimientos se empleó un semillero para acelerar el proceso de emergencia.



**Gráfico 10:** Comparación del porcentaje de germinación en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico

*Fuente; Elaboración Propia*

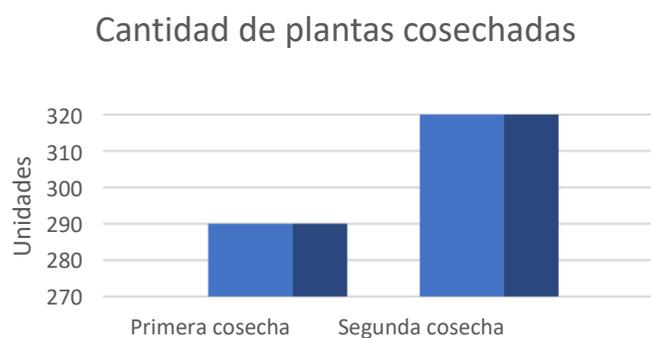
De acuerdo con la gráfica se puede evidenciar que el porcentaje de germinación fue más rápido en el primer semillero de la cosecha 1, allí se evaluó la cantidad de copas que germinadas.



**Gráfico 11:** Comparación de la cantidad de semillas germinadas en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico

*Fuente; Elaboración Propia*

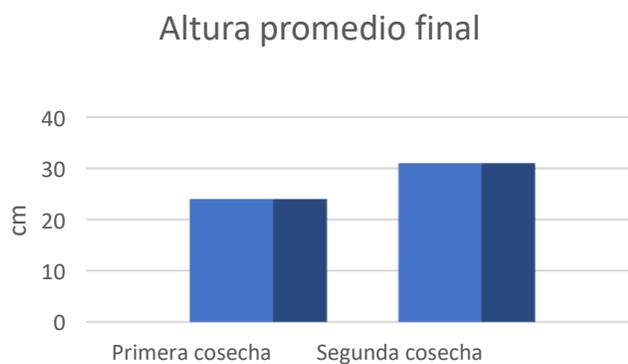
Comparación de semillas germinadas en ambos semilleros, donde en el primero hubo más cantidad de plántulas, debido a la cantidad de copas germinadas.



**Gráfico 12:** Comparación de cantidad de plantas obtenidas en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico

*Fuente; Propia*

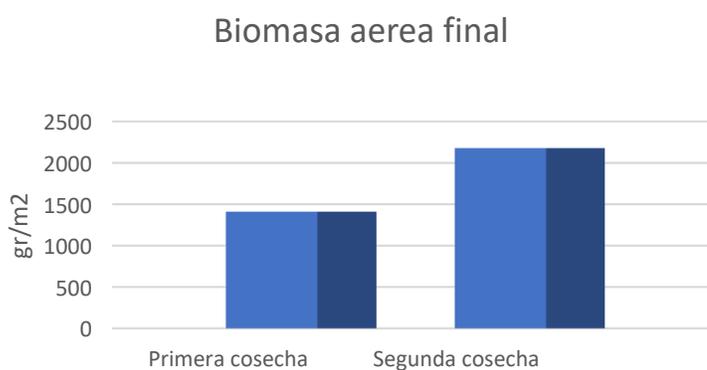
Según la gráfica en la segunda cosecha se obtuvieron 30 plantas más que en la primera, debido a que durante el proceso en la primera cosecha se presentaron factores antes mencionados que no permitieron el desarrollo adecuado de algunas plantas.



**Gráfico 13:** Comparación de altura promedio final de la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico

*Fuente; Elaboración Propia*

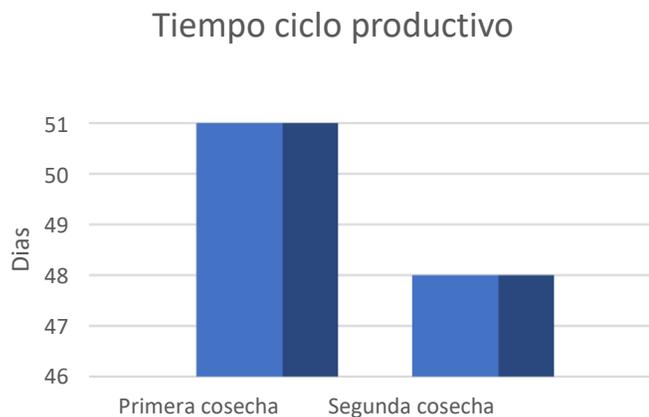
La grafica muestra la altura promedio final de las plantas, en donde la segunda cosecha aumento 7 cm más de altura lo que favoreció el peso en el follaje fresco.



**Gráfico 14:** Comparación de biomasa aérea final en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico

*Fuente; Elaboración Propia*

En la gráfica podemos observar que el peso en la segunda cosecha fue mucho mayor que en la primera, debido a que se obtuvo más plantas por metro cuadrado y la altura fue significativa para aumentar este peso.



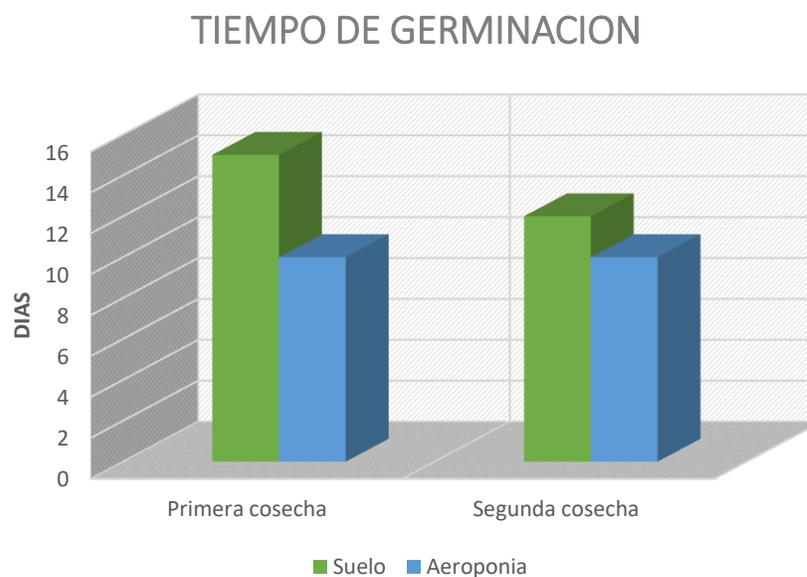
*Gráfico 15: Comparación tiempo del ciclo productivo en la primera y segunda cosecha en el sistema aeropónico*

*Fuente; Elaboración Propia*

El ciclo productivo fue más rápido en la segunda cosecha, debido a que se mejoró las condiciones ambientales del sitio y las variables dentro de la cama fueron controladas.

**Análisis de las gráficas:** Las gráficas indican que la segunda cosecha fue mucho mejor que la primera, debido a que obtuvo más cantidad de plantas por metro cuadrado, lo que aumento el peso en 768 gramos más, además la altura aumento 5 cm demás, de acuerdo a los cambios hechos con respecto a la iluminación en las plantas, la misma favoreció el crecimiento de estas, generando de igual manera un ciclo productivo más corto, por otro lado, en lo que corresponde a los demás factores como el tiempo, porcentaje y cantidad de semillas germinadas no hubo una diferencia mayor en ambos procedimientos.

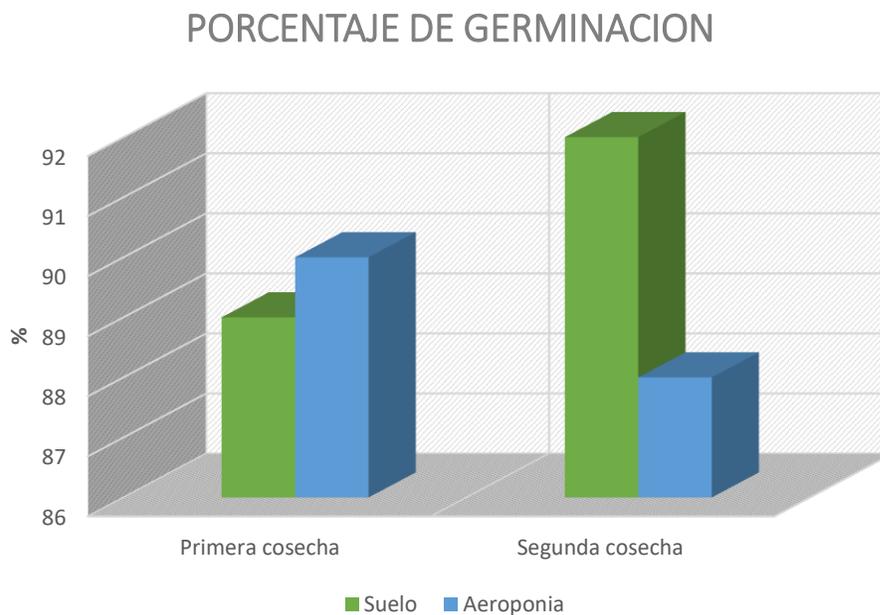
## 14. Análisis comparativo: suelo vs aeroponía



**Gráfico 16:** Comparación del tiempo de germinación (suelo vs aeroponía)

*Fuente; Elaboración Propia*

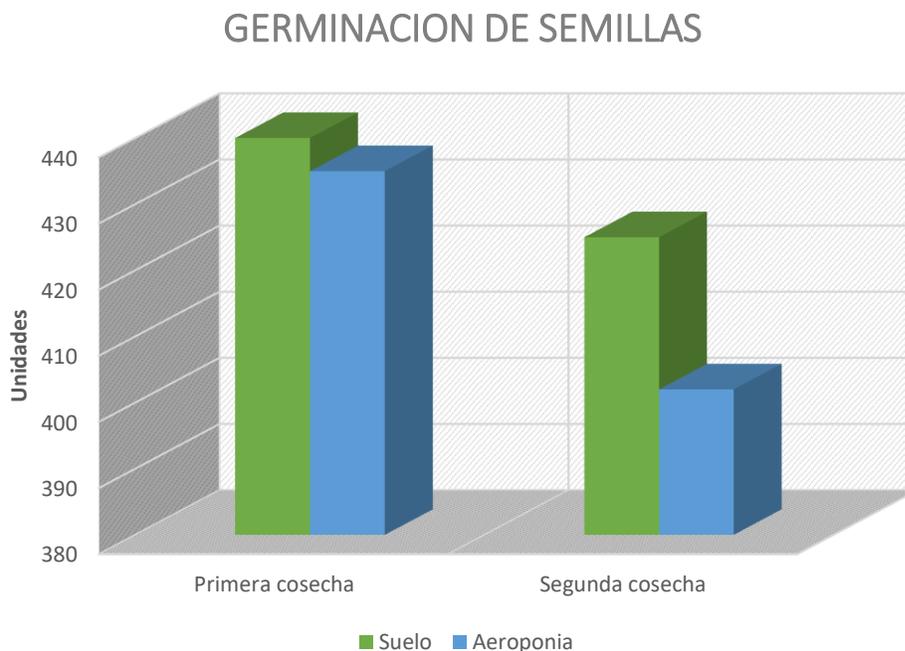
En esta grafica se puede observar el tiempo de germinación en ambos procedimientos, durante la primera y segunda cosecha, la germinación fue mucho más rápida en la Aeroponía, debido a que se utilizó un semillero el cual se le brindo las condiciones óptimas para acelerar el proceso, lo contrario a la siembra directa en suelo, que depende de la humedad en el mismo y de las condiciones ambientales presentes para que suceda el acontecimiento.



**Gráfico 17:** Comparación Porcentaje de germinación: suelo vs aeroponía

**Fuente;** Elaboración Propia

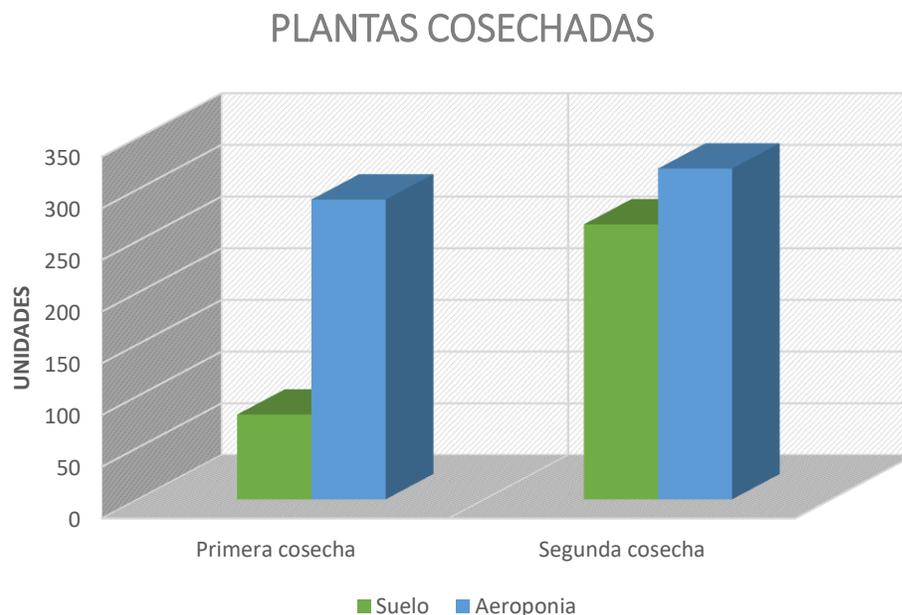
La grafica indica el porcentaje de germinación en un metro cuadrado utilizado como muestra para la respectiva comparación, en ambos tratamientos fue exitoso, teniendo como referencia el porcentaje de germinación del Cilantro (*Coriandrum sativum*), el cual puede estar en 70 a 85%, por lo consiguiente, la semilla empleada mostro características de calidad en cuestión de germinación.



**Gráfico 18:** Comparación de cantidad de semillas germinadas (suelo vs aeroponía)

**Fuente;** Elaboración Propia

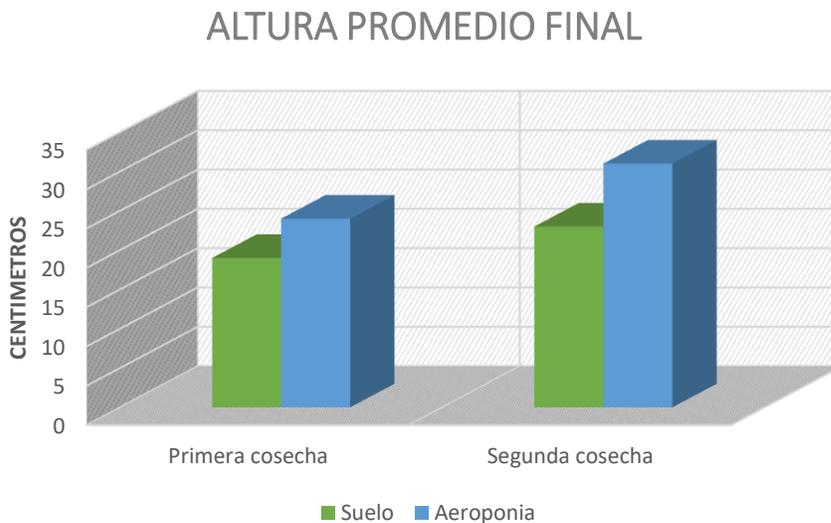
La grafica nos muestra la cantidad de semillas germinadas, de las 600 semillas empleadas en ambos procedimientos, germinaron en suelo 440 primera cosecha y en la segunda cosecha 425, en el semillero se emplearon 100 copas de las cuales en la primera cosecha 435 y en la segunda cosecha 402, el restante de la semilla no germino, debido a distintos factores por ejemplo; el porcentaje de impureza que trae la misma el cual comprende un 15%, o en ocasiones queda muy profunda o muy expuesta la semilla por lo tanto no sucede el proceso y por las condiciones ambientales las cuales pueden ser favorables o no.



**Gráfico 19:** Comparación de cantidad de plantas cosechadas (suelo vs aeroponía)

**Fuente;** Elaboración Propia

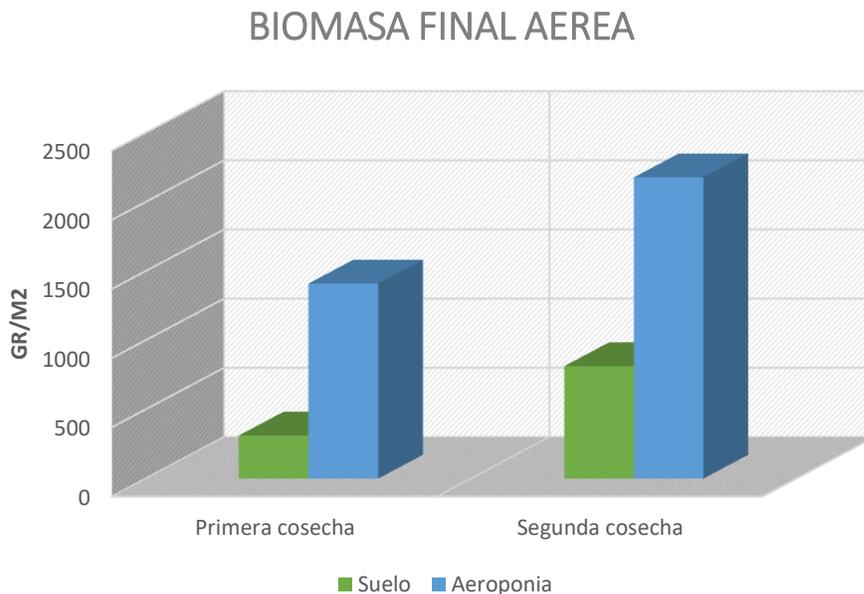
Esta grafica demuestra que en el sistema Aeropónico se puede cosechar más plantas, debido a que las variables como la temperatura, humedad, pH en la cama Aeropónica son controladas y monitoreadas, los nutrientes son suministrados constantemente, además existe un mayor control de plagas y enfermedades, lo que permite un mejor desarrollo de los especímenes, caso contrario en el suelo, por ejemplo, en la primera y segunda cosecha, intervinieron factores muy importantes que limitaron el desarrollo de algunas plantas, como por ejemplo; el clima y su efecto negativo sobre estas, la incidencia de plagas y enfermedades fue otro factor fundamental para que algunas plantas no llegaran a desarrollarse y por ende a cosecharse, de igual manera en el prototipo existe un mayor espacio y oxigenación para que las raíces puedan crecer libremente, en el suelo se limita el espacio entre las plantas, debido a que las mismas buscan agua, luz y nutrientes lo cual llega la competencia entre estas.



**Gráfico 20:** Comparación altura promedio final (suelo vs aeroponía)

**Fuente;** Elaboración Propia

En la siguiente grafica se muestra la altura promedio final, para ello fueron tomadas 10 plantas en ambos procedimientos para ser medidas hasta el final de cada cosecha y de esta manera sacar el promedio en el metro cuadrado (muestra) como se puede visualizar, las plantas en el sistema Aeropónico tuvieron una altura favorable con respecto a las plantas en suelo, esto es debido y como lo habíamos mencionado, a factores que pueden intervenir en el desarrollo de las mismas, por ejemplo cuando existen temperaturas elevadas, permite que haya un crecimiento rápido de las plantas, aunque este factor produce un desgaste en la planta debido a la fotorrespiración, lo que conlleva a detener su crecimiento o en ocasiones a tener un ciclo prematuro, o contrario a ello el exceso de humedad también dificulta el crecimiento de las plantas, como sucedió en la primera cosecha en el suelo, por lo consiguiente en la Aeroponía fueron controlados estos factores, debido a que el prototipo puede adecuarse en un sitio el cual puede recibir más horas luz o controlar otros factores, lo que permite un crecimiento de las mismas, además el requerimiento nutricional es constante lo cual favoreció a las plantas.

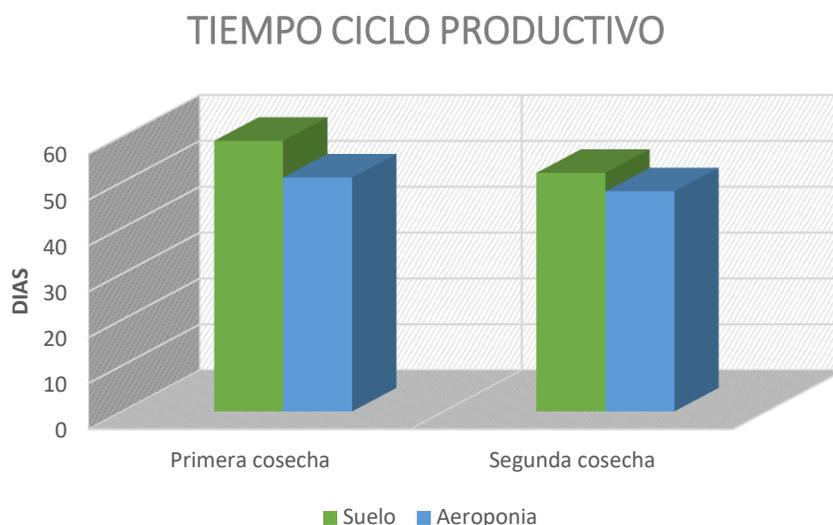


**Gráfico 21:** Comparación de biomasa aérea final (suelo vs aeroponía)

*Fuente; Elaboración Propia*

Como se puede observar en la gráfica, el cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo el sistema Aeropónico Automatizado tuvo un peso de biomasa aérea muy significativo frente al sistema tradicional, en la primera cosecha bajo la técnica, se obtuvo tres veces más el peso que en la primera cosecha tradicional, claro está que esto se debió a los problemas presentados durante el proceso en las plantas en suelo, explicado anteriormente, con respecto a la segunda cosecha, a pesar que en el sistema tradicional aumento considerablemente el peso, fue mucho mayor el peso en el sistema Aeropónico, esto se debió a los cambios de iluminación que se hicieron al respecto, además la temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica fueron controladas y monitoreadas en la cama y los nutrientes fueron suministrados continuamente para que las plantas tomaran lo necesario para su desarrollo foliar, caso contrario en el suelo que no se aplicó el producto siempre, solo fueron dos aplicaciones por cosecha, con respecto al abono suministrado, este puede ser aprovechado por las plantas pero en ocasiones estos pueden no ser

suficientes para suplir el requerimiento nutricional de las mismas, además la incidencia de plagas y enfermedades no permiten obtener una calidad de los productos y por ende un mayor peso para una buena cosecha.



**Gráfico 22:** Comparación tiempo ciclo productivo (suelo vs aeroponía)

**Fuente;** Elaboración Propia

En ambos procesos con sus respectivas cosechas, como se puede visualizar en el sistema tradicional duro un poco más la producción, mientras en el sistema Aeropónico se pudo obtener una cosecha más pronta, aunque el tiempo en los dos tratamientos fue correspondiente al proceso normal de la cosecha la cual puede estar entre 45 y 60 días aproximadamente para obtener follaje fresco según la investigación realizada, claro está, dependiendo los cambios climáticos presentados, las variables y factores controlados durante el ciclo.

## 15. Resultado general del proyecto

La aeroponía se ha convertido en una técnica innovadora que permite cultivar distintas especies hortícolas y aromáticas como por ejemplo el Cilantro (*Coriandrum sativum*), planta considerada medicinal y de gran importancia en la Culinaria, dicha especie puede ser fundamental gracias a las propiedades que trae la misma, el cultivo bajo este sistema de agricultura, permite obtener más plantas por metro cuadrado, libres de plagas y enfermedades, lo que quiere decir que el uso de químicos no va hacer necesario, además las soluciones nutritivas contantes promueve un desarrollo más eficiente de las plantas y obtener más cosechas por año en comparación a un cultivo Tradicional.

### Datos de productividad obtenidos en los dos sistemas de producción agrícola

Sistema	Producción obtenida		Estimación de		% de
	de follaje verde x m2		producción follaje		productividad
			verde/ha		
<b>Tradicional</b>	1 cosecha	311 gr	1 cosecha	3,110 kilos	28%
	2 cosecha	813 gr	2 cosecha	8,130 kilos	74%
<b>Aeropónico</b>	1 cosecha	1410 gr	1 cosecha	14,100 kilos	128%
	2 cosecha	2178gr	2 cosecha	21,780 kilos	198%

Si estimamos la producción de cilantro que son 11.000 kilos por hectárea en Colombia como cultivo rentable, podemos establecer que el sistema aeropónico está por encima del 100%

en cuestión de productividad para la obtención de follaje verde, lo que quiere decir que puedo obtener el doble de lo que se produce de follaje verde en suelo ósea un 128% más, si hablamos de la comparación de la segunda cosecha, la cual fue favorable en ambos sistemas agrícolas.

## 16. Costos de producción

Los costos de producción se realizaron de acuerdo a las pruebas hechas en los dos sistemas de producción, por lo tanto, los resultados son estimaciones de acuerdo a la inversión y ganancias obtenidas en cada uno de los procedimientos.

### 16.1 Cultivo tradicional

	Valor unitario	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3
Arriendo tierra/ m2	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 100
Semilla de Cilantro / libra	\$ 10.900	\$ 148	\$ 148	\$ 148
Abono compost x 5 kilos	\$ 6.500	\$ 3.250	\$ 3.250	\$ 3.250
Fertilizante foliar crecer x 500gr	\$ 9.800	\$ 98	\$ 98	\$ 98
	\$ 27.300	\$ 3.596	\$ 3.596	\$ 3.596
Cosecha kg	0,813	0,813	0,813	0,813
Valor Cilantro kg	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500
		\$ 2.033	\$ 2.033	\$ 2.033
		-\$ 1.564	-\$ 1.564	-\$ 1.564

*Tabla 13: Costos de producción x m2/Cultivo tradicional*

*Fuente: Elaboración propia*

Para el costo de producción fue necesario sacar el precio según la dosificación empleada y de esta manera obtener el valor exacto del gasto generado para producir el follaje verde en un metro cuadrado, se realizó para tres cosechas en el año.

De acuerdo a la tabla de costos, la inversión realizada en un metro cuadrado es de \$ 3,596 pesos, el valor por kilo de cilantro según el boletín de precios de Corabastos, se encuentra en \$2.500 pesos, aunque el precio puede variar dependiendo la demanda del producto, si comparamos la inversión con los ingresos que son \$ 2.033 pesos, encontramos un déficit de pérdidas de \$ 1.564 pesos por cada cosecha, lo que quiere decir que tuvimos más egresos que ingresos, debido a la poca producción que se obtuvo en la cosecha.

Según el PHN (Plan Hortícola Nacional) los costos de producción por Ha/Ciclo de un cultivo de cilantro tradicional en Colombia es de \$ 5.000.000 de pesos aproximadamente y si tenemos un rendimiento de 3.110 y 8.130 kg/ha de acuerdo a estimaciones de lo que se obtuvo por metro cuadrado, podemos adquirir ganancias de hasta \$ 2.775.000 y 15.325.000 /Ha, si se mantiene una producción alta de follaje verde y de igual manera que exista una gran demanda del producto, de lo contrario puede haber pérdidas para el agricultor.

## 16.2 Sistema aeropónico

	Valor unitario	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 4	Cosecha 5	Cosecha 6	Cosecha 7	Cosecha 8
Costos prototipo/ m2	\$ 1.000.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000
Semilla de Cilantro / libra	\$ 10.900	\$ 148	\$ 148	\$ 148	\$ 148	\$ 148	\$ 148	\$ 148	\$ 148
Turba 1 kilo	\$ 5.000	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500
Soluciones nutritivas 16 litros	\$ 100.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Mantenimiento bomba	\$ 30.000	\$ 3.750	\$ 3.750	\$ 3.750	\$ 3.750	\$ 3.750	\$ 3.750	\$ 3.750	\$ 3.750
	\$ 1.145.900	\$ 61.398	\$ 61.398	\$ 61.398	\$ 61.398	\$ 61.398	\$ 61.398	\$ 61.398	\$ 61.398
Cosecha kg	2,178	2,178	2,178	2,178	2,178	2,178	2,178	2,178	2,178
Valor Cilantro kg	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.500
		\$ 5.445	\$ 5.445	\$ 5.445	\$ 5.445	\$ 5.445	\$ 5.445	\$ 5.445	\$ 5.445
		-\$ 55.953	-\$ 55.953	-\$ 55.953	-\$ 55.953	-\$ 55.953	-\$ 55.953	-\$ 55.953	-\$ 55.953

**Tabla 14:** Costos de producción x m2/Sistema aeropónico

Fuente: Elaboración propia

El prototipo utilizado consta de dos metros cuadrados y tiene un costo aproximado de \$2.000.000 de pesos con una utilidad de 5 años y un mantenimiento anual de \$ 30.000 pesos, el precio de los nutrientes tienen un valor de \$100.00 pesos, de acuerdo a la tabla de costos la inversión se realizó para un metro cuadrado que fue la muestra empleada para la respectiva cosecha, allí se evaluó los precios de acuerdo a la dosificación y vida útil del sistema, por lo tanto, la interpretación es la siguiente:

- Bajo la técnica de aeroponía se permiten 8 cosechas al año, según la prueba realizada.
- El valor para un metro cuadrado del prototipo es de \$1.000.000 pesos, a este valor lo dividimos en 5 años que es la utilidad del mismo, para darnos un resultado de \$200.000 anual, dividido en la cantidad de cosechas aproximadas que son 8, nos da un valor de \$ 25.000 pesos/m<sup>2</sup> a esto le adicionamos los valores de la dosificación exacta para cada cosecha, debido a que los productos empleados son para varias producciones de Cilantro.

Según lo anterior y teniendo el costo del cilantro x kilo a 2500 y la producción de la cosecha en 2.178 kl/m<sup>2</sup> los ingresos fueron de \$ 5.445 pesos y a la inversión fue de \$61.398 pesos, lo que quiere decir que hubo un déficit de pérdidas, debido a que los egresos son muy altos con respecto a las ganancias obtenidas, lo que quiere decir que puedo perder \$55.953 pesos en una cosecha, lo cual es una de las principales desventajas por el costo elevado del prototipo.

De acuerdo a un estudio de tesis realizado por Martínez (2013) de la Universidad Piloto de Colombia, acerca de la aeroponía como método sostenible, el precio total para implementar un cultivo/ha bajo esta técnica está comprendido en \$225.529.336 millones pesos en cultivo de lechuga, pero si empleamos este valor de inversión para el cilantro, teniendo en cuenta que la utilidad del prototipo es de 5 años y la productividad es dos veces

mayor bajo esta técnica, podemos financiar el equipo en dicho tiempo, lo cual daría \$45.105.867 millones de pesos anuales, puede haber una relación costo beneficio, debido a que los precios son menores si se extiende a una área mayor, según lo investigado.

Actualmente se siguen realizando pruebas las cuales permitan disminuir los costos de inversión, por ejemplo, materiales en PVC, una bomba con menos caballos de fuerza, aumentar la producción de follaje fresco, lo que quiere decir aumentar el número de plantas x m<sup>2</sup>, obtener cosechas en menos tiempo e implementar otros productos agrícolas que tengan mayor demanda en el mercado, a pesar que el cilantro es una especie de gran importancia en la medicina y culinaria, el costo del mismo puede variar significativamente, lo que conlleva a obtener pocos ingresos para la rentabilidad del cultivo.

## 17. Conclusiones

- Se realizó la comparación entre los dos sistemas de producción agrícola, donde el cultivo bajo el sistema aeropónico automatizado presentó ventajas significativas frente al cultivo tradicional.
- El sistema aeropónico permite obtener más plantas por metro cuadrado y por consiguiente una producción de follaje superior a cosechas en suelo.
- A pesar del costo elevado del sistema aeropónico, se comprobó el funcionamiento del prototipo para el desarrollo de las plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) y la viabilidad que tiene el mismo en cuestión de productividad frente a otros sistemas de producción para beneficio de la comunidad.
- La oxigenación en las raíces bajo la técnica de Aeroponía, permite un crecimiento masivo y eficiente de las mismas, lo que conlleva a obtener plantas con una altura mayor, saludables y en menos tiempo, por lo cual se puede adquirir más cosechas por año.
- Se puede constatar el aprovechamiento del recurso hídrico en un 90%, esto se debe a que el riego por microaspersión que se emplea es devuelto al tanque para reutilizar nuevamente el agua y los nutrientes, además este sistema permite suministrar agua rica en nutrientes, formando microgotas adheridas a las raíces, las cuales mantienen a las plantas con el requerimiento nutricional constante y de esta manera obtener rendimientos mayores al del cultivo en suelo.
- La Aeroponía permite cultivos 100% libres de plagas y enfermedades caso contrario en el cultivo tradicional, por lo consiguiente el uso de químicos no fue necesario, este resultado

comprueba con lo que dijo el ingeniero Héctor Chavarría según sus experimentos recientes, acerca de reducir el uso de pesticidas bajo esta técnica.

- Se puede evidenciar en los resultados, que el uso de la electrónica específicamente de la automatización permite un control eficiente de las variables claves para el desarrollo de la planta como lo son la temperatura y humedad, además de la posibilidad de visualizar la información en un dispositivo móvil.
- Los prototipos aeropónicos se convierten en una herramienta de estudio para empresas y universidades que desean realizar experimentos e investigaciones con fines educativos o productivos para una especie agrícola.
- El comportamiento de las plantas en el sistema tradicional dependen en gran medida a los cambios climáticos, los cuales juegan un papel muy importante en lo que corresponde al desarrollo y productividad de un cultivo, cuando existen un exceso de humedad por lluvias o temperaturas elevadas, que no pueden ser controladas ya sea por recursos económicos o por razones naturales, existe una pérdida considerable de plantas, dichos factores son consecuentes en la propagación de plagas y enfermedades, además de alterar los procesos biológicos en las plantas lo que conlleva a obtener una baja calidad y rentabilidad del producto, por ejemplo las altas temperaturas promueven el desarrollo temprano de las plantas, este efecto puede ser positivo por que acelera el ciclo productivo, pero también negativo debido al desbalance de giberelinas y citoquininas en la planta lo que promueve el punteamiento prematuro, generando de tal manera hojas filiformes y una baja calidad del producto como se indica en (Davila, 2003).

## 18. Recomendaciones

- Es necesario continuar con las investigaciones y pruebas en el prototipo aeropónico para seguir evaluando distintos factores, que permitan mejorar este sistema agrícola, como por ejemplo minimizar costos a través del diseño con materiales más económicos.
- Se recomienda no solo emplear este sistema innovador en Cilantro (*Coriandrum sativum*) sino en otras especies hortícolas que representan una gran demanda en los mercados y según las investigaciones realizadas, han tenido un comportamiento excelente cuando son sometidas a esta técnica.
- Debido a los impactos ambientales presentados en los últimos años, es necesario promover este tipo de tecnologías como alternativa para proteger nuestro ecosistema.
- El sistema Aeropónico se recomienda como método de producción agrícola altamente eficiente y ecológico con respecto a los métodos tradicionales usados en Colombia, convirtiéndose en un trabajo familiar, donde aquellas personas que no cuentan con terrenos para cultivar puedan adquirir estos prototipos para cosechar sus propios alimentos libres de químicos tóxicos y al alcance de sus manos, además de perfilarse como parte de la seguridad alimentaria en un futuro.
- Para el semillero en el sistema aeropónico no se aconseja utilizar turba como sustrato, debido a su capacidad de retención de humedad, lo que dificulta el crecimiento de las plantas y pérdidas de las mismas.
- Para él un cultivo tradicional, se sugiere no realizar la siembra en épocas de lluvia, comprendidas en los meses de marzo y abril, debido al efecto que tiene el exceso de

humedad en el suelo, como la propagación de enfermedades lo que genera una pérdida considerable de plantas, además de una mala calidad del producto.

- No se recomienda altas densidades de siembra en un sistema tradicional, ya que las plantas tienden a competir por espacio, agua, luz, nutrientes, si es el caso es necesario realizar un raleo para impedir que esto suceda.

## 19. Referencias bibliográficas

Agricultura (. (s.f). FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>

AgroEstrategias. (s.f). Recuperado el 7 de Agosto de 2019, de

<http://www.agroestrategias.com/pdf/Nutricion%20%20Nutricion%20Mineral%20de%20las%20Plantas.pdf>

Aquino, Y. R. (2013). SISTEMAS AEROPONICOS EN AGRICULTURA PROTEGIDA.

Especialización en Química Aplicada, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. Obtenido de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/420/1/Yesica%20Rendon%200Aquino.pdf>

Arano, C.R. 1990. La Gaceta del Cultivo Sin Tierra (Nº 3). Buenos Aires – Argentina.

Arizio, O., & Curioni, A. (2011). Mercado mundial y regional de coriandro (*Coriandrum sativum* L.). REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS, 5(2), 263-278. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v5n2/v5n2a10.pdf>

Cabrera, F. A., & Estrada Salazar, E. (2004). Producción de hortalizas de clima cálido. Palmira. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.uneditorial.net/uflip/Produccion-de-hortalizas-de-clima-calido/pubData/source/Produccion-de-hortalizas-de-clima-calido.pdf>

Carcamo, J. A. (septiembre de 2018). Obtenido de

[https://www.researchgate.net/profile/Jesus\\_Ayala\\_Carcamo/publication/327550655\\_EVOLUCION\\_DE\\_LA\\_CULTIVACION\\_DEL\\_CILANTRO\\_A\\_LA\\_APLICACION\\_DE\\_DISTINTAS\\_PROPORCIONES](https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Ayala_Carcamo/publication/327550655_EVOLUCION_DE_LA_CULTIVACION_DEL_CILANTRO_A_LA_APLICACION_DE_DISTINTAS_PROPORCIONES)

ONES\_Y\_TIPOS\_DE\_ABONO\_ORGANICO\_EN\_CONDICIONES\_DE\_MONTERIA-COLOMBIA/links/5b9604dd4585153a53186c79/EVALUACION-DEL-CI

- Castillo, Y. D. (2018). EVOLUCION DE LA AEROPONÍA EN COLOMBIA COMO INNOVACION AMBIENTAL. Tesis, Ibagué-Tolima. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/21077/1/1110479431%20.pdf>
- Chicangana, D., Salvador, M., & Zapata, A. (s.f.). Evaluación de densidades de siembra en dos cultivos de cilantro “CEUNP” (Primera parte). AgroSintesis. Recuperado el 31 de Julio de 2019, de <http://www.culturaorganica.com/html/articulo.php?ID=184>
- Companioni, N., Ojeda, Y., Páez, E., Murphy, C., Funes, F., García, L., ... & Pérez, N. (2001). La agricultura urbana en Cuba. FUNES, F.; GARCÍA, L.; BOURQUE, M, 93-110.
- Corporación Colombia Internacional. (2006). PHN (Plan Hortícola Nacional). Recuperado el 2 de agosto de 2019, de [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_28\\_PHN.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf)
- Dávila, J. H. (mayo de 2003). Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/5784/1/1020148421.PDF>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2002). FAO. Recuperado el 8 de agosto de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
- García, C. D. (septiembre de 2002). APLICACIÓN DE ALGAENZIMS Y SU EFECTO EN GERMINACIÓN Y VIGOR DE SEMILLA DE CILANTRO (*Coriandrum sativum* L). Obtenido de

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1224/APLICACION%20DE%20ALGAENZIMAS%20Y%20SU%20EFECTO%20EN%20GRAMINEAS%20Y%20VIGOR%20DE%20SEMILLAS%20DE%20CILANTRO%20%28%20coriandrum%20sativum%20L.%20%29%20CANDELARIO%20DIAZ%20GARCIA.pdf?se>

Gobernación del Tolima (2013), Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Tolima, *PECTIT 2020*.

HERNÁNDEZ SALAMANCA, C. J., & PIÑEROS MUÑOZ, J. S. (2013). DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN TIPO. Proyecto de grado, Cundinamarca, Bogotá. Obtenido de <file:///C:/Users/sistemas/Downloads/HernandezCristhian2013.pdf.pdf>

Hoyos Velasco, F. E., Chavarría Ardila, H. J., & Ríos Salazar, D. (septiembre de 2016). AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS AEROPÓNICOS USANDO UN DSPIC. Obtenido de [file:///C:/Users/sistemas/Downloads/PosterPresentadoAeroponia%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/sistemas/Downloads/PosterPresentadoAeroponia%20(1).pdf)

Hoyos, F., Cándelo Becerra, J., & Chavarría, H. (2018). Automatización de cultivos de cilantro aeropónico sin pesticidas. *INGE CUC*, 15(1), 123-132. Obtenido de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/download/1949/2093?inline=1>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (septiembre de 2007). IICA. Obtenido de <http://repiica.iica.int/docs/B3444e/b3444e.pdf>

INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). (2012). Tabla de Composición de Alimentos de Centro América. Obtenido de <file:///C:/Users/sistemas/Downloads/Tabla%20de%20Composicion%20de%20Alimentos%20para%20Centroamerica%20del%20INCAP.pdf>

- Márquez, A. A. (2015). EVALUACIÓN DE DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA PRODUCCION DE CULANTRO CON FINES INDUSTRIALES EN SUELOS DE TEXTURA PESADA. Tesis. Obtenido de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1082/7/CD321\\_TESIS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1082/7/CD321_TESIS.pdf)
- Mateus, J. 2010. Efecto del ambiente sobre la producción de minitubérculos de 10 genotipos de papa cultivados bajo un sistema aeropónico. Tesis Mg.Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Martínez, Peñaloza, P.A. (2013). AEROPONIA COMO METODO DE CULTIVO SOSTENIBLE, RENTABLE E INCLUYENTE EN BOGOTA D.C, COLOMBIA. Universidad Piloto de Colombia. [PDF]. Recuperado de: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000864.pdf>
- Mejía Tafur, M. S., Estrada, E. I., & Figueroa, O. A. (2008). Respuesta fisiológica del cilantro a diferentes niveles de potasio y nitrógeno. *bdigital PORTAL DE REVISTAS UN*, 57(3), 195-198. Obtenido de [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/9249/9889](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/9249/9889)
- Mejía Tafur, M. S., Marín Pimentel, G. E., & Menjívar Flores, J. C. (2014). Respuesta fisiológica de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) a la disponibilidad de agua en el suelo. 9. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/77267636.pdf>
- Montanarella, L., Pennock, D., & McKenzie, N. (2015). *FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

Morales, I., Escalante, W., & Galdamez, I. (2012). FUNDESYRAM. Recuperado el 7 de agosto de 2019, de <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1397>

Morales Payan J; Brunner B; Flores L; Martínez S. (2011). Cilantrillo orgánico. [PDF].  
Recuperado de: <http://proorganico.info/cilantrillo.pdf>

Morales, J. P. (septiembre de 1995). CEDAF. Obtenido de FUNDACION DE DESARROLLO AGROPECUARIO, INC.:  
<http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cilantro.pdf>

Moreno Flores, O. (2007). Agricultura Urbana: Nuevas Estrategias de Integración Social y Recuperación Ambiental en la Ciudad

NASA. (23 de Abril de 2007). Progressive Plant Growing is a Blooming Business. National Aeronautics and Space Administration. Recuperado el agosto de 2019, de  
[https://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/aeroponic\\_plants.html](https://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/aeroponic_plants.html)

Portilla. (2016). Diseño y construcción de un sistema de automatización para huerto domestico con tecnología aeropónica, recuperado el 17 de julio de 2019 de:  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15073>

Puga Santos, B; Estrada Salazar E. (2008). Producción y beneficio de semilla de cilantro. [PDF].  
Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v57n3/v57n3a06.pdf>

Rocha Caicedo, J. C., & Sánchez Calderón, J. D. (2017). DESARROLLO DE CULTIVO AEROPÓNICO VERTICAL USANDO SISTEMAS ELECTRÓNICOS. PROPUESTA TRABAJO DE GRADO, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, BOGOTÁ D.C. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/143468578.pdf>

Rodríguez, E. C. (2016). "EFECTO DE DOS SISTEMAS DE SIEMBRA EN EL RENDIMIENTO DE *Coriandrum sativum* L. SANTO EN PICHUNCHUCO, SANTIGAO DE CHUCO-LA LIBERTAD". TESIS, Trujillo-Perú. Obtenido de <http://www.dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7578/CHAVEZ%20RODRIGUEZ%2c%20EDDY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tibaduiza, V., Huerta de la Peña, A., Morales Jiménez, J., Hernandez, A. M., & Muñiz Reyes, E. (2018). Sistema de producción del cilantro en Puebla y su impacto en la inocuidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4). Obtenido de [file:///C:/Users/sistemas/Downloads/1395-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4032-2-10-20190115%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/sistemas/Downloads/1395-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4032-2-10-20190115%20(6).pdf)

Visita Universidad Nacional de Medellín, Asesoría Cultivos Aeropónicos dictado por el Ingeniero Héctor Chavarría.

## 20. Anexos



*Ilustración 18: Visita Universidad Nacional Sede en Medellín- Colombia, Cultivos Aeropónicos*

*Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 19: Asesoría sobre cultivos aeropónicos dictada por el Ingeniero Héctor Chavarría*

*Fuente: Elaboración Propia*