Evaluación del rendimiento morfológico de tres especies de aromáticas cultivadas en un sistema acuapónico en la granja agroecológica UNIMINUTO, Centro Universitario Villavicencio.

Lizeth Yurany Peñaloza Vásquez
ID 726883

Línea de investigación
Sistemas de conservación - producción en el trópico

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Oriente
Sede Villavicencio (Meta)
Programa Ingeniería Agroecológica
septiembre de 2026

Evaluación del rendimiento morfológico de tres especies de aromáticas cultivadas en un sistema acuapónico en la granja agroecológica UNIMINUTO, Centro Universitario Villavicencio.

Lizeth Yurany Peñaloza Vásquez
ID 726883

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera en Agroecología

Asesor(a)
Fabian Rojas Sánchez
Ingeniero en Agroecología
Esp. En planeación ambiental
Mgs. desarrollo sostenible

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Oriente
Sede Villavicencio (Meta)
Programa Ingeniería Agroecológica
septiembre de 2026

Dedicatoria

El presente trabajo de grado, lo dedico primeramente a Dios porque día a día me ayudó y guio hasta aquí para poder lograr y culminar esta etapa profesional que tanto me ha enriquecido.

De igual manera, dedico este trabajo a mis padres: Clara Vasquez y William Peñaloza, porque han sido un pilar fundamental a lo largo de esta trayectoria, ellos han sido mi fuerza cuando quise rendirme, mi luz y la inspiración de cada uno de mis logros.

Finalmente, es dedicado a mí misma, porque por momentos quise abandonarlo todo, pero, siempre fui perseverante y desde el amor sacrifiqué otras cosas para poder lograr este trabajo de grado y la carrera profesional.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por ser la luz de guía en este camino profesional, sin ello no podría ser ni la mitad de lo que soy el día de hoy.

Especialmente agradezco a mi asesor, el ingeniero Fabian Rojas Sánchez, por su dedicación, paciencia, conocimiento y empatía para conmigo en este proceso donde pese a los inconvenientes o fallas del sistema, siempre se mantuvo firme y buscando una solución a todo. Mi más sincero agradecimiento a la universidad UNIMINUTO por permitirme ser partícipe de este proyecto de investigación tan enriquecedor para mi vida profesional donde pude poner en práctica procesos que nos enseñaron y aprender muchos más.

De igual manera, agradezco a mis padres y hermanos por confiar, creer en mí y brindarme ese apoyo siempre. También a mis compañeros y amigos, porque la universidad más que otorgarme un título, me otorgó personas que puedo llamar amigos y colegas.

Contenido

Contenido 5
1 Resumen 10
2 Introducción 13
3 Planteamiento del problema 15
4 Pregunta de investigación 16
5 Hipótesis 16
6 Objetivos 17
7 Justificación e impacto central del proyecto 18
8 Marco referencial – Marco teórico 20
8.1 ¿Qué es la acuaponía? 20
8.2 Tipos de Acuaponía 21
8.2.1 Sistema de Siembra Tipo Cama (Growbed System) 21
8.3 Raft System (Cama Flotante) 21
8.3.1 Modelo de Poder Creciente (Growing Power Model) 22
8.4 Técnica de Film Nutritivo (NFT) 23
8.5 Hidroponía 24
8.6 Hierbas aromáticas 24
8.7 Especies 25
8.7.1 Menta (Mentha x piperita.) 25
8.7.2 Albahaca (Ocimum basilicum *L.)* 26
9 Metodología y Área de estudio 28
9.1 Área de estudio 28
9.2 Enfoque de la investigación 30
9.3 Tipo de investigación 30
9.4 Técnicas de recolección de información 30
9.4.1 Población 30
9.4.2 Muestra 31
9.4.3 Tipo de muestreo 31
9.5 Fase 1 31
9.5.1 Diseño e implementación del sistema acuapónico 31
9.6 Fase 2 33

9.6.1 Establecimiento de cultivos..... 33
9.7 Fase 3 34
9.7.1 Monitoreo y registro de datos 34
10 Resultados 35
10.1 Fase 1 35
10.1.1 Establecimiento del sistema acuapónico 35
10.1.2 Implementación Del Sistema Acuapónico..... 37
10.1.3 Parámetros fisicoquímicos..... 38
10.2 Fase 2 40
10.2.1 Establecimiento de cultivos 40
10.3 Fase 3 41
10.3.1 Evaluación de los datos. 41
10.3.2 Análisis 54
11 Discusión 58
12 Conclusiones 60
13 Referencias bibliográficas 63
14 Anexos 66
15 Cronograma (Diagrama de Gantt)..... 70
16 Presupuesto 70

Listado de Figuras

Figura 1 *Sistema de Siembra Tipo Cama* 21

Figura 2 Clasificación taxonómica de la menta 25

Figura 3 *Clasificación taxonómica de la albahaca* 27

Figura 4 *Clasificación taxonómica de la hierbabuena* 28

Figura 5 *Ubicación del proyecto* 29

Figura 6 *Establecimiento del sistema* 35

Figura 7 *Adecuación de la estructura* 36

Figura 8 *Diseño del sistema* 37

Figura 9 *Medidor de calidad del agua portátil modelo AR 8407 Marca SMART SENSOR* 38

Figura 10 *Medición en el multiparámetro con los respectivos reactivos de detención* 39

Figura 11 *Trasplante de las plántulas al sistema.* 41

Figura 12 *Datos primer laboratorio* 42

Figura 13 *Datos segundo laboratorio* 44

Figura 14 *Datos tercer laboratorio.* 46

Figura 15 *Datos cuarto laboratorio.* 48

Figura 16 *Datos del quinto laboratorio.* 50

Figura 17 *Datos del sexto laboratorio.* 52

Figura 18 *Plantas en el deshidratador después de su proceso en laboratorio* 68

Figura 19 *Procedimientos en laboratorio.* 68

Figura 20 *Nivelación de pH en el agua* 69

Listado de tablas

Tabla 1 *Listado de materiales* 32

Tabla 2 *Insumos para la siembra* 33

Tabla 3 *Tabla de datos que corresponde a la figura 9* 42

Tabla 4 *Análisis de varianza* 42

Tabla 5 *Pieza gráfica de la tabla de datos del segundo laboratorio.* 44

Tabla 6 *Análisis de varianza* 45

Tabla 7 *Tabla de datos del tercer laboratorio.* 46

Tabla 8 *Análisis de varianza* 47

Tabla 9 *Tabla de datos del cuarto laboratorio.* 48

Tabla 10 *Análisis de varianza* 49

Tabla 11 *Tabla de datos del quinto laboratorio.* 51

Tabla 12 *Análisis de varianza* 52

Tabla 13 *Tabla de datos del sexto laboratorio.* 53

Tabla 14 *Análisis de varianza* 54

Tabla 15 *Análisis de varianza albahaca* 54

Tabla 16 *Análisis de varianza menta* 55

Tabla 17 *Análisis de varianza hierbabuena* 57

Tabla 18 *Toma de datos del laboratorio 1 de T1, T2, T3.* 66

Tabla 19 *Toma de datos del laboratorio 2 de T1, T2, T3.* 66

Tabla 20 *Toma de datos del laboratorio 3 de T1, T2, T3.* 66

Tabla 21 *Toma de datos del laboratorio 4 de T1, T2, T3.* 67

Tabla 22 *Toma de datos del laboratorio 5 de T1, T2, T3.* 67

Tabla 23 *Toma de datos del laboratorio 6 de T1, T2, T3.* 67

1 resumen

La acuaponía es un sistema de producción sostenible que integra la acuicultura y la hidroponía mediante la recirculación del agua, permitiendo el aprovechamiento de los nutrientes generados por los peces para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, los productores enfrentan dificultades para mantener condiciones adecuadas de pH, conductividad eléctrica y oxigenación del agua, factores que pueden afectar el desarrollo vegetal y reducir la eficiencia productiva de estos sistemas. Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo comparar las características morfológicas de tres especies aromáticas, albahaca (*Ocimum basilicum L.*), menta (*Mentha × piperita L.*) y hierbabuena (*Mentha spicata L.*), bajo diferentes densidades de peces en un sistema acuapónico implementado en la granja agroecológica UNIMINUTO, sede Villavicencio.

Se utilizó un diseño experimental con tres tratamientos correspondientes a densidades de T1 (30), T2 (60) y T3 (90) peces evaluando variables como el peso fresco, longitud de planta, longitud de tallo, longitud de raíz, número de hojas, peso seco y área foliar; los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva y análisis de Varianza (ANOVA) Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. En los resultados se evidencia que las tres especies lograron adaptarse y tener un desarrollo adecuado dentro del sistema acuapónico, sin embargo, el análisis de varianza indicó que las diferencias observadas de tratamientos no son estadísticamente significativas. En los resultados que se obtuvieron, se muestra que, el sistema acuapónico fue eficiente y

es una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable para la producción sostenible de plantas aromáticas favoreciendo el uso eficiente del agua y el reciclaje de nutrientes sin promover el uso de agroquímicos.

Palabras clave: Acuaponía, Hidroponía, Aromáticas.

Abstrac

Aquaponics is a sustainable production system that integrates aquaculture and hydroponics through water recirculation, enabling the use of fish-generated nutrients for plant growth. With this in mind, the present study aimed to compare the morphological characteristics of three aromatic plant species—basil (Ocimum basilicum), peppermint (Mentha × piperita), and spearmint (Mentha spicata) at different fish stocking densities within an aquaponic system implemented at the UNIMINUTO agroecological farm (Villavicencio campus).

An experimental design with three treatments corresponding to fish densities of T1 (30), T2 (60), and T3 (90) was employed to evaluate variables such as fresh weight, plant length, stem length, root length, number of leaves, dry weight, and leaf area. The data obtained were analyzed using descriptive statistics and Analysis of Variance (ANOVA) to determine whether significant differences existed among the treatments. The results demonstrate that all three species successfully adapted and developed adequately within the aquaponic system; however, the analysis of variance indicated that the observed differences between treatments were not

statistically significant. The findings show that the aquaponic system functions perfectly and represents a technically, economically, and environmentally viable alternative for the sustainable production of aromatic plants, promoting efficient water use and nutrient recycling without the need for agrochemicals.

2 Introducción

En la búsqueda de alternativas sostenibles para la producción agrícola, la acuaponía ha surgido como una tecnología prometedora que permite combinar la producción de peces y plantas en un sistema cerrado, optimizando el uso de agua y nutrientes. Esta técnica ha demostrado ser una solución efectiva en entornos con limitaciones hídricas y representa un enfoque innovador frente a los desafíos actuales de la agricultura global (Love et al., 2015). En Colombia, el potencial de la acuaponía aún es limitado y poco explorado, especialmente en zonas tropicales como Villavicencio, donde las fluctuaciones en la disponibilidad de recursos hídricos y las condiciones climáticas generan dificultades para los cultivos convencionales (Goddek & Körner, 2021).

Los sistemas acuapónicos representan una oportunidad para mejorar la productividad de estos cultivos mediante el uso eficiente de los recursos, reduciendo la dependencia de fertilizantes y minimizando el impacto ambiental (Junge et al., 2020). En este contexto, surge la necesidad de explorar la viabilidad de este sistema en la granja agroecológica UNIMINUTO, con el fin de proporcionar un modelo de producción agrícola sustentable y adaptable a la región.

Para abordar esta problemática, el presente proyecto se plantea desde un enfoque cuantitativo, con un tipo de investigación aplicada que busca analizar de manera práctica el rendimiento de tres especies de plantas aromáticas: Menta, hierbabuena y albahaca. A través de técnicas de recolección de datos como mediciones de crecimiento, área foliar y biomasa, se desarrollarán indicadores que permitan evaluar la eficiencia del sistema acuapónico. Los participantes del estudio incluirán

tanto a los estudiantes y docentes de la granja agroecológica UNIMINUTO, quienes estarán a cargo de la implementación y monitoreo del sistema.

El objetivo general del proyecto es evaluar el rendimiento de tres especies de aromáticas cultivadas en un sistema acuapónico en la granja agroecológica UNIMINUTO, Centro Universitario Villavicencio. Al analizar el comportamiento de estas especies en un sistema acuapónico, el estudio espera identificar las condiciones óptimas para la producción de estas plantas en un ambiente controlado, generando un modelo que pueda ser replicado en otras regiones con características ambientales similares.

3 Planteamiento del problema

Las plantas aromáticas, medicinales, condimentarías y afines (PAMCA) incluyen una amplia variedad de especies con usos versátiles y valiosos en diferentes ámbitos, como la medicina, la alimentación, la perfumería, la cosmética, la decoración, la ambientación, la protección de cultivos, la agricultura y la apicultura. Según Minagricultura (2018) destaca que a nivel mundial el 30% de la producción de aromáticas va destinado a la industria farmacéutica, complementando con el 40% de producción está dirigida a la industria alimenticia y el ultimo 30% está destinada para la elaboración de cosméticos. Ahora bien, los principales países productores de plantas aromáticas, medicinales, condimentarías y afines son encabezados por india, con un total de 546.173 t. En segundo lugar, se encuentra la república árabe Siria con 65.057 t, seguida por Bulgaria con 47.666 t, Irán y China con 47.200 t. cada uno, y finalmente Egipto con 37.195 t. (Flórez Martínez, 2018).

(Moré & Colom2002). En Colombia, se reportan alrededor de 50.000 especies de flora, de las cuales aproximadamente 6.000 poseen propiedades medicinales (Leonor &García. 2000) A pesar de su importancia tanto para la medicina tradicional como para la economía, el sector de las PAMCA ha recibido poca atención en cuanto a su producción y comercialización, siendo un sector de importancia económica limitada en comparación con otros tipos de cultivos. En los últimos 10 años el área sembrada de plantas aromáticas, medicinales, condimentarías y afines tuvo un crecimiento del 19%, lo cual para el año 2016 se ha obtenido una producción total de 3.190 toneladas, donde los siguientes departamentos cuenta con la participación

de cultivo: Antioquia con el 21%, Cundinamarca con el 20%, Putumayo con el 16%, Valle del Cauca con el 16%, Chocó con el 8% y Guajira con el 9%; sin embargo también producen minoritariamente los departamentos de Risaralda, Quindío, Valle del Cauca, Norte de Santander, Boyacá y el Tolima (MADR, 2014).

Cabe señalar que existe un vacío de información y registros sobre la producción local de las plantas aromáticas en Villavicencio y el departamento del Meta, lo que limita el conocimiento sobre el desarrollo y las condiciones de producción de estas especies en la región. Esta situación sumada a factores climáticos, geográficos, económicos, comerciales y técnicos, pueden influir en la viabilidad y sostenibilidad de su producción. En este contexto, los sistemas acuapónicos se presentan como una alternativa sostenible debido a la integración de cría de peces y producción de plantas mediante un sistema de recirculación de agua y aprovechamiento de nutrientes. Debido al limitado conocimiento acerca de la implementación de este sistema, UNIMINUTO propone esta tecnología con el fin de evaluar la producción de plantas aromáticas asociadas al cultivo de peces y generar información que contribuya al conocimiento y apropiación de esta alternativa productiva por parte de productores y estudiantes interesadas en modelos sostenibles.

4 Pregunta de investigación

En este contexto, surge la pregunta de investigación: ¿Cuál de las tres especies de plantas aromáticas presenta mejor rendimiento en un sistema acuapónico para garantizar la sostenibilidad y productividad del sistema en la granja agroecológica UNIMINUTO, Centro Universitario Villavicencio?

5 Hipótesis

H_0 = Los desechos orgánicos del sistema acuícola no genera diferencias significativas en el crecimiento de las plantas.

H_1= Los desechos orgánicos del sistema acuícola si genera diferencias significativas en el crecimiento de las plantas.

6 Objetivos

6.1 Objetivo general

Comparar las características morfológicas de tres especies de aromáticas cultivadas en un sistema acuapónico en la granja agroecológica UNIMINUTO, Centro Universitario Villavicencio, para identificar diferencias en su desarrollo y establecer criterios de selección para su aprovechamiento agroecológico.

6.2 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un sistema acuapónico en la granja agroecológica UNIMINUTO, Centro Universitario Villavicencio.

- Caracterizar las variables morfológicas (altura, número de hojas, área foliar, biomasa) de tres especies de aromáticas cultivadas en el sistema acuapónico de la granja agroecológica UNIMINUTO, Centro Universitario Villavicencio.

- Evaluar el rendimiento y las condiciones morfológicas de las plantas, mediante la medición de variables, con el fin de determinar su desempeño bajo las condiciones de estudio.

7 Justificación e impacto central del proyecto

La agricultura enfrenta numerosos desafíos, especialmente en términos de sostenibilidad, debido a los efectos del cambio climático y la necesidad de optimizar el uso de recursos como el agua y los nutrientes. En este contexto, el sistema acuapónico se presenta como una alternativa prometedora para la agricultura sostenible, ya que reduce significativamente el consumo de agua en comparación con la agricultura convencional mediante el uso de un sistema cerrado de recirculación (Love et al., 2015). Esto resulta particularmente relevante en zonas de clima tropical con variaciones en los recursos hídricos, como la región de Villavicencio.

En la región de la Orinoquia, la agricultura ha estado tradicionalmente orientada hacia cultivos convencionales como el arroz, la palma de aceite y la ganadería. No obstante, la introducción de plantas aromáticas, como la Menta, la hierbabuena y la albahaca, representa una oportunidad para diversificar la producción agrícola y acceder a nuevos mercados, especialmente aquellos relacionados con la industria alimentaria, cosmética y médica (Suh et al., 2022). La demanda de plantas aromáticas en los mercados locales y regionales puede ofrecer una fuente adicional de ingresos para los pequeños productores.

La granja agroecológica UNIMINUTO del Centro Universitario Villavicencio se encuentra en una zona de alta relevancia agroecológica, donde prácticas sostenibles son fundamentales para enfrentar los retos del cambio climático y promover la sostenibilidad de los recursos. Con la implementación de un sistema

acuapónico en la granja, se busca innovar en las técnicas de producción agrícola, optimizando el uso de agua y nutrientes y minimizando el impacto ambiental.

Este proyecto también desempeñará un papel crucial en la formación de estudiantes y futuros productores interesados en el ámbito agroecológico. Al implementar y analizar el sistema acuapónico, la granja ofrecerá un espacio de aprendizaje práctico donde los estudiantes podrán desarrollar habilidades en tecnologías agrícolas sostenibles, gestión del agua y nutrición de cultivos, junto con competencias interpersonales relevantes para los desafíos de la agricultura moderna (Goddek & Körner 2021).

El alcance de esta investigación responde a la necesidad de desarrollar sistemas de cultivo que integren eficiencia y sostenibilidad, y que sean adaptables a las condiciones ambientales y socioeconómicas de la región. A través del desarrollo de este proyecto, se espera fortalecer las capacidades de la granja agroecológica y ofrecer información valiosa sobre la productividad de las especies seleccionadas para el cultivo acuapónico, con miras a su replicabilidad en otras regiones con condiciones similares, este proyecto busca innovar al incorporar especies aromáticas, las cuales no solo tienen un valor en la cosecha y comercialización directa, sino también en su potencial de transformación para obtener productos derivados como aceites, pomadas o bolsas de infusión aromática.

8 Marco referencial – Marco teórico

Para abordar esta investigación es necesario hacer énfasis en los conceptos y descripciones de acuaponía, siendo este un sistema productivo que combina la hidroponía y acuicultura, una relación en plantas – peces. Asi mismo realizando una breve descripción de las plantas que se van a utilizar en este proyecto para llevar, acabo los objetivos planteados.

8.1 ¿Qué es la acuaponía?

Es una alternativa para la producción de alimentos que proporciona respuestas a problemas relacionados con la agricultura y el manejo de los recursos naturales. Esta alternativa se ha ido optimizando a través de la implementación de funciones innovadoras, ya que la manera de utilizar los desechos de peces para fertilizar a los cultivos existe desde hace millones de años. Un claro ejemplo de esta práctica son las chinampas usadas por los aztecas en América Central (1150-1350 A.C.). Esta alternativa se cataloga por la FAO dentro de los Sistemas de Patrimonio Agrícola (Junge et al. 2020).

8.2 Tipos de Acuaponía

8.2.1 Sistema de Siembra Tipo Cama (Growbed System)

En este tipo de sistema acuapónico, los tanques constituyen uno de los componentes principales, mientras que las plantas se establecen en unidades de cultivo que pueden utilizar diferentes materiales como sustrato, entre ellos arcilla expandida, roca volcánica o perlita. Debido a la facilidad que tiene su construcción y manejo, este tipo de sistemas puede ser implementado por personas aficionadas o agricultores, sin embargo, puede presentar problemas en la acumulación de sólidos y la saturación del sustrato, por lo que es necesario realizar labores periódicas de limpieza y mantenimiento manual. (Vilcara 2023)

Figura 1 *Sistema de Siembra Tipo Cama*



Nota. Diseño gráfico de sistema acuapónico tipo cama. Fuente. Google 2026.

8.2.2 Raft System (Cama Flotante)

Este sistema de acuapónico es un modelo fácil de escalar comercialmente hablando, con la varianza de componentes de la acuaponía y el desempeño unitario de ellos. Ejercido así se puede obtener gran conteo de ambos. (Vilcara,

2023) Técnica de Film Nutritivo (NFT) Sistema NFT por su nombre en inglés, “Nutrient Film Technique”) esta técnica consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva dentro de tubos PVC, en los cuales en sus extremos tienen tapas con pequeñas conexiones al final y comenzando para desempeñar el recorrido en la totalidad de tubería empleando bomba, ubicado dicho deposito qué sirve de almacenamiento de solución nutritiva (Vilcara, 2023).

8.2.3 Modelo de Poder Creciente (Growing Power Model)

El sistema de cama o lecho para el cultivo de plantas puede incorporar lombrices, principalmente la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*), empleada en procesos de vermicompost para la transformación de materia orgánica y producción de humus. En este sistema, la acumulación de sólidos puede generar obstrucciones y afectar su funcionamiento, por lo que se requiere realizar labores periódicas de revisión, limpieza y mantenimiento. Por otra parte, el sistema de cama flotante o *Raft System* se caracteriza por disponer las plantas sobre estructuras flotantes que permanecen en contacto con el agua del sistema, permitiendo el desarrollo de las raíces directamente en la solución nutritiva. Esta modalidad presenta ventajas para su implementación a diferentes escalas, especialmente en sistemas de producción comercial, debido a la posibilidad de ampliar el número de unidades de cultivo y ajustar sus componentes de acuerdo con las necesidades productivas (Vilcara, 2023).

8.3 Técnica de Film Nutritivo (NFT)

Sistema NFT por su nombre en inglés, “Nutrient Film Technique” esta técnica consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva dentro de tubos PVC, en los cuales en sus extremos tienen tapas con pequeñas conexiones al final y comenzando para desempeñar el recorrido en la totalidad de tubería empleando bomba, ubicado dicho deposito que sirve de almacenamiento de solución nutritiva, siendo este un sistema hidropónico que por su estructura se puede emplear y ajustar en un sistema acuapónico ya que este se compone de la hidroponía y siembra de peces. (Vilcara, 2023).

8.4 Desafíos que enfrenta la acuaponía

Las nuevas tendencias de vida ecológica y saludable han ocasionado que alguna parte de la población se vincule con alternativas productivas amigables con el ambiente, y la acuaponía es una de ellas. Sin embargo, ésta enfrenta obstáculos que repercuten especialmente en aspectos económicos, sociales y políticos. A nivel mundial, hay varios problemas entre los que figuran el crecimiento demográfico, la degradación del suelo, la inseguridad alimentaria, el cambio climático y la contaminación ambiental (Goddek et al. 2019). En consecuencia, estas problemáticas han contribuido al surgimiento de crisis sociales en diversos países, generando repercusiones en el bienestar de la población y en la estabilidad de los sistemas económicos y alimentarios (Rojas et al., 2020)

8.5 Hidroponía

Un sistema hidropónico se compone de una serie de diseños, en donde el concepto prioritario es la circulación permanente o entrecortada de una fina cantidad de solución nutritiva a través del sistema radical, esta solución pasa por unos canales que suelen ser de materiales como PVC, polietileno y poliuretano con formas convenientes para el productor, estas pueden ser rectangulares, escalonadas, en zigzag o verticales (Rodríguez, 2023).

8.6 Hierbas aromáticas

De acuerdo con Parra y Cameroni (2009), las hierbas aromáticas comprenden un grupo de especies vegetales caracterizadas por contener sustancias aromáticas, sápidas, colorantes o excitantes. En la actualidad, su uso es amplio y abarca diferentes ámbitos, principalmente la gastronomía, además de la elaboración de aromatizantes y productos de limpieza, entre otros. En el ámbito culinario, estas plantas contribuyen a mejorar el aroma, sabor y color de diversos alimentos y bebidas, favoreciendo sus propiedades organolépticas durante la degustación. Asimismo, su aprovechamiento puede realizarse mediante diferentes métodos de preparación, entre los cuales se destaca la infusión como una de las formas más utilizadas para extraer y aprovechar sus compuestos.

8.7 Especies

8.7.1 Menta (*Mentha x piperita L.)*

La *mentha piperita* es una planta herbácea que pertenece a la familia de las lamiáceas, es un híbrido estéril obtenido del cruce de la Menta acuática *(Mentha aquatica)* y la hierbabuena (*Mentha spicata*) que se produce espontáneamente en ocasiones en las zonas templadas de Europa. (López, P. M, 2022).

El género Mentha tiene un genoma complejo con alto nivel de poliploidía, es decir, son plantas que contienen más de dos juegos completos de cromosomas. Esta es una forma de evolución de la especie y una manera de adaptarse a diferentes condiciones ambientales, que le ha permitido establecerse en todo el mundo (Franco, G. et al. 2023).

Figura 2 *Clasificación taxonómica de la menta*

Reino: Plantae División: Magnoliophyta (angiospermas) Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas) Familia: Lamiaceae (lamiáceas) Género: *Mentha* Especie: *Mentha x piperita L.*	

Nota. Muestra gráfica de la menta y su clasificación taxonómica. Fuente: Autores, 2026.

8.7.2 Albahaca (Ocimum basilicum *L.)*

La albahaca (Ocimum basilicum L.) es una especie aromática que ha sido poco estudiada en aspectos relacionados con su productividad y comercialización. Su origen se atribuye principalmente a la India; sin embargo, también se ha señalado su presencia y naturalización en África, así como su amplia adaptación a los países mediterráneos (Ruiz et al., 2009). Esta especie es empleada como especia y condimento alimentario y presenta diferentes variedades, entre las que se encuentra la de hoja pequeña, denominada comúnmente albahaca, y la de hoja ancha, conocida como basílico, de mayor uso gastronómico (Colorado et al., 2013). Asimismo, es una planta aromática ampliamente distribuida en zonas tropicales y subtropicales (Campos y Flores, 2013), de crecimiento rápido tanto en sistemas hidropónicos como en cultivos en suelo, con un amplio rango de tolerancia ambiental. Además de su uso alimentario, se emplea en la medicina tradicional y la aromaterapia (Ronzón et al., 2012). La albahaca es una planta herbácea anual, de tallos erectos, ramificados y frondosos, que puede alcanzar entre 0,30 y 0,50 m de altura. Su propagación se realiza mediante semillas o esquejes y puede desarrollarse en climas áridos y semiáridos, asociándose su crecimiento con diferentes fotoperiodos y gradientes altitudinales entre 0 y 1000 m (Moncayo et al., 2015). En cultivos tradicionales al aire libre se han obtenido rendimientos de materia fresca entre 10.000 y 15.000 kg/ha, mientras que el rendimiento de aceite esencial en las hojas puede variar entre 2,4 y 3,0 kg/ha (Carrasco et al., 2007). Además, existen más de cincuenta especies de albahaca, las cuales presentan diferencias en características como el tamaño, color, apariencia y sabor (Moncayo

et al., 2015). De acuerdo con Sanca (2018), la descripción taxonómica de la especie es la siguiente:

Figura 3 *Clasificación taxonómica de la albahaca*

Reino: Plantae División:Magnoliopsida Clase: Dicotiledoneas Familia: Lamiaceae Género: Ocimum Especie: Ocimum basilicum	

Nota. Muestra gráfica de la albahaca y su clasificación taxonómica. Fuente: Autores, 2026.

8.7.3 Hierbabuena (Menta spicata *L.*)

La hierbabuena *(M. spicata L.*) es una planta herbácea de la familia Lamiaceae, distribuida en África del Norte y del Sur, América del Norte y del Sur y Australia, aunque proviene de Europa y Asia (Orsini & Tillett, 2019). Se usa principalmente en bebidas aromáticas o infusiones, pero también de esta se obtienen extractos para coctelería y aceites esenciales para cosmética y farmacéutica. (Bernal Estrada, J A. 2022).

Las zonas para su cultivo se encuentran en un rango de altitud de 1.500 a 2.200 m s. n. m., que benefician la producción de hojas y tallos. El brillo solar promedio de 4,2 horas de sol por día promueve el crecimiento vegetativo, el número y la longitud de los tallos, el área foliar y la actividad fotosintética, por encontrarse en un rango

óptimo de 4,0 a 5,5 horas de sol por día. Asimismo, la temperatura de 15 a 19 ºC entre horas diurnas y nocturnas, junto con la precipitación promedio anual de 2.400 mm/año, benefician el desarrollo de la planta. (Bernal Estrada, J A. 2022).

Figura 4 *Clasificación taxonómica de la hierbabuena*

Reino: Plantae División: Magnoliophyta (anteriormente Tracheophyta) Clase: Magnoliopsida Familia: Lamiaceae Género: *Mentha* Especie: *M. spicata*	

Nota. Muestra gráfica de la hierbabuena y su clasificación taxonómica. Fuente: Autores, 2026.

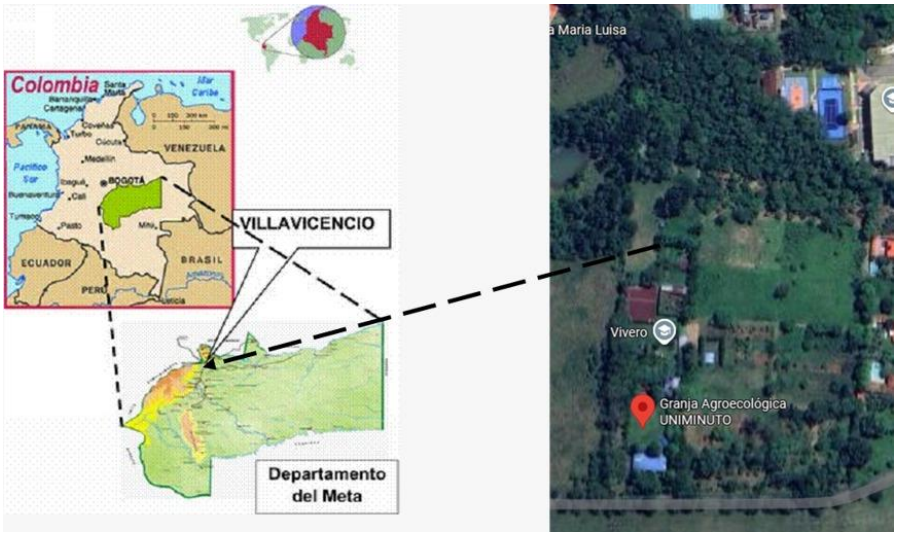
9 Metodología y Área de estudio

9.1 Área de estudio

El proyecto se desarrolló en la Granja Agroecológica UNIMINUTO (Figura 2), localizada en la vereda Barcelona del municipio de Villavicencio, departamento del Meta, Colombia (coordenadas: 4.0702° N, 73.5859° W). Esta Granja hace parte de una región agroecológica caracterizada por suelos ácidos de origen aluvial y alta pluviosidad estacional. Los suelos presentan una estructura influida por la deposición de sedimentos finos, materia orgánica de origen ganadero y residuos de cultivos, lo cual afecta tanto la dinámica de nutrientes como la retención

hídrica (Gómez, 2010).

Figura 5 *Ubicación del proyecto*



Nota. ubicación espacial del proyecto de acuaponía en la granja agroecológica UNIMINUITO. Fuente. Google.

Las condiciones agro climatológicas de la zona son representativas de ecosistemas de sabana tropical con temperaturas promedio entre 25 ºC y 35ºC, alta humedad relativa y marcada estacionalidad hídrica, factores que influyen directamente en la disponibilidad hídrica para el proyecto y altas posibilidades de inundación (figura 5), encharcamiento y presencia de plagas y enfermedades para la elaboración del proyecto.

9.2 Enfoque de la investigación

La investigación seguirá un enfoque cuantitativo, este enfoque permitirá medir y analizar el rendimiento de las tres especies de aromáticas en un sistema acuapónico, proporcionando datos precisos sobre su crecimiento, desarrollo y productividad en condiciones controladas.

9.3 Tipo de investigación

Este es un estudio experimental. Se llevará a cabo en un sistema acuapónico específicamente diseñado para este proyecto, lo que permite controlar las condiciones y observar los efectos en las variables de interés. Al ser descriptivo, se enfocará en detallar y comparar el rendimiento de las especies cultivadas.

9.4 Técnicas de recolección de información

- **Mediciones de crecimiento y rendimiento:** Se realizarán mediciones de variables cuantitativas, como altura de las plantas, número de hojas y peso fresco. Estas variables permitirán evaluar el rendimiento de cada especie en el sistema acuapónico.

9.4.1 Población

Se tiene una población total de 270 plantas que serán distribuidas de la siguiente manera, en 3 tubos de 6m, 90 plantas de cada especie (Menta, hierbabuena y albahaca) 30 plantas por tubo con una densidad de siembre de 20cm entre planta.

9.4.2 Muestra

Se tuvo en cuenta 18 plantas, el muestreo se realizó cada 15 días cumpliendo con seis laboratorios (90 días) donde se tomaron 2 plantas por tubo estas a su vez se toman aleatoriamente (muestreo destructivo) dado que después de realizar el estudio en laboratorio estas quedaron inservibles.

9.4.3 Tipo de muestreo

Se utilizará un **muestreo intencional** o **no probabilístico** para seleccionar las especies de plantas aromáticas (Menta, hierbabuena y albahaca), debido a sus características y su potencial de mercado en la región de Villavicencio. Las muestras de cada especie se dividirán dentro del sistema hidropónico implementado dentro del sistema acuapónico.

9.5 Fase 1

9.5.1 Diseño e implementación del sistema acuapónico

En esta etapa, se diseñará el sistema hidropónico teniendo en cuenta los requerimientos específicos de cada especie en cuanto a nutrientes, pH, y condiciones del agua. El sistema se implementará en la granja agroecológica UNIMINUTO.

Tabla 1 Listado de materiales

ITEM	NOMBRE DEL INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INSUMO
1	Geomembrana	13	m	calibre 40 - 60
2	Tanque para peces	4	Und.	1m3
3	Electrobomba	1	Und.	1/2 caballo
4	Cable eléctrico Encauchetado trifásico	40	m	calibre 8
5	Tubería sanitaria x 6m	10	Und.	3"
6	Tubo x 6m	1	Und.	1"
7	Codo	1	Und.	1"
8	Cheque de retención	1	Und.	1"
9	Tubo x 6m	2	Und.	3/4 "
10	Codo	3	Und.	1"
11	Te	2	Und.	1"
12	Adaptador macho	6	Und.	1"
13	Adaptador hembra	6	Und.	1"
14	Codo	9	Und.	3/4"
15	Adaptador macho	12	Und.	3/4"
16	Adaptador hembra	12	Und.	3/4"
17	Aireadores	1	Und.	Aireador De Bomba De Aire Dc 12v 120w Para Acuicultura
18	Cruceta tubería	3	Udn.	3/4"
19	Tapón	18	Und.	3"
20	Limpiador tubería	1	Und.	1/4 Galón
21	Pegante	1	Und.	1/4 Galón
22	Poste rollizo de 250cm	15	Und.	2"

23	Viajes de tierra	2		5 m3
24	Netpot Canastilla Hidroponía, Acuaponía.	50	Und.	2"
25	Broca Circular Sacabocado Para plástico	2	Und.	2"
26	Toma aérea caucho polo a tierra hembra	5	Und.	15amp
27	Toma aérea caucho polo a tierra macho	6	Und.	15amp
28	Alambre Galvanizado x kg	10	Und.	Calibre 10
29	Caneca plástica	4	Und.	200 Lt.

Nota. Listado de materiales a usar en el proyecto.

9.6 Fase 2

9.6.1 Establecimiento de cultivos

Se plantarán las tres especies aromáticas en el sistema hidropónico. Las plantas serán monitoreadas constantemente para asegurar que las condiciones sean óptimas para su desarrollo.

Tabla 2 *Insumos para la siembra*

ITEM	NOMBRE DEL INSUMO	UNIDAD	DESCRIPCION DETALLADA DEL INSUMO
1	Plántulas	180	60 plántulas por cada especie (Menta, hierbabuena, albahaca)

2	Canastillas de siembra	300	Canastillas para el soporte de la planta
3	Fertilizante	2 galón	Fertilizante líquido para plantas

Nota. Listado de insumos para siembra.

9.7 Fase 3

9.7.1 Monitoreo y registro de datos

- Se realizará un seguimiento cada 15 días de cada especie durante 90 días.
- Bajo condiciones de laboratorio se tomarán las variables de crecimiento (altura, biomasa, área foliar.) y rendimiento (producción de hojas, peso fresco, peso seco.)
- Se controlarán las condiciones del sistema como caudal, luminosidad, entre otras.
- Análisis de datos: Al final del periodo de estudio, se analizarán los datos recogidos para comparar el rendimiento de cada especie en el sistema acuapónico. Este análisis permitirá identificar cuál de las tres especies muestra una mejor adaptación y rendimiento en el sistema.
- Se hará una correlación con los factores ambientales y de manejo del sistema.
- De los datos obtenidos se realizarán diagramas de barras y análisis de varianza (ANOVA) con el fin de evidenciar las diferencias halladas dentro del sistema.

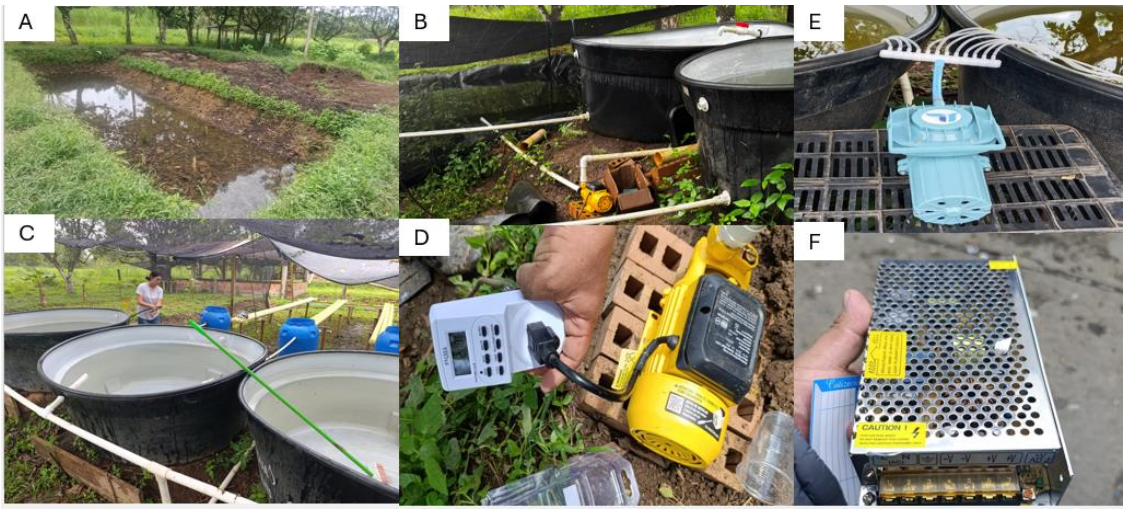
10 Resultados

10.1 Fase 1

10.1.1 Establecimiento del sistema acuapónico

El proyecto es la combinación de la cría de peces y el cultivo acuapónico de plantas que conforman un circuito cerrado en el aprovechamiento del recurso hídrico. Como se observa en la figura 6, el sistema consta en un reservorio de agua con una capacidad de 35m^3 (Figura 6,Imagen A) en el cual se sumerge la electrobomba (Figura 6, Imagen B) que cumple con la función de la recirculación y llenado de los tres tanques (Figura 6, Imagen C) donde se cultivan los peces, la bomba funciona mediante energía eléctrica y está controlada por un temporizador digital el cual tiene tiempos de encendido automático cada tres horas (Figura 6, Imagen D) en esta misma instalación se incluyen los aireadores (Figura 6, Imagen E y F) para así garantizar mejor oxigenación en cada uno de los tanques.

Figura 6 *Establecimiento del sistema*



Nota. Pieza gráfica del establecimiento del sistema. Fuente: Autores, 2026.

Se realizó el ajuste de los tubos de tal manera que todos quedaran al mismo nivel (Figura 7, Imagen A), en los tubos se realizó una perforación (figura 7, Imagen B) la cual tiene como finalidad mantener un nivel de agua apto para las plantas. Finalmente, en el reservorio se instaló una poli-sombra de tal manera que pudiese cubrir la superficie evitando la contaminación por exceso de hojas y suciedad del ambiente (Figura 7, imagen C) para al final quedar establecido el sistema con lo que respecta a su estructura (Figura 7, imagen D).

Figura 7 *Adecuación de la estructura*



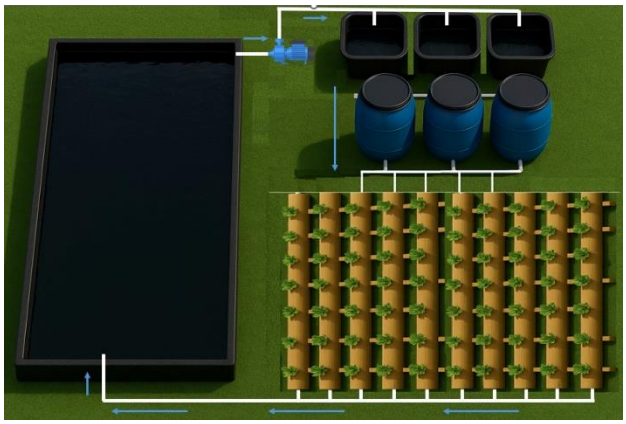
Nota: Pieza gráfica de ajustes que se hizo manualmente en el sistema.
Fuente: Autores, 2026.

El agua de los estanques de peces al llegar a un nivel establecido rebosa los mismos y cae por gravedad a los biofiltros donde se evita que el sólido pase al cultivo, de estos biofiltros también por gravedad pasa el agua los tubos de cultivo hidropónico de los cuales para mantener un nivel de agua aliviaran al sistema de retorno para regresar al repositorio cerrando el ciclo de recuperación de este recurso.

10.1.2 Implementación Del Sistema Acuapónico

El terreno asignado es la zona 16 producción piscícolas de la granja agroecológica UNIMINUTO el cual comprende a un área de 72,68 m^2, se establecen tres tratamientos (T1= 30 peces, T2= 60 peces, T3= 90 peces) cada uno con una capacidad de $1m^{3.}$ Cada tratamiento consta de tres repeticiones (R1= Hierbabuena, R2= Menta, R3= Albahaca) cada repetición consta de un tubo de 3” con 20 orificios para un total de 20 plantas por cada repetición y en total 60 plantas por cada tratamiento y así tener una totalidad de 180 plantas en el sistema.

Figura 8 *Diseño del sistema*



Nota. Pieza gráfica del diseño del sistema. Fuente: Autores, 2026.

10.1.3 Parámetros fisicoquímicos

La toma de muestras se realizó con un multiparámetro (figura 9) el cual nos permite tomar medidas de pH, oxígeno disuelto, temperatura, nitritos y nitrógeno amoniacal.

Figura 9 *Medidor de calidad del agua portátil modelo AR 8407 Marca SMART SENSOR.*

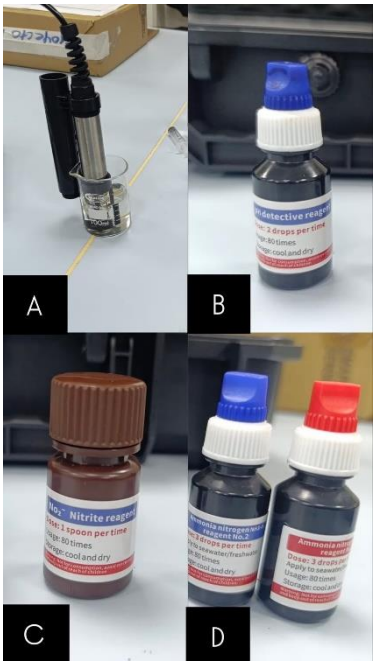


Nota. Pieza gráfica del medidor multiparámetro. Fuente: Autores, 2026.

10.1.3.1 pH

Se realizó medición de pH siguiendo las instrucciones del multiparámetro las cuales constan en calibrar el equipo, se hace la recolección de la muestra la cual se inyecta 5ml de agua en la botella medidora, se añade 2 gotas del activo de detención se agita y se coloca en la botella de prueba para finalizar se presiona el botón "Enter TEST" para iniciar la medición. Aparecerá una cuenta regresiva en la parte superior de la pantalla y los resultados de la medición se mostrarán 10 segundos después de la cuenta regresiva.

Figura 10 *Medición en el multiparámetro con los respectivos reactivos de detención*



Nota. Pieza gráfica del multiparámetro y los reactivos. Fuente: Autores,2016.

Como se enseña en la imagen A (figura 10) el multiparámetro en la botella de prueba, imagen B corresponde al reactivo que se utiliza para medir pH, imagen C es el reactivo para medir los nitratos y la imagen D corresponde a los reactivos para medir el nitrógeno amoniacal. Se resalta que cada reactivo tiene una aplicación y color diferente según su propósito. Fuente: Autores, 2026.

10.1.3.2 Oxígeno Disuelto

La toma de este parámetro consta de tener los 5ml de agua en un vaso precipitado, introducir el sensor de tal manera que permita medir la concentración del oxígeno en el agua mediante un electrodo.

10.1.3.3 Nitritos

La medición de este parámetro se realizó tomando la muestra de 5ml de agua añadiendo 1gr del reactivo No. 2 (Figura 10, imagen D), se agita y se coloca en el multiparámetro esperando el resultado después de presionar el botón “Enter TEST”.

10.1.3.4 Nitrógeno amoniacal

Este parámetro se mide en la misma cantidad de agua (5ml) añadiendo 3 gotas de cada uno de los reactivos (figura 10, imagen D) el proceso de inicio y espera del resultado es el mismo mencionado anteriormente.

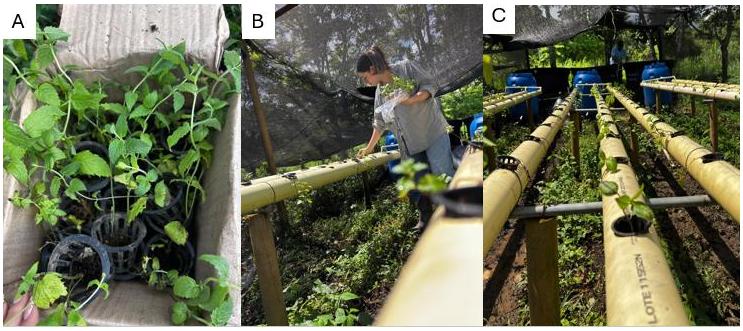
10.2 Fase 2

10.2.1 Establecimiento de cultivos

Se utilizaron plantas aromáticas debido a su bajo requerimiento técnico, considerando además que un sistema acuapónico es una propuesta novedosa en la que comúnmente se emplean hortalizas.

El trasplante se realizó en tubería de 3” y 6m de largo. Cada uno de los tubos tienen una perforación para cada planta, teniendo una distancia de 20cm entre plantas. Se utilizó plántulas de hierba buena, albahaca y menta las cuales tenían 10 días de germinación. Se proyectó un sistema productivo de 90 días y así cumplir con la fase de inicio de los peces y el ciclo fenológico de las plantas.

Figura 11 *Trasplante de las plántulas al sistema.*



Nota. Pieza gráfica del proceso de trasplantación de las plántulas al sistema, Fuente: Autores, 2026.

En la imagen A (figura 11) se evidencia las plántulas, imagen B se muestra el trasplante directo a la tubería y la imagen C enseña como quedó el sistema con todas las plantas en la tubería correspondiente.

10.3 Fase 3

10.3.1 Evaluación de los datos.

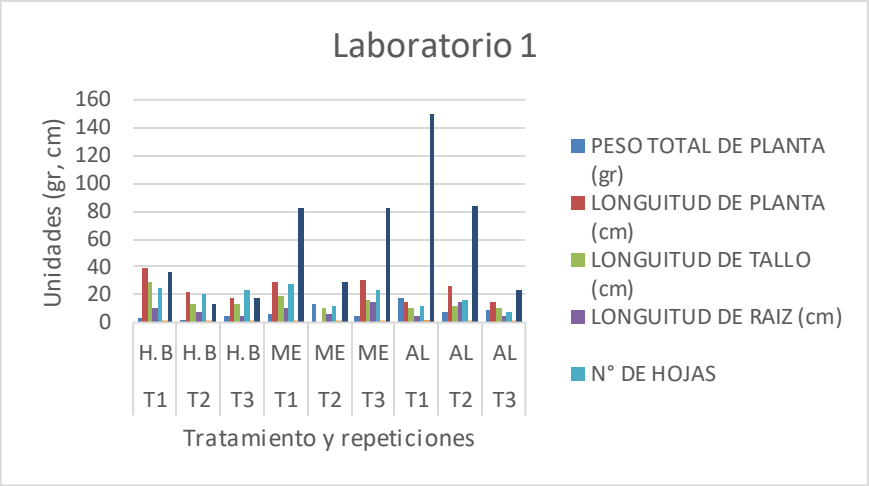
Mediante el uso de se llevará a cabo la evaluación de los datos obtenidos y se analizará los resultados de acuerdo con la literatura.

- ImageJ
- Excel
- Copilot
- Internet

A continuación, se representan de manera estadística los datos recolectados de acuerdo al número de laboratorios y tratamiento correspondiente.

10.4 Laboratorio 1

Figura 12 *Datos primer laboratorio*



Nota. Gráfica donde se representa mediante un diagrama de barras los datos obtenidos de acuerdo con el primer laboratorio. Fuente: Autores, 2026.

Tabla 3 *Tabla de datos que corresponde a la figura 12*

Número de plantas	H.B (T1)	H.B (T2)	H.B (T3)	ME (T1)	ME (T2)	ME (T3)	AL (T1)	AL (T2)	AL (T3)
Peso total de planta (gr)	3.3	1.7	4.5	5.7	13	4.8	17.7	7.3	9.2
Longitud de planta (cm)	39.5	21.8	17.5	29	16,5	30	15	26.5	14.5
Longitud de tallo (cm)	29	14	13	18.5	10.5	15.5	10.5	11.5	10
Longitud de raíz (cm)	10.5	7.8	4.5	10.5	6	14.5	4.5	15	4.5
N° de hojas	25	21	24	27	12	23	12	16	8
Peso en seco en planta (gr)	0.44	0.21	0.23	0.83	0.27	0.75	2.14	0.7	0.82
Área total (cm2)	35.72	13.2	17.53	81.7	29.78	82.8	150.1	83.44	22.94

Nota. Pieza gráfica de la tabla de datos del primer laboratorio. Fuente: Autores, 2026.

En el laboratorio 1 (Figura 12), se evidenciaron variaciones en las variables evaluadas entre los tratamientos de las tres especies vegetales. En la albahaca, el mayor peso total de planta se registró en el tratamiento 1, con 17,7 g, mientras que el menor correspondió al tratamiento 3, con 9,2 g. En cuanto a la longitud de la

planta, el tratamiento 3 presentó el menor valor, con 14,5 cm, y respecto al número de hojas, este mismo tratamiento registró el valor más bajo, con 8 hojas. Por otra parte, el área foliar presentó un comportamiento sobresaliente, alcanzando 150,11 cm^2, superando a los demás tratamientos (Tabla 3); asimismo, el peso seco fue mayor en el tratamiento 1, con 2,14 g, lo que evidencia una mayor acumulación de biomasa. En la menta, el mayor peso total de planta se obtuvo en el tratamiento 2, con 13 g, mientras que el mayor número de hojas se registró en el tratamiento 1, con 27 hojas. En cuanto a la hierbabuena, el mayor valor de longitud de planta se presentó en el tratamiento 1, con 39,5 cm, mientras que el menor peso total de planta correspondió al tratamiento 2, con 1,7 g.

Tabla 4 *Análisis de varianza*

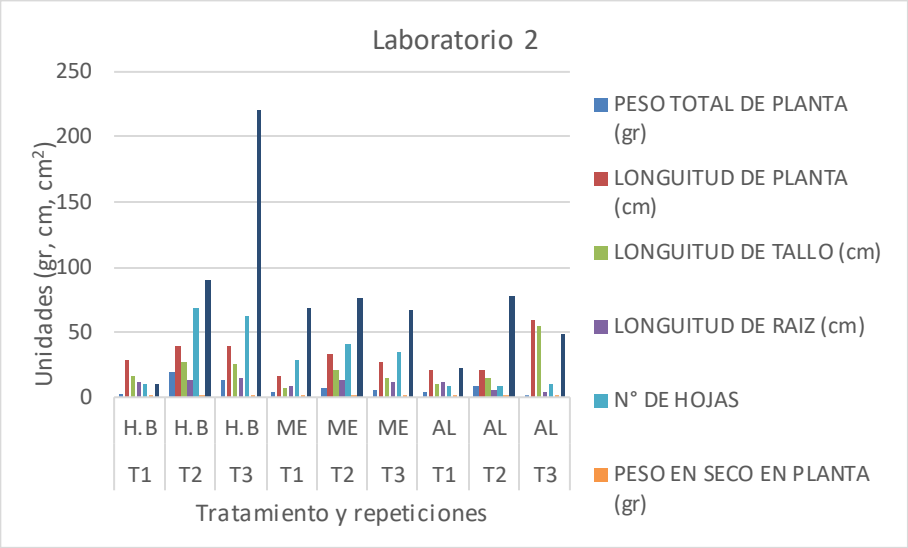
Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F calculado*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F de tablas*
Entre grupos	206.191137	2	103.0955683	0.2208329 3	0.80399103	3.554557146
Dentro de los grupos	8403.27667	18	466.8487039			
Total	8609.46781	20				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) laboratorio 1. Fuente: Autores, 2026.

De acuerdo con el análisis de varianza del laboratorio 1 (Tabla 4) se evidencia el rechazo de la H_1 teniendo en cuenta las variables de F crítico siendo mayor (3.554) que F (0.220), corroborando así la H_0 donde confirma que no hay diferencias significativas entre los tratamientos del primer laboratorio.

10.5 Laboratorio 2

Figura 13 *Datos segundo laboratorio*



Nota. Pieza gráfica donde se representa mediante un diagrama de barras los datos obtenidos en el segundo laboratorio. Fuente: Autores, 2026.

Tabla 5 *Pieza gráfica de la tabla de datos del segundo laboratorio.*

Número de plantas	H.b	H.b	H.b	Me	Me	Me	Al	Al	Al
Peso total de planta (gr)	2.2	19	12.6	3.4	6.6	5.2	4	8.8	0.038
Longitud de planta (cm)	28.5	40	40	16.5	33.5	26.5	21.5	21	59
Longitud de tallo (cm)	17	26.5	25	7.5	20.5	15.5	10	15	55
Longitud de raíz (cm)	11.5	13.5	15	9	13	11	11.5	6	4
N° de hojas	10	69	63	28	41	35	8	9	10
Peso en seco en planta (gr)	0.15	0.63	0.23	0.38	1.04	0.52	0.44	0.97	1.36
Área total (cm2)	10.88	89.92	220.1	69.08	76.83	66.89	22.94	77.97	48.19

Nota. Pieza gráfica de la tabla de datos que corresponde a la figura 13. Fuente: Autores, 2026.

Los resultados del segundo laboratorio (Figura 13) evidenciaron diferencias entre los tratamientos evaluados para cada especie vegetal. En la hierbabuena, el mayor peso total de planta se registró en el tratamiento 2, con 19 g, seguido del tratamiento 3, con 12,6 g. En cuanto al número de hojas, los tratamientos 2 y 3

presentaron los valores más altos, con 69 y 63 hojas, respectivamente. Asimismo, el área foliar presentó un comportamiento sobresaliente en el tratamiento 3, con 220,12 cm², seguido del tratamiento 2, con 89,92 cm² (Tabla 5), lo que evidencia un mayor desarrollo foliar en estos tratamientos. Por otra parte, el menor peso seco correspondió al tratamiento 1, con 0,15 g. En la albahaca, el mayor valor de longitud de planta se registró en el tratamiento 3, con 59 cm, siendo este también el tratamiento que presentó el mayor peso seco, con 1,36 g. En contraste, el peso total de planta más bajo se obtuvo en este mismo tratamiento, con 0,038 g. Respecto al número de hojas, los tratamientos 1 y 2 presentaron los valores más bajos, con 8 y 9 hojas, respectivamente. Finalmente, en la menta, la menor longitud de planta se registró en el tratamiento 1, con 16,5 cm.

Tabla 6 *Análisis de varianza*

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	861.423843	2	430.711922	0.58772888	0.56590155	3.55455715
Dentro de los grupos	13191.1411	18	732.841172			
Total	14052.5649	20				

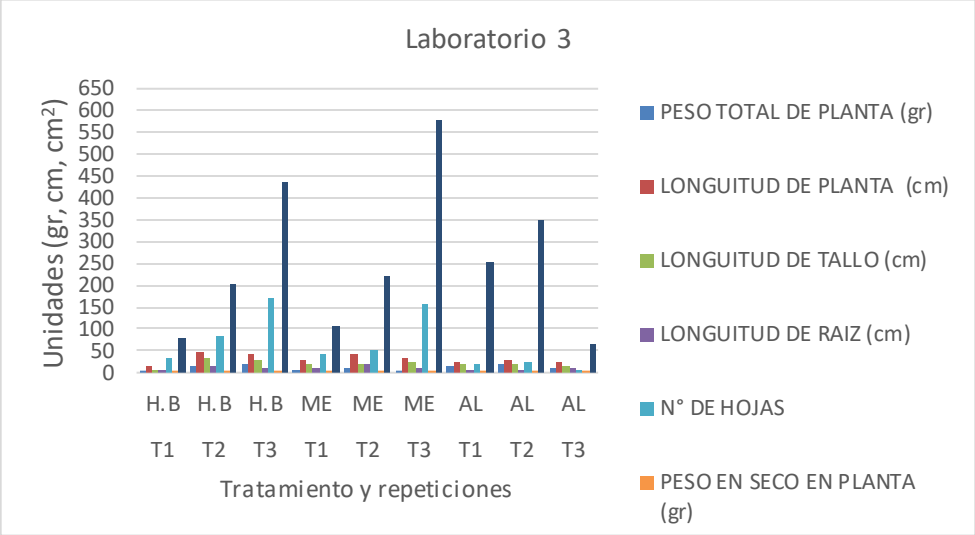
Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) laboratorio 2. Fuente: Autores,2026.

De acuerdo con el análisis de varianza del laboratorio 2 (Tabla 6) se evidencia el rechazo de la H_1 teniendo en cuenta las variables de F crítico siendo mayor (3.554)

que F (0.587), corroborando así la H_0 donde confirma que no hay diferencias significativas entre los tratamientos del primer laboratorio.

10.6 Laboratorio 3

Figura 14 *Datos tercer laboratorio.*



Nota. Pieza gráfica donde se representa mediante un diagrama de barras los datos obtenidos en el tercer laboratorio. Fuente: Autores, 2026.

Tabla 7 *Tabla de datos del tercer laboratorio.*

Número de plantas	H.B	H.B	H.B	ME	ME	ME	AL	AL	AL
Peso total de planta (gr)	3	16	22	8	9	4	17	22	10
Longitud de planta (cm)	13	48	42	30	41	32	26	27	23.5
Longitud de tallo (cm)	8	32	31	19.5	21	23.5	18	19	13.5
Longitud de raíz (cm)	5	16	11	10.5	20	8.5	8	8	10
N° de hojas	32	84	173	44	51	155	21	23	8
Peso en seco en planta (gr)	0.49	1.81	1.97	1.11	1.76	3.14	2.12	2.43	1.45
Área total (cm2)	78.7	202.7	437.2	106.3	221.0	579.0	255.5	351.2	65.2

Nota. Pieza gráfica de la tabla de datos que corresponde a la figura 14. Fuente: Autores,2026.

En el laboratorio 3 (Figura 14), se evidenciaron diferencias entre los tratamientos evaluados para cada especie vegetal. En la hierbabuena, el mayor peso total de

planta se registró en el tratamiento 3, con 22 g, seguido del tratamiento 2, con 16 g, mientras que el menor correspondió al tratamiento 1, con 3 g. En cuanto a la longitud de la planta, el tratamiento 2 presentó el mayor valor, con 48 cm, mientras que el tratamiento 1 registró el menor, con 13 cm. Respecto al número de hojas, el tratamiento 3 presentó el valor más alto, con 173 hojas. Asimismo, el área foliar del tratamiento 3 alcanzó 437,2 cm², siendo uno de los valores más altos registrados, y el peso seco del tratamiento 1 fue de 0,49 g, correspondiente al valor más bajo. En la menta, el tratamiento 2 presentó una longitud de planta de 41 cm, mientras que el tratamiento 3 registró 155 hojas, el segundo valor más alto para esta variable. Por otra parte, el tratamiento 3 presentó el mayor valor de área foliar, con 579 cm², así como el mayor peso seco, con 3,14 g. En la albahaca, el tratamiento 2 registró un peso total de planta de 12 g, un área foliar de 351,2 cm² y un peso seco de 2,43 g. En contraste, el tratamiento 3 presentó el menor número de hojas, con 8 hojas, y el menor valor de área foliar, con 65 cm².

Tabla 8 *Análisis de varianza*

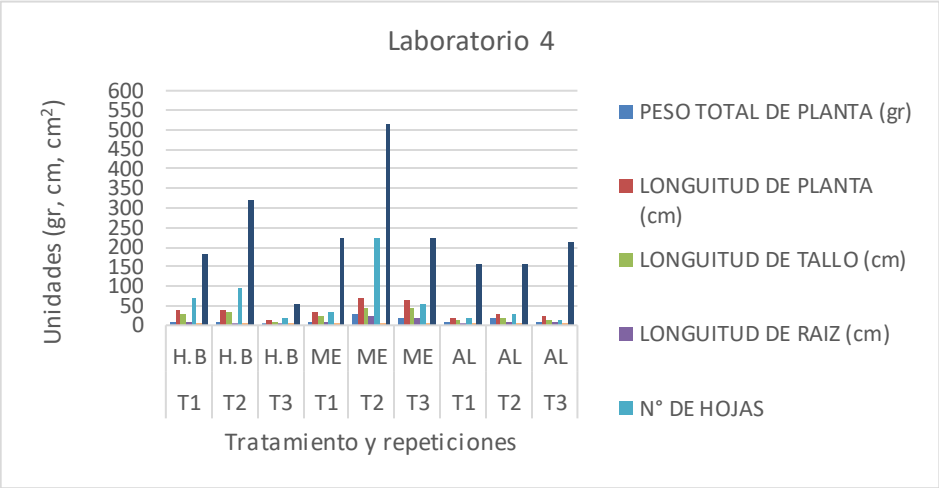
Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	1762.79324	2	881.396618	0.10512463	0.90076091	3.55455715
Dentro de los grupos	150917.428	18	8384.30154			
Total	152680.221	20				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) laboratorio 3. Fuente: Autores, 2026.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de varianza del laboratorio 3 (Tabla 8) se evidencia el rechazo de la H_1 teniendo en cuenta las variables de F crítico siendo mayor (3.554) que F (0.2), corroborando así la H_0 donde confirma que no hay diferencias significativas entre los tratamientos del primer laboratorio.

10.7 Laboratorio 4

Figura 15 *Datos cuarto laboratorio*.



Nota. Pieza gráfica donde se representa mediante un diagrama de barras los datos obtenidos en el cuarto laboratorio. Fuente: Autores, 2026.

Tabla 9 *Tabla de datos del cuarto laboratorio.*

Numero de plantas	H.B	H.B	H.B	ME	ME	ME	AL	AL	AL
Peso total de planta (gr)	9	10	2	8	29	18	9	21	10
Longitud de planta (cm)	38	40	13	35	70	63	19	26.5	22.5
Longitud de tallo (cm)	30	36	9.5	25	46	44	15.5	19.5	16
Longitud de raíz (cm)	8	4	3.5	10	24	19	3.5	7	6.5

N° de hojas	72	96	19	35	221	52	19	28	13
Peso en seco en planta (gr)	1.42	1.75	0.37	1.22	5.04	0.97	1.56	2.11	0.32
Área total (cm2)	180	321.6	56.92	222.5	513.8	221	157.2	157	213.3

Nota. Pieza gráfica de la tabla de datos que corresponde a la figura 15. Fuente: Autores, 2026.

Como nos muestra la figura 15. Los tratamientos tienen variaciones, para empezar, en el peso total de la planta se registró en la menta del tratamiento 2 con 29g, mientras que el menor corresponde a la hierbabuena en el tratamiento 3 con 2g la mayor longitud de la planta también se obtuvo en la menta del tratamiento 2 con 70 cm y la menor en la hierbabuena del tratamiento 3 con 13 cm. El número de hojas fue superior en la menta del tratamiento 2 con 221 hojas. Y menor en albahaca del tratamiento 3 con13 hojas. De igual manera, el área total alcanzó su máximo valor en la menta del tratamiento 2 con 513.77 cm² y el mínimo le hierbabuena del tratamiento 3 con 56.92. cm². Finalmente, el mayor peso seco se presentó en la menta del tratamiento 2 con 5.04g, mientras que el menor se registró en la albahaca del tratamiento 3 con 0.32g.

Tabla 10 *Análisis de varianza*

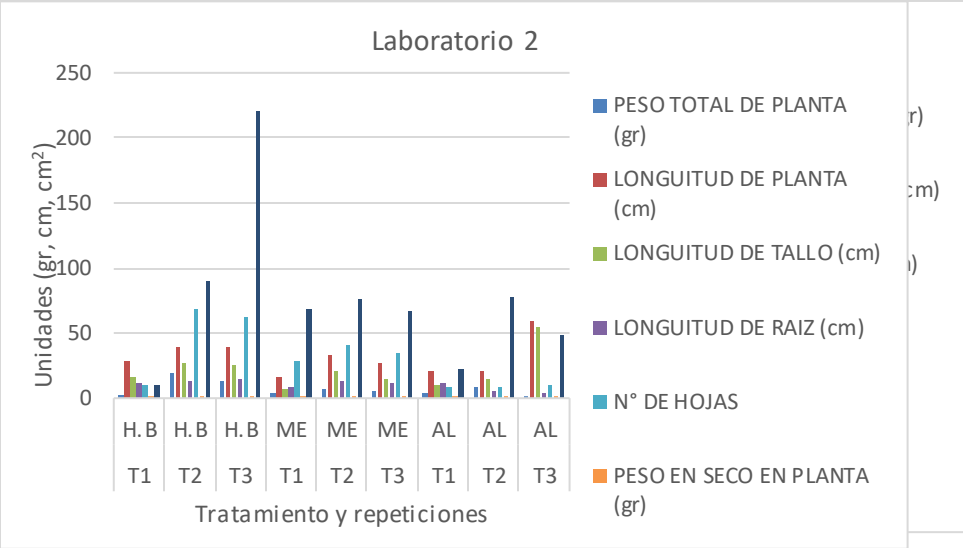
Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	7102.93291	2	3551.46646	0.52193545	0.60208178	3.55455715
Dentro de los grupos	122479.505	18	6804.41697			
Total	129582.438	20				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) del laboratorio 4. Fuente: Autores, 2026.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de varianza del laboratorio 4 (Tabla 10) se evidencia el rechazo de la H_1 teniendo en cuenta las variables de F crítico siendo mayor (3.554) que F (0.521), corroborando así la H_0 donde confirma que no hay diferencias significativas entre los tratamientos del primer laboratorio.

10.8 Laboratorio 5

Figura 16 *Datos del quinto laboratorio.*



Nota. Pieza gráfica donde se representa mediante un diagrama de barras los datos obtenidos en el quinto laboratorio. Fuente: Autores, 2026.

Tabla 11 *Tabla de datos del quinto laboratorio.*

Numero de plantas	H.B	H.B	H.B	ME	ME	ME	AL	AL	AL
Peso total de planta (gr)	12.85	4.26	9.11	5.5	5.44	7.57	26.26	11.86	6.63
Longitud de planta (cm)	40.5	23	59	41	30.5	36	30	20	24
Longitud de tallo (cm)	24.5	15	22	32	25.5	25	23	13	15.5
Longitud de raíz (cm)	16	8	37	9	5	11	7	7	8.5
N° de hojas	71	24	42	23	22	20	35	31	10
Peso en seco en planta (gr)	1.7	2.1	0.44	1.46	6.05	1.16	1.87	2.53	0.38
Área total (cm2)	310.3	69.16	241.1	55.34	55.34	69.27	491	231.7	228.8

Nota. Pieza gráfica de la tabla de datos que corresponde a la figura 16. Fuente: Autores, 2026.

Los tratamientos evaluados en el laboratorio 5 (Figura 16) presentaron diferencias en las variables analizadas para las tres especies vegetales. En la albahaca, el mayor peso total de planta se registró en el tratamiento 1, con 26,26 g, mientras que el menor valor de longitud de planta correspondió al tratamiento 2, con 20 cm. Asimismo, el área foliar alcanzó su máximo valor en el tratamiento 1, con 490,98 cm^2, mientras que el tratamiento 3 presentó el menor número de hojas, con 10 hojas. En la hierbabuena, la mayor longitud de planta se obtuvo en el tratamiento 3, con 59 cm, mientras que el menor peso total de planta correspondió al tratamiento 2, con 4,26 g. En cuanto al número de hojas, el tratamiento 1 presentó el mayor valor, con 71 hojas, mientras que el tratamiento 3 registró el menor peso seco, con 0,44 g. En la menta, el tratamiento 2 presentó el menor valor de área foliar, con 5534 cm^2, y el mayor peso seco, con 6,05 g (Tabla 11).

Tabla 12 *Análisis de varianza*

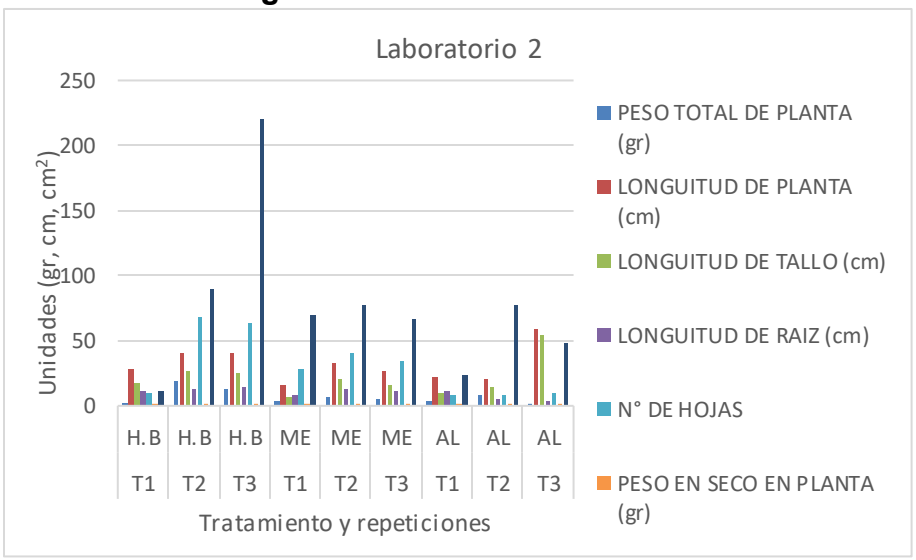
Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	4651.58892	2	2325.79446	0.37529608	0.69233719	3.55455715
Dentro de los grupos	111550.061	18	6197.22561			
Total	116201.65	20				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) del laboratorio 5. Fuente: Autores, 2026.

De acuerdo con el análisis de varianza del laboratorio 5 (Tabla 12) se evidencia el rechazo de la H_1 teniendo en cuenta las variables de F crítico siendo mayor (3.554) que F (0.375), corroborando así la H_0 donde confirma que no hay diferencias significativas entre los tratamientos del primer laboratorio.

10.9 Laboratorio 6

Figura 17 *Datos del sexto laboratorio.*



Nota. Pieza gráfica donde se representa mediante un diagrama de barras los datos obtenidos en el sexto laboratorio. Fuente: Autores, 2026.

Tabla 13 *Tabla de datos del sexto laboratorio.*

Numero de plantas	H.B	H.B	H.B	ME	ME	ME	AL	AL	AL
Peso total de planta (gr)	6.18	5.24	4.93	9.11	14.7	5.7	8.41	11.9	9.8
Longitud de planta (cm)	26.5	11.24	32	46.5	71	44	15	24	23.5
Longitud de tallo (cm)	18.5	6	14	25	34	26	11	16.5	15
Longitud de raíz (cm)	8	5.24	18	21.5	37	18	4	7.5	8.5
N° de hojas	41	32	23	44	58	34	12	32	14
Peso en seco en planta (gr)	0.59	2.17	2.36	1.33	2.11	3.77	2.54	2.92	1.74
Área total (cm2)	69.16	78.69	96.56	119.6	187.9	119.6	277.3	231.7	213.3

Nota. Pieza gráfica de la tabla de datos que corresponde a la figura 17. Fuente: Autores, 2026.

La Figura 17 presenta diferencias entre los tratamientos evaluados en el laboratorio 6 para las tres especies vegetales. En la albahaca, el tratamiento 1 presentó el mayor número de hojas, con 12 hojas, y el mayor valor de área foliar, con 277,33 cm². En la menta, el tratamiento 2 registró el mayor peso total de planta, con 14,7 g, así como la mayor longitud, con 71 cm, y el mayor número de hojas, con 58 hojas. Por otra parte, el mayor peso seco se presentó en el tratamiento 3, con 3,77 g. En la hierbabuena, el menor peso total de planta se obtuvo en el tratamiento 3, con 4,93 g, mientras que el tratamiento 2 presentó la menor longitud de planta, con 11,24 cm. En cuanto al área foliar, el menor valor correspondió al tratamiento 1, con 69,16 cm², y este mismo tratamiento presentó el menor peso seco, con 0,59 g (Tabla 13).

Tabla 14 *Análisis de varianza*

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	1972.34657	2	986.173287	0.28262635	0.75708521	3.55455715
Dentro de los grupos	62807.7291	18	3489.31828			
Total	64780.0757	20				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) del laboratorio 6. Fuente: Autores, 2026.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de varianza del laboratorio 6 (Tabla 14) se evidencia el rechazo de la H_1 teniendo en cuenta las variables de F crítico siendo mayor (3.554) que F (0.282), corroborando así la H_0 donde confirma que no hay diferencias significativas entre los tratamientos del primer laboratorio

10.9.1 Análisis

Tabla 15 *Análisis de varianza albahaca*

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Tratamientos	122.89	2	61.44	1.611	0.2754	5.143
Error	228.83	6	38.14			
Total	351.72	8				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) de T1, T2, T3 en albahaca. Fuente: Autores, 2026.

El análisis de varianza (Anova), que se realizó para evaluar las variables de la albahaca, mostró una suma de cuadrados de 122.89 para los tratamientos con 2 grados de libertad, lo que generó un promedio de cuadrados de 61.44. Por su parte, el error experimental presenta una suma de cuadrados de 228.83 con 6 grados de libertad, obteniéndose un promedio de cuadrados de 38.14 lo que representa la variabilidad residual del experimento. El estadístico de prueba obtenida fue F igual a 1.611 mientras que el valor crítico de F fue 5.143 adicionalmente, la probabilidad asociada al análisis. P=0.2754 fue superior al nivel de significancia establecido. No se encuentran diferencias que sean estadísticamente significativas entre los tratamientos que se evaluaron, razón por la cual no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que las medias de nuestro tratamiento son estadísticamente iguales. En ese resultado se indica que las diferentes variaciones que se observaron entre los tratamientos pueden atribuirse a la variabilidad experimental y no al efecto de los tratamientos aplicados.

Tabla 16 *Análisis de varianza menta*

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Tratamientos	150.89	2	75.44	1.197	0.3652	5.143
Error	378.17	6	63.03			
Total	529.06	8				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza de T1, T2, T3 de la menta. Fuente: Autores, 2026.

El análisis de varianza que se realizó para poder evaluar las diferentes variables en la menta mostró una suma de cuadrados de 150.89 Para los tratamientos, con 2 grados de libertad, obteniéndose un promedio de cuadrados de 75.44. Por otra parte, el error experimental presentó una suma de cuadrados de 378.17 con 6 grados de libertad, generando un promedio de los cuadrados de 63.03 por lo cual representa la variabilidad residual del experimento. El estadístico de prueba que se obtuvo fue F=1.197. Mientras que el valor crítico de F fue de 5143. Además, la probabilidad asociada al análisis, donde p= 0.3652 fue superior al nivel de significancia establecido. No se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos que se evaluaron. Razón por la cual no se rechazó la hipótesis nula, la cual establece que las medidas de los tratamientos son estadísticamente iguales. Esos resultados indican que las diferencias observadas entre los tratamientos pueden atribuirse a la variabilidad experimental y no al efecto de los tratamientos aplicados. Asimismo, el mayor valor de la suma de cuadrados. Corresponde al error experimental en comparación con la suma de cuadrados de los tratamientos. Donde se deja en evidencia que la mayor parte de la variación que se observa se ve a factores experimentales no asociados a los tratamientos.

Tabla 17 *Análisis de varianza hierbabuena*

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Tratamiento	362.57	2	181.28	1.764	0.2498	5.143
Error	616.76	6	102.79			
Total	979.33	8				

Nota. Pieza gráfica del análisis de varianza (Anova) de la hierbabuena en T1, T2 Y T3. Fuente: Autores, 2026.

El análisis de Varianza (Anova) realizado para la variable evaluada en Hierbabuena presentó una suma de cuadrados de 362.57 para los tratamientos y 617.76 para el error experimental. Respectivamente, con 2 y 6 grados de libertad. El estadístico que se obtuvo fue F=1.764, Inferior al valor crítico de F= 5.143. Y la probabilidad asociada donde p= 0.2498. Fue mayor al nivel de significancia. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula, teniendo en cuenta que no hay diferencias que sean estadísticamente significativas entre los tratamientos que se evaluaron, por lo tanto. Las variaciones que se observan se atribuyen a la variabilidad experimental y no al efecto de los tratamientos, indicando un comportamiento estándar en la variable analizada.

11 Discusión

Durante los múltiples muestreos se observan diferencias en las variables como peso fresco, longitud de la planta, número de hojas, área foliar y peso seco, los análisis de varianza mostraron que dichas diferencias no fueron significativas hablando estadísticamente. Esto nos muestra que la diferencia de densidades de peces no ejerce un efecto mayoritario sobre el crecimiento de las especies, debido que la fluctuación de resultados se puede deber a algo experimental y no al tratamiento aplicado.

De igual manera Love et al. (2015) Muestra señalamientos de que una vez un sistema alcanza la estabilidad biológica, el crecimiento vegetal tiende a mantenerse constante, incluso cuando se presentan variaciones en la carga de peces; Lo que explicaría la ausencia de diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos estimados.

Por otro lado, relacionando los desafíos observados en la estabilidad del sistema y la necesidad de un monitoreo constante con lo que dijo Goddek et al. (2019), quienes afirman que la acuaponía enfrenta limitaciones económicas y sociales, especialmente en contextos de alta variabilidad climática, en la región de la Orinoquía esas dificultades se manifiestan de maneras extremas siendo espacios susceptibles a plagas, por ende, la importancia de un manejo técnico especializado.

En cuanto a las especies menta y hierbabuena, mostraron tener una adaptación eficiente en el sistema, lo cual se puede explicar por su plasticidad genética como lo describen Franco et al (2023). Mientras que la albahaca presenta una mayor sensibilidad a las variaciones ambientales, lo que coincide con lo que expresa

Moncayo et al (2015), Donde hacen referencia que esta especie pese a su rápido crecimiento, depende de condiciones estables para alcanzar un alto rendimiento. Finalmente, la introducción de plantas aromáticas en sistemas acuapónicos se relaciona con la expuesto por Suh et al. (2022) quienes destacan que esos cultivos presentan una oportunidad para diversificar la producción agrícola y tener acceso a mercados de alto valor agregado. En ese sentido, esta investigación muestra en la práctica cómo la acuaponía puede convertirse en una estrategia en innovación agrícola en Villavicencio, fortaleciendo la sostenibilidad ambiental, así como la economía global.

12 Conclusiones

- La implementación del sistema acuapónico en la granja agroecológica UNIMINUTO Permitió establecer exitosamente el cultivo de menta, hierbabuena y albahaca. Demostrando la viabilidad que ese sistema tiene para la producción de las plantas aromáticas bajo las condiciones de campo que se evaluaron allí. Teniendo en cuenta el diseño del sistema garantizó una adecuada recirculación del agua y el aprovechamiento de los nutrientes provenientes de la producción piscícola favoreciendo el crecimiento de las tres especies aromáticas durante el periodo experimental.

- En cuanto a las plantas, la evaluación de cada una de las variables, como el peso fresco, la longitud de la planta, número de hojas, área foliar y peso seco entre los tratamientos, las especias mostraron diferencias visualmente entre tratamientos. Sin embargo, el análisis de varianza indicó que esas diferencias no fueron estadísticamente significativas. En consecuencia, se aceptó la hipótesis nula, concluyendo que las diferentes densidades de peces evaluadas no ejercieron un efecto significativo sobre el desarrollo de las plantas.
- Las diferentes variaciones que se pudieron observar corresponden principalmente a la variabilidad propia del experimento. Pese a la ausencia de diferencias estadísticas, el análisis descriptivo permitió identificar tendencias de crecimiento entre las especies evaluadas, por ejemplo, la menta presentó un comportamiento favorable en variable relacionadas con biomasa y el desarrollo vegetativo. La hierbabuena

destacó por su producción de hojas y área foliar, mientras que la albahaca alcanzó valores importantes de peso fresco y biomasa.

- En algunos tratamientos los resultados dejan en evidencia que las tres especies tienen capacidad para adaptarse al sistema acuaponico implementado.
- Los resultados que se obtuvieron demuestran que un sistema Acuapónico Constituye una alternativa sostenible para la producción de plantas aromáticas, al permitir un uso eficiente del recurso hídrico, favorecer el reciclaje de nutrientes y reducir la dependencia de fertilizantes de origen sintético. Asimismo, este sistema representa una opción productiva con potencial para ser implementada en la región del meta, como una estrategia de diversificación agrícola y fortalecimiento de sistemas agroecológicos.

13 Recomendaciones

- Se recomienda a futuros investigadores profundizar en el estudio de los sistemas acuapónicos mediante la inclusión de un mayor número de procedimientos experimentales que permitan evaluar variables adicionales relacionadas con el desempeño productivo, fisiológico y sanitario de los cultivos. Asimismo, este tipo de investigaciones contribuirá al fortalecimiento del conocimiento científico y técnico sobre la acuaponía, generando información de referencia para optimizar su manejo y promover su adopción como alternativa sostenible de producción agrícola en el departamento del Meta.
- Se recomienda implementar un sistema de monitoreo y control periódico de la calidad del agua en los sistemas acuapónicos, evaluando variables como pH, temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitritos y conductividad eléctrica. El mantenimiento de estos parámetros dentro de rangos óptimos favorece la actividad de las bacterias nitrificantes, mejora la salud de los peces y garantiza una adecuada absorción de nutrientes por parte de las plantas, incrementando así la productividad y sostenibilidad del sistema.

14 Referencias bibliográficas

Carrasco, G., Ramírez, P., & Vogel, H. (2007). Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. Idesia (Arica), 25(2), 59–62. https://doi.org/10.4067/S0718-34292007000200007 (doi.org in Bing)

Colorado, F., Montañez, I., Bolaños, C., & Rey, J. (2013). Crecimiento y desarrollo de albahaca (Ocimum basilicum L.) bajo cubierta en la Sabana de Bogotá. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica. Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/866

Campos Mota, L., & Flores Sánchez, D. (2018). Sustratos orgánicos como alternativa para la producción de albahaca (Ocimum selloi Benth). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5, 1055–1061. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i5.1311

Egaña Rojas, D., Gálvez Espinoza, P., & Rodríguez Osiac, L. (2020). La alimentación en tiempos de pandemia por COVID-19. Revista Chilena de Salud Pública, 110–122. https://doi.org/10.5354/0719-5281.2020.60391

Flórez Martínez, D. H. (2018). PECTIA: Cadena de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines. Agrosavia. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16222.33601 (doi.org in Bing)

Franco, G., Durango, É. J. O., Henao, K. A. S., Vera, A. J. C., Hernández, L. F. L., & Restrepo, D. C. (2023). Producción de menta (Mentha spicata L.) y su aprovechamiento agroindustrial. https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406405

Franco, G., Bernal Estrada, J. A., Ortiz Paz, R. A., Díaz Diez, C. A., Rubiano Rodríguez, J. A., Henao Rojas, J. C., ... & Madroñero Solarte, I. A. (2022). Guía para el establecimiento y manejo de la hierbabuena (Mentha spicata* L.) en el Suroeste antioqueño*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/38127

Goddek, S., & Körner, O. (2021). Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6

Junge, R., Antenen, N., Villarroel, M., Griessler Bulc, T., Ovca, A., & Milliken, S.

(2020). Acuaponía: Libro de texto para la enseñanza superior. Zenodo. https://doi.org/10.5281/ZENODO.3948824

López, P. M. (2022). Menta (Vol. 8). Google Books. https://books.google.com.co/books?id=9kwPEAAAQBAJ

Leonor, P., & García, N. (2000). Las plantas medicinales y aromáticas: Una alternativa de futuro para el desarrollo rural. Boletín Económico de ICE, 2652, 29–39. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=127776

Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. Aquaculture, 435, 67–74. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023

Moré, P., & Colom, G. (2002). Distribución comercial de plantas aromáticas y medicinales en Cataluña. Investigación Agrícola: Producción Vegetal, 17(1). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=244288

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). Ingredientes naturales: Una alternativa de desarrollo sostenible [Archivo PDF]. https://linkata.co/forum/topics/cadena-de-plantas-arom-ticas-medicinales-condimentarias-y-afines

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Cadena de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines (PAMCA): Indicadores e instrumentos. https://sioc.minagricultura.gov.co/PlantasAromaticas/Documentos/2018-12-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Moncayo Luján, M. del R., Álvarez Reyna, V. de P., González Cervantes, G., Salas Pérez, L., & Chávez Simental, J. A. (2015). Producción orgánica de albahaca en invernadero en Comarca Lagunera. Terra Latinoamericana, 33(1), 69–77. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000100069

Orsini, G., & Tillett, S. (2019). Delimitación taxonómica de las especies de Mentha (Lamiaceae) presentes en herbarios y herbolarios del norte y Andes de Venezuela. Revista de la Facultad de Farmacia, 82(1–2), 11–26. https://www.researchgate.net/publication/337915666 (researchgate.net in Bing)

Parra, P., & Cameroni, M. (2009). Hierbas aromáticas y especias. Dirección de Industria Alimentaria y Agroindustrias. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/revista/ediciones/45/cadenas/r45_10_Aromaticas.pdf (alimentosargentinos.magyp.gob.ar in Bing)

Ruiz-Espinoza, F. H., Vázquez-Vázquez, C., García-Hernández, J. L., Salazar-

Sosa, E., Orona-Castillo, I., Zúñiga-Tarango, R., Murillo-Amador, B., Jerez-Mompies, E., & Beltrán-Morales, F. A. (2009). Comparación del costo energético de dos manejos del suelo para albahaca. Terra Latinoamericana, 27(4), 383–389. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000400013

Ronzón-Ortega, M., Hernández-Vergara, M. P., & Pérez-Rostro, C. I. (2012). Producción hidropónica y acuapónica de albahaca (Ocimum basilicum) y langostino malayo (Macrobrachium rosenbergii). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 15(Suppl. 2), S63–S71. https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1745/776

Rodríguez García, M. Á. (2023). Casos exitosos de hidroponía en cuatro municipios del departamento de Cundinamarca [Tesis de pregrado, Universidad de Cundinamarca]. https://hdl.handle.net/20.500.12558/4566

Suh, J., et al. (2022). Economic potentials and medicinal values of essential oil plants: A case study on basil and peppermint. Industrial Crops and Products, 177, 114122. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114122

Salazar Duque, D. (2024). Especias, hierbas aromáticas o condimentos usados en la cocina ecuatoriana. Investigación, 5(8), 24–25. http://portal.amelica.org/ameli/journal/572/5724879003/

Vilcara Castro, J. A. (2023). Cultivo de peces en sistema acuapónico [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. https://hdl.handle.net/

15 Anexos

Tabla 18 *Toma de datos del laboratorio 1 de T1, T2, T3.*

LABORATORIO 1												
Variables a evaluar A.C	T1			PROMEDIO T1	T2			PROMEDIO T2	T3			PROMEDIO T3
NUMERO DE PLANTAS	H.B	ME	AL		H.B	ME	AL		H.B	ME	AL	
PESO TOTAL DE PLANTA (gr)	3.3	5.7	7.3	5.4	1.7	13	17.7	10.8	4.5	4.8	9.2	6.2
LONGUITUD DE PLANTA	39.5	29	26.5	31.7	21.8	16,5	15	18.4	17.5	30	14.5	20.7
LONGUITUD DE TALLO	29	18.5	11.5	19.7	14	10.5	10.5	11.7	13	15.5	10	12.8
LONGUITUD DE RAIZ	10.5	10.5	15	12.0	7.8	6	4.5	6.1	4.5	14.5	4.5	7.8
N° DE HOJAS	25	27	16	22.7	21	12	12	15.0	24	23	8	18.3
PESO EN SECO EN PLANTA	0.44	0.83	0.7	0.7	0.21	0.27	2.14	0.9	0.23	0.75	0.82	0.6
AREA TOTAL	35.72	81.7	83.44	67.0	13.2	29.78	150.11	64.363	17.53	82.8	22.94	41.1

Tabla 19 *Toma de datos del laboratorio 2 de T1, T2, T3.*

LABORATORIO 2												
Variables a evaluar A.C	T1			PROMEDIO T1	T2			PROMEDIO T2	T3			PROMEDIO T3
NUMERO DE PLANTAS	H.B	ME	AL		H.B	ME	AL		H.B	ME	AL	
PESO TOTAL DE PLANTA (gr)	2.2	3.4	4	3.2	19	6.6	8.8	11.5	12.6	5.2	0.038	5.9
LONGUITUD DE PLANTA	28.5	16.5	21.5	22.2	40	33.5	21	31.5	40	26.5	59	41.8
LONGUITUD DE TALLO	17	7.5	10	11.5	26.5	20.5	15	20.7	25	15.5	55	31.8
LONGUITUD DE RAIZ	11.5	9	11.5	10.7	13.5	13	6	10.8	15	11	4	10.0
N° DE HOJAS	10	28	8	15.3	69	41	9	39.7	63	35	10	36.0
PESO EN SECO EN PLANTA	0.15	0.38	0.44	0.3	0.63	1.04	0.97	0.9	0.23	0.52	1.36	0.7
AREA TOTAL	10.88	69.08	22.94	34.3	89.92	76.83	77.97	81.6	220.12	66.89	48.19	111.7

Tabla 20 *Toma de datos del laboratorio 3 de T1, T2, T3.*

LABORATORIO 3												
Variables a evaluar A.C	T1			PROMEDIO T1	T2			PROMEDIO T2	T3			PROMEDIO T3
NUMERO DE PLANTAS	H.B	ME	AL		H.B	ME	AL		H.B	ME	AL	
PESO TOTAL DE PLANTA (gr)	3	8	17	9.3	16	9	22	15.7	22	4	10	12.0
LONGUITUD DE PLANTA	13	30	26	23.0	48	41	27	38.7	42	32	23.5	32.5
LONGUITUD DE TALLO	8	19.5	18	15.2	32	21	19	24.0	31	23.5	13.5	22.7
LONGUITUD DE RAIZ	5	10.5	8	7.8	16	20	8	14.7	11	8.5	10	9.8
N° DE HOJAS	32	44	21	32.3	84	51	23	52.7	173	155	8	112.0
PESO EN SECO EN PLANTA	0.49	1.11	2.12	1.2	1.81	1.76	2.43	2.0	1.97	3.14	1.45	2.2
AREA TOTAL	78.69	106.308	255.51	146.8	202.67	220.987	351.169	258.3	437.246	578.972	65.182	360.47

Tabla 21 *Toma de datos del laboratorio 4 de T1, T2, T3.*

LABORATORIO 4												
Variables a evaluar A.C	T1			PROMEDIO T1	T2			PROMEDIO T2	T3			PROMEDIO T3
NUMERO DE PLANTAS	H.B	ME	AL		H.B	ME	AL		H.B	ME	AL	
PESO TOTAL DE PLANTA (gr)	9	8	9	8.7	10	29	21	20.0	2	18	10	10.0
LONGUITUD DE PLANTA	38	35	19	30.7	40	70	26.5	45.5	13	63	22.5	32.8
LONGUITUD DE TALLO	30	25	15.5	23.5	36	46	19.5	33.8	9	Área de trazado	16	23.2
LONGUITUD DE RAIZ	8	10	3.5	7.2	4	24	7	11.7	3.5	19	6.5	9.7
N° DE HOJAS	72	35	19	42.0	96	221	28	115.0	19	52	13	28.0
PESO EN SECO EN PLANTA	1.42	1.22	1.56	1.4	1.75	5.04	2.11	3.0	0.37	0.97	0.32	0.6
AREA TOTAL	179.985	222.466	157.18	186.5	321.638	513.777	157,182	52672.5	56.919	220.987	213.34	163.75

Tabla 22 *Toma de datos del laboratorio 5 de T1, T2, T3.*

LABORATORIO 5												
Variables a evaluar A.C	T1			PROMEDIO T1	T2			PROMEDIO T2	T3			PROMEDIO T3
NUMERO DE PLANTAS	H.B	ME	AL		H.B	ME	AL		H.B	ME	AL	
PESO TOTAL DE PLANTA (gr)	12.85	5.5	26.26	14.9	4.26	5.44	11.86	7.2	9.11	7.57	6.63	7.8
LONGUITUD DE PLANTA	40.5	41	30	37.2	23	30.5	20	24.5	59	36	24	39.7
LONGUITUD DE TALLO	24.5	32	23	26.5	15	25.5	13	17.8	22	25	15.5	20.8
LONGUITUD DE RAIZ	16	9	7	10.7	8	5	7	6.7	37	11	8.5	18.8
N° DE HOJAS	71	23	35	43.0	24	22	31	25.7	42	20	10	24.0
PESO EN SECO EN PLANTA	1.7	1.46	1.87	1.7	2.1	6.05	2.53	3.6	0.44	1.16	0.38	0.7
AREA TOTAL	310.25	55.34	490.98	285.5	69.16	55.34	231.66	118.7	241.09	69.27	228.77	179.71

Tabla 23 *Toma de datos del laboratorio 6 de T1, T2, T3.*

LABORATORIO 6												
Variables a evaluar A.C	T1			PROMEDIO T1	T2			PROMEDIO T2	T3			PROMEDIO T3
NUMERO DE PLANTAS	H.B	ME	AL		H.B	ME	AL		H.B	ME	AL	
PESO TOTAL DE PLANTA (gr)	6.18	9.11	8.41	7.9	5.24	14.7	11.9	10.6	4.93	5.7	9.8	6.8
LONGUITUD DE PLANTA	26.5	46.5	15	29.3	11.24	71	24	35.4	32	44	23.5	33.2
LONGUITUD DE TALLO	18.5	25	11	18.2	6	34	16.5	18.8	14	26	15	18.3
LONGUITUD DE RAIZ	8	21.5	4	11.2	5.24	37	7.5	16.6	18	18	8.5	14.8
N° DE HOJAS	41	44	12	32.3	32	58	32	40.7	23	34	14	23.7
PESO EN SECO EN PLANTA	0.59	1.33	2.54	1.5	2.17	2.11	2.92	2.4	2.36	3.77	1.74	2.6
AREA TOTAL	69.16	119.63	277.33	155.4	78.69	187.87	231.66	166.1	96.56	119.63	213.34	143.18

Figura 18 *Plantas en el deshidratador después de su proceso en laboratorio.*



Nota. Muestra gráfica de las plantas separadas en bolsas para el proceso de deshidratación. Fuente: Autores, 2026

Figura 19 *Procedimientos en laboratorio.*



Nota. Muestra gráfica de los procesos realizados en laboratorio con respecto a las plantas. Fuente: Autores, 2026.

Figura 20 *Nivelación de pH en el agua.*



Nota. Se utilizó carbonato de calcio para nivelar el pH del reservorio, muestra gráfica.
Fuente: Autores, 2026.

16 Cronograma (Diagrama de Gantt)

UNIMINUTO Corporación Universitaria Minuto de Dios	Corporación Universitaria Minuto de Dios Facultad de Ingeniería **Programa de Ingeniería Agroecológica**																										
TÍTULO DEL PROYECTO																											
RESPONSABLES																	PERIODO										
No.	ACTIVIDADES	RESPONSABLE	MESES/SEMANAS																								
			1				2				3				4				5				6				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Preparación terreno		X																								
2	Adecuación de pozo			X	X																						
3	Instalación de geomembrana					X																					
4	Adecuación tubos de hidroponía						X																				
5	Instalación de tubos						X																				
6	Adecuación zona tanques						X																				
7	Instalación de polisombra						X																				
8	Prueba de funcionamiento del sistema							X																			
9	Siembra de plántulas									X																	
10	Toma de datos											X															
11	Seguimiento												X		X		X		X		X		X				
12	Limpieza de tanques												X		X		X		X		X		X				

17 Presupuesto

Rubros	Descripción del requerimiento especifico	Cantidad /Unidad	valor unitario $	Valor total $
MANO DE OBRA	Jornalero 1	7	60.000	420000
	Jornalero 2	7	60.000	420000
	Jornalero 3	7	60.000	420000

	Subtotales	**21**	**180.000**	**1260000**
PAPELERÍA				
	Bitacoras	6	8000	48000
	Subtotales	**6**	**8000**	**48000**
MATERIALES E INSUMOS	MTS Geomembrana	260	13.697	3561220
	Electrobomba	1	134.454	134454
	Medidor de CO2 portatil	1	148.571	148571
	MTS cable encauchetado	40	12.605	504200
	MT3 Tierra excavacion	10	135.000	1350000
	Caneca plastica 55 galones	4	222.689	890756
	Kg Alambre galvanizado	10	12.605	126050
	Tubo 3" liviano	10	25.300	253000
	Tubo PVC 1"	4	16.807	67228
	Tubo PVC 3/4	2	12.605	25210
	Codo PVC 1"	4	2.101	8404

	Aireador 12V 120W	1	563.025	563025
	Netpot canastilla hidroponia-acuaponia	300	1.681	504300
	Cruceta PVC3/4	3	4.790	14370
	Poste de madera rollizo	15	21.849	327735
	Copa siera 2"	1	36.134	36134
	Cheque cortina bronce	1	36.639	36639
	Subtotales		**1.400.552**	**8.551.296,00**
	VALOR TOTAL		3.177.104	19.718.592,00