

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA ORGANICA
(ORNUSO) EN LA PRODUCCIÓN DE *BATAVIA LETTUCE* EN CULTIVO
HIDROPONICO CON SISTEMA RAÍZ FLOTANTE**



AUTOR:

ROSMERYS BAQUERO VILLARREAL

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2024



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA



#PorciResurgiralaUPC

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA ORGANICA
(ORNUSO) EN LA PRODUCCIÓN DE *BATAVIA LETTUCE* EN CULTIVO
HIDROPONICO CON SISTEMA RAÍZ FLOTANTE**

AUTOR:

ROSMERYS BAQUERO VILLARREAL

DIRECTOR

JAIME LUIS ARIZA RESTREPO
MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR

2024



www.unicesar.edu.co
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380
Valledupar Cesar Colombia

DEDICATORIA

Esta dedicatoria va dirigida a ti mamá Rosiris Villarreal Pacheco, quien ha sido una luz constante y una fuente inagotable de amor y apoyo en cada etapa de mi vida, tu presencia ha sido de gran importancia en cada uno de mis logros, y tu guía ha sido un faro que me ha orientado en los momentos de incertidumbre. Te agradezco por guiarme con paciencia y sabiduría, por permitirme soñar en grande y por ser siempre quien sostiene mi mano derecha, brindándome seguridad y fortaleza en cada paso que doy. Has estado a mi lado en los momentos de alegría, pero también en los momentos de duda y desafío, ofreciendo siempre palabras de aliento y una sonrisa que me recordaba que todo es posible.

En este proyecto, como en cada desafío que he enfrentado, tu ayuda fue crucial. No solo me apoyaste en las tareas más pequeñas, sino que también me enseñaste a enfrentar los obstáculos con determinación y fe. Me inspiraste a jamás rendirme incluso cuando las cosas parecían difíciles y me infundiste la confianza para seguir adelante.

Hoy, al culminar este proyecto, quiero reconocer que este logro no es solo mío, sino también tuyo porque sin tu amor incondicional, tu apoyo constante y tu fe inquebrantable en mí, nada de esto habría sido posible. Con todo mi amor y gratitud, te dedico este logro, sabiendo que cada palabra, cada idea y cada esfuerzo lleva una parte de ti.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado en este proyecto, cuyo apoyo y colaboración han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A mi compañera siempre fiel la ingeniera Jeimis Almanza García, quien ha estado a mi lado en cada paso de este camino. Tu compañía, dedicación y esfuerzo han sido esenciales para la realización de este proyecto. Has sido más que una compañera de carrera, has sido una aliada incondicional, aportando no solo tu trabajo, sino también tu ánimo y tu amistad en los momentos en que más lo necesitaba. Este proyecto no habría sido el mismo sin tu valiosa contribución.

También quiero agradecer de manera especial al ingeniero Jaime Luis Ariza Restrepo. Sus enseñanzas, correcciones y guía a lo largo de este proceso han sido de gran valor para mí. Su experiencia y conocimientos fueron una luz en los momentos de duda y su participación ha sido clave para que hoy pueda presentar este trabajo con orgullo. Gracias por compartir su tiempo y sabiduría conmigo, y por haber sido un mentor excepcional.

De igual manera, extiendo mi agradecimiento al ingeniero Luis Carlos Díaz Muegues por sus asesorías y recomendaciones en el desarrollo del proyecto. Su orientación fue fundamental en la superación de los desafíos que se presentaron, sus consejos me permitieron mejorar y perfeccionar cada detalle. Su apoyo y disposición para ayudarme han sido invaluable, siempre estaré agradecido por su compromiso con mi crecimiento académico y profesional.

A todos ustedes, gracias por creer en mí y por ser parte de este importante logro en mi vida. Sus contribuciones han dejado una huella imborrable en este proyecto y en mi camino hacia el éxito.

RESUMEN

Este proyecto de grado se centra en el desarrollo de una solución innovadora para la agricultura hidropónica utilizando residuos sólidos de alimentos como base para la generación de nutrientes esenciales, la iniciativa busca abordar dos problemas clave: la gestión sostenible de los residuos alimentarios y la promoción de prácticas agrícolas más ecológicas. El proyecto comienza con la recolección y procesamiento de residuos sólidos de comida, que son comúnmente desechados en los hogares y restaurantes. Estos residuos son transformados a través de procesos biológicos en una solución nutritiva rica en los minerales y compuestos necesarios para el crecimiento de las plantas en sistemas hidropónicos.

Una vez generada, la solución se aplica en un sistema hidropónico diseñado específicamente para este proyecto. Se llevaron a cabo pruebas comparativas entre cultivos utilizando la solución basada en residuos y con soluciones hidropónicas convencionales. Los resultados muestran que la solución propuesta no solo es viable, sino que también puede mejorar la sostenibilidad y eficiencia del cultivo hidropónico. El proyecto no solo demuestra el potencial de los residuos alimentarios como una fuente viable de nutrientes también ofrece una solución a la problemática creciente de los desechos orgánicos. Al integrar principios de economía circular, este enfoque presenta una alternativa sostenible para la agricultura moderna, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y promoviendo prácticas más responsables en el uso de recursos.

ABSTRACT

This project presents the development of an innovative hydroponic solution generated from food waste, addressing both sustainable waste management and the promotion of eco-friendly agricultural practices, the project involves collecting and processing solid food waste, which is typically discarded by households and restaurants transforming it through biological and chemical processes into a nutrient-rich solution essential for plant growth in hydroponic systems.

The generated solution was applied in a custom-designed hydroponic setup, and comparative tests were conducted between crops grown with this waste-based solution and those nourished with conventional hydroponic solutions, results indicate that the proposed solution is not only viable but also enhances the sustainability and efficiency of hydroponic cultivation.

This research demonstrates the potential of food waste as a viable nutrient source while offering a solution to the increasing problem of organic waste, by incorporating principles of the circular economy, this approach presents a sustainable alternative for modern agriculture, contributing to environmental impact reduction and promoting more responsible resource usage.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	16
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. MARCO REFERENCIAL.....	19
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
4.2. MARCO TEÓRICO.....	22
4.2.1. Hidroponía	22
4.2.2. Sistema raíz flotante.....	22
4.2.3. Solución nutritiva.....	23
4.2.4. Residuos sólidos.....	23
4.2.5. Economía circular	24
4.3. MARCO CONCEPTUAL	24
4.4. MARCO CONTEXTUAL	25
4.5. MARCO LEGAL.....	27
5. MARCO METODOLÓGICO.....	31
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	31

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	31
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO	32
5.5. MUESTRA POBLACIONAL	32
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	32
5.7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	33
FASE 1: Caracterizar y cuantificar los residuos sólidos orgánicos que son generados en el comedor de la Universidad Popular del Cesar a través del método de cuarteo para ser utilizados en la producción de la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO).	33
FASE 2: Analizar la Eficiencia de la Solución Hidropónica Orgánica (ORNUSO) versus Soluciones Convencionales del Mercado en cultivo de raíz flotante de la especie Batavia lettuce.....	35
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	42
6.1. CARACTERIZAR Y CUANTIFICAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS QUE SON GENERADOS EN EL COMEDOR DE LA UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR A TRAVÉS DEL MÉTODO DE CUARTEO PARA SER UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA ORGÁNICA (ORNUSO).....	42
6.1.1. Revisión bibliográfica.....	42
6.1.2. Toma de muestras.....	46
6.1.3. Separación y clasificación para llevar a cabo método de cuarteo.....	47
6.2. ANALIZAR LA EFICIENCIA DE LA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA ORGÁNICA (ORNUSO) VERSUS SOLUCIONES CONVENCIONALES DEL MERCADO EN CULTIVO DE RAÍZ FLOTANTE DE LA ESPECIE BATAVIA LETTUCE.	47
6.2.1. Germinación de las semillas para el cultivo hidropónico	47
6.2.2. Construcción del cultivo hidropónico por sistema de raíz flotante.....	56
6.2.3. Producción de la solución hidropónica ORNUSO.....	61
6.2.4. Asignación de grupo, registro y seguimiento de variables.	62

7. CONCLUSIÓN.....	83
8. RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica del municipio de la Paz	26
Figura 2. Esquema toma de muestras de los Residuos Orgánicos	34
Figura 3. Método de Cuarteo	34
Figura 4. Esquema para separación de RSO por el método de cuarteo	35
Figura 5. Cultivo hidropónico por sistema Raíz Flotante	36
Figura 6. Ejemplo de diseño experimental de bloques completamente al azar	39
Figura 7. Cálculos del diseño experimental de bloques completamente al azar.....	40
Figura 8. Cálculos de la ANOVA para el diseño de bloques completamente al azar.....	40
Figura 9. Búsqueda del valor de f crítica en la tabla de Fisher	41
Figura 10. Resultado de laboratorio a Lombricomposta – Solución Nutritiva ORNUSO.....	44
Figura 11. Resultado de laboratorio de sulfuros a Lombricomposta – Solución Nutritiva ORNUSO	45
Figura 12. Muestras de residuos orgánicos.....	47
Figura 13. Agua de río (libre de cloro)	48
Figura 14. Semillas de lechuga Batavia.....	48
Figura 15. Semilla de lechuga Simpon	49
Figura 16. Semilla de lechuga Batavia	49
Figura 17. Geminación de semillas con aserrín	50
Figura 18. Geminación de semillas con aserrín	51
Figura 19. Germinación de semillas de lechuga Batavia.....	51
Figura 20. Semillas de lechuga Batavia en germinación	52

Figura 21. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia	52
Figura 22. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia	53
Figura 23. Germinación sin aserrín de lechuga Batavia	53
Figura 24. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia	54
Figura 25. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia	55
Figura 26. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia	55
Figura 27. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia	56
Figura 28. Tanque de montaje	58
Figura 29. Recipiente con solución nutritiva ORNUSO.....	59
Figura 30. Montaje con mangueras y máquina de oxigenación.....	60
Figura 31. Montaje con mangueras y máquina de oxigenación.....	60
Figura 32. Lombricompostura para obtención de solución nutritiva ORNUSO	61
Figura 33. Resultado de la Lombricompostura - solución nutritiva ORNUSO.....	62
Figura 34. Montaje de hidroponía 1.....	66
Figura 35. Montaje de hidroponía 2.....	66
Figura 36. Montaje de hidroponía 3.....	67
Figura 37. Montaje de hidroponía 4.....	67
Figura 38. Montaje de hidroponía 1.....	68
Figura 39. Montaje de hidroponía 2.....	68
Figura 40. Montaje de hidroponía 3.....	69
Figura 41. Montaje de hidroponía 4.....	69
Figura 42. Planta viva	70
Figura 43. Planta muerta seca	71
Figura 44. Planta muerta seca	71
Figura 45. Planta muerta seca	72
Figura 46. Recipiente de Petri con solución nutritiva ORNUSO	77
Figura 47. Recipiente de Petri con solución nutritiva de mercado – HIDROINVER	78
Figura 48. Recipiente de petri con solución nutritiva ORNUSO a las 2 semanas de germinación.	78

Figura 49. Recipiente de petri con solución nutritiva de mercado a las 2 semanas de germinación.
..... 79

Figura 50. Recipiente de Petri con solución nutritiva ORNUSO a las 3 semanas de germinación
..... 79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Marco Legal aplicable al proyecto.....	27
Tabla 2. División de las proporciones de la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO) y la solución convencional del mercado.....	38
Tabla 3. Cantidad aplicada de solución por litro de agua	57
Tabla 4. Composición de las soluciones nutritivas.....	57
Tabla 5. Crecimiento de las plantas en hidroponía.....	63
Tabla 6. pH del agua con las soluciones nutritivas.....	64
Tabla 7. Temperatura del agua en cada tanque con solución nutritiva.....	64
Tabla 8. pH de ORNUSO y Turbidez.....	64
Tabla 9. Datos de crecimiento de las plantas en hidroponía para el diseño experimental	73
Tabla 10. Resultados del diseño experimental	75

INTRODUCCIÓN

La humanidad se enfrenta a desafíos globales de una magnitud sin precedentes y uno de los más apremiantes es el cambio climático, un fenómeno que trasciende las fronteras geográficas y culturales, afectando tanto a países desarrollados como a naciones en vías de desarrollo. La aceleración de este fenómeno ha desencadenado una serie de efectos adversos que trascienden lo meramente ambiental, permeando áreas tan cruciales como la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Así pues, desde tiempos inmemoriales, la sequía y la falta de agua han sido factores determinantes del desarrollo humano; las grandes hambrunas han propiciado la movilización de pueblos completos, y en ocasiones su decadencia y desaparición; pero también ha sido el motor del desarrollo tecnológico, al impulsar los avances científicos para mejorar la gestión y uso del agua, (Velasco & Ochoa, 2005).

Considerando lo anterior, la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO) en la producción de la *Batavia lettuce* en cultivo hidropónico con sistema de raíz flotante, surge como una respuesta innovadora y prometedora para abordar dichos desafíos.

En este contexto, la hidroponía es reconocida como un método eficiente de producción de alimentos que prescinde del suelo como sustrato, utilizando una solución acuosa enriquecida con nutrientes para alimentar a las plantas. Es así, como el cultivo hidropónico ofrece numerosas ventajas, como un mayor rendimiento en menor espacio, el control preciso de los nutrientes suministrados a las plantas, eficiencia del uso de nutrientes, menor contaminación y adaptación a condiciones extremas. Además, son más rentables y fáciles de controlar, lo que los convierte en un arma para combatir el hambre y reforzar la seguridad alimentaria, especialmente en países que se encuentran en desarrollo, (Iberdrola, s.f.).

En este proyecto, se buscaba optimizar aún más esta tecnología creando una ORNUSO para utilizar los residuos orgánicos generados en el comedor de la Universidad Popular del Cesar y convertirlos en una valiosa fuente de nutrientes para el cultivo de *Batavia lettuce*, esto no sólo

ayuda a reducir el desperdicio de alimentos, sino que también proporciona una alternativa sostenible a las soluciones nutritivas tradicionales.

Para esto se pretendían alcanzar los siguientes objetivos específicos: (1) Caracterizar los residuos orgánicos por el método del cuarteo producidos en el comedor de la Universidad Popular del Cesar. (2) Analizar la Eficiencia de la Solución Hidropónica Orgánica (ORNUSO) versus Soluciones Convencionales del Mercado en cultivo de raíz flotante de la especie *Batavia lettuce*.

Este documento se encuentra estructurado con cuatro capítulos, en el cual el primero contiene planteamiento del problema, justificación y objetivos, el segundo capítulo abarca marco referencial que está integrado con marco teórico, marco conceptual, marco legal, marco contextual y marco institucional, por su parte el tercer capítulo abarca todo el marco metodológico, con línea y sub línea de la investigación, área temática, alcance, enfoque, diseño, estrategias, población y muestra y por último, el cuarto capítulo contiene resultados esperados, cronograma de actividades, presupuesto y referencia bibliográfica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La seguridad alimentaria es un desafío global que se ha convertido en una prioridad urgente en el siglo XXI, a medida que la población mundial sigue aumentando, la presión sobre los sistemas de producción de alimentos se intensifica. Al mismo tiempo, la degradación del suelo, la escasez de agua y el cambio climático amenazan la capacidad de la agricultura tradicional para mantenerse al día con la demanda de alimentos, (FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura , 2019).

Aunque América Latina y el Caribe (ALC) fue la única región en alcanzar el Objetivo desarrollo del Milenio (ODM) de reducir la proporción de personas con desnutrición a la mitad entre 1990-2015, en el año 2016, el número de personas con hambre aumentó, al igual que la pobreza y la producción de alimentos estuvo bajo una fuerte presión para reducir su impacto ambiental y no perjudicar la sostenibilidad de los recursos naturales, (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2019)

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el año 2023, la prevalencia de la inseguridad alimentaria en Colombia crece en función de variables como el sexo de la persona (que en concordancia con el Banco Mundial, las mujeres son las más afectadas), su nivel educativo, las características de su hogar o si es extranjero, además, hay mayor riesgo en las partes rurales (32,5 por ciento) que en las cabeceras (26,8 por ciento).

En el contexto local de la ciudad de Valledupar, la agricultura convencional en las zonas cercanas se enfrenta a desafíos como la disponibilidad limitada de tierra cultivable y la gestión insostenible de los recursos naturales. Además, la ciudad importa una cantidad significativa de alimentos, lo que aumenta su vulnerabilidad a las interrupciones en la cadena de suministro. Estos residuos pueden ser una fuente importante de contaminación ambiental si no se gestionan adecuadamente, así pues, los residuos sólidos orgánicos se convierten en un recurso valioso para la economía circular, teniendo en cuenta que es relevante una gestión eficiente de ellos. Es importante destacar que el relleno sanitario "Los Corazones" de la ciudad de Valledupar, que abarca aproximadamente 30 hectáreas, se encuentra en una situación alarmante. Su vida útil,

estimada en siete años, está en riesgo debido a la deficiente gestión de los residuos sólidos. A esta situación se suma la actual emergencia sanitaria y el incremento de la población, impulsado por la llegada de migrantes, lo que ha generado un aumento en la producción de residuos y, en consecuencia, una reducción en la vida útil del relleno. La reutilización de los residuos estos desempeña un papel crucial en la promoción de la sostenibilidad ambiental, la conservación de recursos, la reducción de la contaminación y la mejora de la economía local. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, los residuos pueden ser aprovechados de diversas formas, incluyendo su uso como solución nutritiva en agricultura.

Así pues, el cultivo hidropónico en sistema raíz flotante, particularmente el uso de la solución nutritiva orgánica ORNUSO ofrece la oportunidad de abordar estos desafíos de manera innovadora. Sin embargo, antes de implementar esta solución a nivel local, es fundamental evaluar su eficiencia en la producción de *Batavia lettuce*.

1.1.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el marco del proyecto "Evaluación de la Eficiencia de la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO) en la Producción de la *Batavia lettuce* en Cultivo Hidropónico con Sistema de Raíz Flotante", se identifica una problemática crítica relacionada con la seguridad alimentaria. Esta problemática se manifiesta en la falta de acceso a alimentos frescos y nutritivos para la población, así como en la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más sostenibles para preservar los recursos naturales y garantizar la producción de alimentos a largo plazo.

En este sentido, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo puede contribuir la evaluación de la Solución Nutritiva Orgánica ORNUSO en el cultivo hidropónico de la *Batavia lettuce* como mitigación a la crisis actual de la seguridad alimentaria?

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto promueve prácticas agrícolas sostenibles mediante el cultivo hidropónico el cual reduce la presión sobre la tierra y los recursos hídricos, con la utilización de la ORNUSO además de aprovechar residuos orgánicos, se aborda la gestión de desechos y se contribuye a la reducción de la huella ambiental.

La hidroponía, conocida como el arte de cultivar sin suelo agrícola, es una tendencia en la agricultura que ha ganado un impulso significativo en los últimos años. Este método revolucionario reemplaza el suelo tradicional por soluciones minerales que suministran a las plantas los nutrientes esenciales para su crecimiento. Además de transformar la forma en que producimos alimentos, la hidroponía destaca por su capacidad para conservar recursos naturales esenciales, lo que la convierte en una opción cada vez más popular en la agricultura moderna, así como lo ha señalado Gil, (2022) los sistemas hidropónicos reducen el uso de agua hasta en un 90% ya que ésta se puede reciclar y reutilizar. Solo en riego se ahorra alrededor de un 40%, además de disminuir los costos de producción debido a la disminución en el uso de fertilizantes, pesticidas, energía, terreno y maquinaria agrícola.

Además, existe un control sobre la nutrición vegetal gracias al uso de soluciones nutritivas, que en este proyecto se quiere dar con la ORNUSO, en la cual se permite obtener un fruto estandarizado, de mejor tamaño y calidad. Según (Beltrano & Gimenez, 2015) el tiempo de desarrollo de la planta se acorta, como por ejemplo, en las lechugas, donde en tierra su ciclo antes del consumo es de aprox. 3.5 meses, cuando en hidroponía, en la técnica hidropónica de raíz flotante las podemos cultivar en tan solo 1.5 meses a partir de su germinación.

Ahora bien, una parte significativa de la inseguridad alimentaria está relacionada con el desperdicio de alimentos, por lo que este proyecto aborda este problema al utilizar residuos orgánicos procedentes de alimentos desperdiciados en la Universidad Popular del Cesar para crear la ORNUSO. De esta manera, se contribuye a la gestión sostenible de los residuos y se minimiza la carga ambiental, dando una posible solución a gran parte de los residuos producidos en el comedor universitario. Además, se aprovechan los nutrientes y la materia orgánica para la

fabricación de una solución nutritiva orgánica, lo que también contribuye a las estrategias para mitigar los efectos de los GEI en el cambio climático.

Este proyecto tiene un impacto directo en la preservación del medio ambiente y la protección de recursos naturales fundamentales, como el suelo y el agua. Más allá de eso, representa un avance significativo en la manera en que afronta los desafíos relacionados con la seguridad alimentaria y la gestión de desechos. Los esfuerzos de investigación y los logros alcanzados durante este proyecto generarán valioso conocimiento científico, especialmente en áreas críticas como la agricultura sostenible y la gestión de residuos orgánicos. A demás se pretende utilizar los resultados de esta investigación como una base sólida para la creación de un negocio verde, donde la ORNUSO y las prácticas de cultivo hidropónico sostenible se convertirán en un modelo comercial innovador y respetuoso con el medio ambiente.

Este conocimiento recopilado no solo beneficiará a nivel local, sino que también tiene el potencial de influir positivamente a nivel nacional al promover mejores prácticas en la gestión de recursos, este proyecto contribuirá a la construcción de un futuro más sostenible y equitativo para todos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la Eficiencia de la Solución Hidropónica Orgánica ORNUSO en cultivo de raíz flotante de la especie *Batavia lettuce*.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar y cuantificar los residuos sólidos orgánicos que son generados en el comedor de la Universidad Popular del Cesar a través del método de cuarteo para ser utilizados en la producción de la Solución Nutritiva Orgánica ORNUSO.

Analizar la Eficiencia de la Solución Hidropónica Orgánica ORNUSO versus Soluciones Convencionales del Mercado en cultivo de raíz flotante de la especie *Batavia lettuce*.

4. MARCO REFERENCIAL

En el presente documento se expondrán las investigaciones más actualizadas que proporcionarán información a la investigación.

En los últimos sesenta años se ha trabajado en el desarrollo de nuevos sistemas que ayuden a solventar esos problemas. Uno de los más representativos es la hidroponía, que ofrece una alternativa para producir alimentos, no sólo en las áreas con problemas de contaminación de suelos y carencia de agua sino también en el medio doméstico, (Zárate, 2015).

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cerrufo Manuel (2022), desarrolló el proyecto titulado “Producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo el sistema de raíz flotante con diferentes soluciones nutritivas” el cual se llevó a cabo en el verano de 2021 en Samborondón, cantón de la provincia del Guayas; tuvo como objetivos: Determinar la solución nutritiva viable para incrementar el rendimiento del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Batavia bajo el sistema de raíz flotante y determinar las curvas de crecimiento de lechuga con las tres soluciones nutritivas, el experimento se realizó a nivel de invernadero y se probó dos soluciones una orgánica y otra con fertilizantes de síntesis química. El sistema de producción usado fue de raíz flotante, como resultados se observó que la solución nutritiva de síntesis presentó mayores promedios en las cuatro variables evaluadas longitud de hoja, número de hojas, diámetro de tallo y ligeramente en longitud de raíz, en concordancia con las curvas de crecimiento, donde en la quinta y sexta evaluación la solución nutritiva de síntesis fertilizantes químicos superó a la solución orgánica. Este proyecto aporta principalmente desde una perspectiva metodológica y práctica al proyecto, al proporcionar un marco para el diseño experimental, parámetros de evaluación y resultados empíricos que son relevantes para la evaluación de la ORNUSO en el cultivo hidropónico de lechuga Batavia.

Mamani y Silvi (2021), realizaron el estudio “Evaluación de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), en tres soluciones nutritivas en sistema hidropónico de raíz flotante en el municipio de El Alto”, estudio se realizó en el municipio de El Alto, cuyo objetivo era ver el efecto de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), en tres soluciones nutritivas en sistema

hidropónico de raíz flotante en el Municipio de El Alto. El diseño que se utilizó para el estudio fue parcelas divididas con diseño completamente al azar con dos parcelas, tres repeticiones y nueve tratamientos. Factor A: soluciones (Cabezas, FAO y Hochmuth) como parcela mayor y Factor B: variedades (Americana, Sucre y Superbo) parcela menor. La técnica de siembra empleada fue por trasplante directo de las esponjas de poliuretano en la cual se realizó la germinación. Dentro de los resultados obtenidos los más relevantes dentro de las variables agronómicas fue el tratamiento 1 (T1) Solución Cabezas en la variedad americana la cual presentó las mejores características agronómicas como altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco a la cosecha y el rendimiento. En cuantos al análisis económico parcial realizado, estableció que el T1 (Solución Cabezas con la variedad Americana) presentó la mejor opción de producción con una relación B/C de 2,02 Bs/m²; en el T8 (Solución Hochmuth con la variedad Sucre) con una relación B/C de 0,79 Bs/m² siendo el tratamiento con menor rentabilidad. Este estudio sirve como referencia al considerar aspectos como el diseño experimental y el análisis económico.

Cevallo Mario (2020), Llevó a cabo el proyecto “Aplicación de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidropónico bajo el sistema NFT” La investigación se basó en la “Aplicación de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidropónico bajo el sistema NFT” el cual constó de dos tanques de 60 litros con dos bombas de agua de 2 hp las mismas que realizaban independientemente el riego en los tubos de PVC. Esta investigación tuvo como objetivos la evaluación de algunos indicadores de crecimiento de las tres variedades de lechuga, así como la determinación de las soluciones nutritivas aplicadas en donde se midió la mejor respuesta en las variedades y la valoración de los indicadores de producción de las mismas en condiciones hidropónicas. Los factores de estudio fueron las tres variedades de lechuga con la aplicación de las dos soluciones nutritivas, se lo realizó con el método NFT (Nutrient Film Technique), como resultado de los factores se obtuvo seis tratamientos cada uno con tres repeticiones. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), Los resultados obtenidos revelaron que la variedad de lechuga "Starfighter" mostró una mejor respuesta en términos de número de hojas y longitud de hoja cuando se aplicó la solución nutritiva "LM" y esa variedad también obtuvo un rendimiento superior en peso de hojas y peso de planta al utilizar la misma solución "LM". Por otro lado, la variedad "Patagonia" obtuvo resultados inferiores al

utilizar la solución "T". Esta investigación presenta una aplicación de desarrollo experimental y práctico, que son importante para tener en cuenta al momento de llevar a cabo el proyecto.

Gordillo (2017), desarrolló la investigación denominada “Residuo sólido acuapónico, como solución nutritiva hidropónica: una alternativa de producción sustentable”, tuvo como objetivo determinar la calidad nutrimental de los residuos sólidos presentes en el efluente de un sistema acuapónico asociado a un cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), y de lechuga (*Lactuca sativa* L). Como fuente para la elaboración de una solución nutritiva orgánica en la fertilización del cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) bajo un sistema hidropónico de camas con sustrato sólido, como resultado la producción de zanahorias hidropónicas, se obtuvo en promedio 1.80 kg/m² de crecimiento con la solución nutritiva orgánica, comparada con 64 el testigo 0.29 kg/m², consiguiendo con esto un aumento en la producción del 84.1% este incremento en la producción indica que el residuo del efluente acuapónico puede ser utilizado para la producción de zanahoria en sistemas hidropónicos. Esta investigación aporta una base metodológica para la utilización de los residuos sólidos orgánicos.

Beltrano (2015), realizó el trabajo “Cultivo en Hidroponía”, el cual explica todo acerca de un cultivo en hidroponía, que es una modalidad en el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo. Mediante esta técnica se producen plantas principalmente de tipo herbáceo, aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin perder de vistas las necesidades de las plantas, como luz, temperatura, agua y nutrientes. En el sistema hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva. El rendimiento de los cultivos hidropónicos puede duplicar o más los de los cultivos en suelo. La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc., incidirán fuertemente en el rendimiento del cultivo. El modernismo permitió la introducción de los avances de la informática para el control y ejecución de actividades, que han hecho de la automatización del cultivo hidropónico una realidad. Por su parte, este documento aporta desde una perspectiva teórica al proporcionar los conceptos fundamentales del cultivo hidropónico y sus beneficios potenciales. Además, ofrece información práctica sobre los factores que pueden influir en el rendimiento de los cultivos hidropónicos. Estos

aspectos teóricos y prácticos servirán como base para el desarrollo y la implementación del proyecto actual, ayudando a comprender los principios del cultivo hidropónico y a considerar aspectos prácticos en la evaluación de la ORNUSO en la producción de lechuga Batavia.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Hidroponía

Según Beltrano, (2015) la hidroponía es una técnica ancestral utilizada por algunas civilizaciones como medio de subsistencia. La palabra hidroponía deriva del griego *Hydro* (agua) y *Ponos* (trabajo), y significa: trabajo en agua.

Por otro lado, Tabares (2010) la hidroponía la define como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte (arena gruesa, turba, vermiculita, aserrín, etc.) al que se le agrega una solución nutriente que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal. Hay excelentes razones para reemplazar la tierra por un medio estéril; por ejemplo, se eliminan inmediatamente plagas y enfermedades contenidas en la tierra, lo que facilita el cuidado de las plantas.

4.2.2. Sistema raíz flotante

Se caracteriza por aportar las condiciones ambientales adecuadas que requieren las plantas para crecer, además ayuda a que el ciclo de la planta disminuya, lo cual permite obtener cosechas con mejores rendimientos en menor tiempo; asimismo, es importante mencionar que con este método de cultivo hidropónico no se necesita utilizar algún tipo de sustrato ya que las raíces deben permanecer dentro del agua en todo momento para recibir los nutrientes necesarios para su desarrollo. Además, permite obtener una mayor producción en comparación a otros métodos de cultivo convencionales; inclusive debido a sus características es posible producir alimentos para auto-consumo más sanos y 100 por ciento libres de productos químicos; cabe destacar que gracias a su estructura es posible generar un ahorro significativo de los recursos como el agua, los nutrientes y los fertilizantes, Hidroponia.mx, (2015).

4.2.3. Solución nutritiva

Según Intagri, (2017) en su artículo solución nutritiva y su monitoreo mediante análisis químico completo, dice que una solución nutritiva es el medio acuoso en el cual se encuentran disueltos los nutrientes esenciales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas, y es la vía principal de nutrición en hidroponía y sustratos. Para que una solución nutritiva sea completa debe tener: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, molibdeno, manganeso, boro, zinc, cobre y níquel.

Una solución nutritiva es aquella que contiene una concentración conocida de nutrimentos disueltos, y consiste en agua con oxígeno, nutrimentos esenciales en forma iónica y compuestos orgánicos como los quelatos de hierro Steiner, (1968).

4.2.4. Residuos sólidos

Los residuos sólidos en Colombia son definidos como "cualquier material, objeto o sustancia que resulta de actividades humanas o naturales y que es desechado como inútil, no deseado o sobrante" MINCIT, (2018).

Los residuos sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico. Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo MINCIT, (2018).

4.2.4.1. Residuos Orgánicos

Son biodegradables, se componen naturalmente y tiene la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica. Los residuos orgánicos se componen de restos de comida y restos vegetales de origen domiciliario, RSU (s.f.)

Los residuos orgánicos son todos los elementos que son desechos o residuos de origen animal y/o vegetal. Estos residuos tienen la capacidad de degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica, Volta (2019).

4.2.5. Economía circular

Busca promover la innovación y la generación de valor en sistemas de producción y consumo a través de optimizar, compartir, intercambiar, reciclar y regenerar materiales, agua y energía, Cancillería (2022).

La economía circular es un sistema de aprovechamiento de recursos cuyo pilar es el uso de cuatro “R”: reducir, reutilizar, reparar y reciclar. Es un modelo que va más allá del reciclaje y que se propone ir a la raíz del problema para ofrecer soluciones viables, ECOLEC (s.f.).

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Agroecosistema: ecosistema sometido por el hombre a continuas modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos para la producción de alimentos y fibras, Toro (2017)

Aprovechamiento: es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje, MINCIT (2018).

Biodegradación: es la degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales, MINCIT (2018).

Cultivo: Se denomina cultivo a la práctica de sembrar semillas en la tierra y realizar diferentes actividades para garantizar que estas germinen y crezcan de manera fructosa acorde a su estructura vegetal. Según la cantidad de agua aportada al cultivo su forma varia, por eso en esta ocasión le hablaremos de la forma de cultivo de secano, Agropinos (2017).

Gestión integral de residuos sólidos: es el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables, MINCIT (2018).

Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS): es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS, MINCIT (2018).

Producción Agrícola: La producción agrícola es el resultado de la explotación de la tierra para obtener bienes, principalmente, alimentos como cereales y diversos tipos de vegetales. El rendimiento hace referencia al resultado deseado efectivamente obtenido por cada unidad que realiza la actividad económica, Economipedia (2020).

Residuos Sólidos: constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico. Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Todos estos residuos sólidos, en su mayoría son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un correcto reciclado. Los principales "productores" de residuos sólidos somos los ciudadanos de las grandes ciudades, con un porcentaje muy elevado, en especial por la poca conciencia del reciclaje que existe en la actualidad, MINCIT (2018).

Residuos Sólidos Aprovechables: pueden ser cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo, MINCIT (2018).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

El presente proyecto se realizará en el municipio de la Paz, ubicado en el departamento del Cesar, limita al Norte con Valledupar, Manaure Balcón del Cesar (Cesar) y La Jagua del Pilar (La Guajira), al Este con la República de Venezuela y Agustín Codazzi (Cesar), al Sur con Agustín

Codazzi y El Paso (Cesar) y al Oeste con Valledupar y San Diego (Cesar), La cabecera municipal está localizada aproximadamente a los $10^{\circ}23'15''$ de latitud norte y $73^{\circ}10'09''$ de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 66 m, IGAC (2016).

Figura 1. Localización geográfica del municipio de la Paz



Nota. Elaboración propia, Google Earth (2023)

Este municipio se destaca por su contribución significativa a la producción agrícola regional. Los agricultores locales cultivan una amplia gama de productos, como lo son el café, maíz, yuca, cacao, plátano, entre otros y son estos mismos los que contribuyen a la economía de dicho municipio. La paz cuenta con condiciones climáticas favorables que permiten la agricultura durante gran parte del año. La producción agrícola está principalmente en manos de pequeños agricultores y productores familiares, quienes abastecen a la comunidad local y contribuyen al desarrollo rural.

Se debe aclarar que para un proyecto hidropónico y la necesidad de suelo es mínima o nula, ya que este sistema se basa en la utilización de soluciones nutritivas en lugar de suelo como se ha mencionado anteriormente. Sin embargo, se requerirá un espacio suficiente para albergar los sistemas del cultivo hidropónico, por lo que en el municipio se cuenta con el espacio, por tanto se realizará ahí. En cuenta a las condiciones ambientales la variación de la temperatura influye mucho en el diseño y la gestión que se le dará, por lo tanto su producción será en un ambiente controlado.

4.5. MARCO LEGAL

En este apartado se referencian los aspectos legales que se deben considerar en el presente proyecto.

Tabla 1. Marco Legal aplicable al proyecto

Normativa	Descripción	Aplicación
Constitución política de Colombia de 1991	Derecho a gozar de un ambiente sano (Artículo 79 – Artículo 80)	Los derechos y responsabilidades de cualquier ciudadano colombiano son fundamentales, por lo tanto, es esencial que se respete completamente la Constitución, dado que la creación de un punto temporal para la disposición de desechos representa una amenaza para derechos de gran importancia.
	El medio ambiente como patrimonio común (Artículos 8, 58, 63, 95)	
	Desarrollo Sostenible (Artículo 80)	
Ley 99 de 1993 Creación MINAMBIENTE, Organización SINA	Que las corporaciones autónomas regionales deben ejercer funciones de evaluación, control y seguimiento a actividades de producción de residuos sólidos (Artículo 31)	"Se identifican los actores principales que tienen la responsabilidad de trabajar en la mejora de las condiciones ambientales, siendo estos los responsables primordiales de la situación relacionada con la implementación de lugares temporales para la gestión de residuos sólidos."

	Que los municipios deben ejecutar obras o proyectos de descontaminación del ambiente por residuos sólidos (Artículo 65)	
Ley 373 de 1997 programa para el uso eficiente y ahorro de agua	Busca optimizar la eficiencia operacional, mejorar la competitividad económica y conservar los recursos hasta el futuro (Artículo 1)	Promueve la optimización de recursos hídricos, esto contribuye a una mayor eficiencia operacional, mejora la competitividad económica y garantiza la conservación de recursos para el futuro, y va en línea con los objetivos del proyecto.
Ley 1259 de 2008 Aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros	Establece las directrices para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia (Capítulo 1)	Se enfoca en la reducción de residuos y la disposición adecuada de los mismos, promoviendo así la reutilización y el reciclaje.
Decreto-Ley 2811 de 1974 Código de los Recursos Naturales	Regula factores que influyen en el ambiente como los residuos, basuras, desechos y desperdicios (Artículo 3)	Se indica que hay directrices y una comprensión clara con respecto a la gestión apropiada de los desechos sólidos,

	<p>Son factores que deterioran el ambiente la acumulación o disposición inadecuada de residuos, basuras, desechos y desperdicios (Artículo 8)</p>	<p>incluyendo residuos, desperdicios y basura, en múltiples niveles jerárquicos.</p>
	<p>Lineamientos del manejo de los residuos, basuras, desechos y desperdicios (Artículo 34, 35, 38)</p>	
<p>Decreto 2981 de 2013 gestión integral de residuos sólidos</p>	<p>Este decreto reglamenta la Ley 1259 y establece disposiciones específicas para la gestión integral de residuos sólidos</p>	<p>Establece las pautas y normativas para la gestión de residuos sólidos, esto implica que el proyecto debe cumplir con las disposiciones relacionadas con la recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de los residuos orgánicos generados en el proceso de producción de la solución nutritiva orgánica (ORNUSO).</p>
<p>Decreto 1076 del 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible</p>	<p>MinAmbiente y Desarrollo Sostenible encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán</p>	<p>Se debe cumplir con las directrices y regulaciones emitidas por este ministerio para garantizar la sostenibilidad ambiental.</p>

	<p>la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación (Artículo 1.1.1.1.1)</p>	
<p>Decreto 1090 de 2018 se adiciona el Decreto 1076 de 2015 Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua</p>	<p>Uso eficiente y ahorro del agua (UEAA) (Artículo 2.2.3.2.1.1.2)</p> <hr/> <p>Programa para el uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA) (Artículo 2.2.3.2.1.1.3)</p>	<p>Implementa prácticas que minimicen el consumo de agua, como la recirculación y el uso de aguas, esto no solo contribuye a la sostenibilidad hídrica, sino que también cumple con las directrices de eficiencia establecidas en el decreto como el presente que involucra el uso de este recurso.</p>

Nota. Tomado y adaptado por autor 2024 de (Corte Constitucional, 2015; MINAMBIENTE, s.f.; Gestor Normativo del Departamento Administrativo de Función Pública, s.f.)

5. MARCO METODOLÓGICO

Acuerdo No. 003 del 08 de Julio del 2021

5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación del programa de ingeniería ambiental y sanitaria es Sostenibilidad y Gestión Ambiental, específicamente en la sublínea producción más limpia y tecnologías ambientales y sanitarias, siendo el área temática mercados y negocios verdes.

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto se caracteriza por su enfoque altamente cuantitativo, que se centra en la evaluación de la eficiencia de la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO) de manera precisa y objetiva. El objetivo principal es medir de forma cuantitativa la capacidad de ORNUSO para optimizar la producción de *Batavia lettuce* en un sistema de cultivo hidropónico. Este enfoque riguroso se basa en la recopilación de datos concretos y medibles para comprender a fondo cómo esta solución nutritiva orgánica influye en el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Para llevar a cabo esta evaluación cuantitativa, se implementarán técnicas de medición precisas y se recopilarán datos numéricos específicos, lo que permitirá una evaluación más objetiva de la eficacia de ORNUSO en comparación con otras soluciones nutricionales. Este enfoque cuantitativo nos permitirá obtener resultados claros y cuantificables que respalden las conclusiones del estudio. Para la guía de este estudio utilizaremos el libro “metodología de la investigación rutas cuantitativa, mixta y cualitativa” (Hernández, 2018) el cual ofrece una cobertura exhaustiva de los conceptos fundamentales, técnicas de recopilación de datos y análisis apropiado para cada uno del enfoque de investigación.

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto tiene como alcance analizar la relación o grado de asociación entre la utilización de la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO) y los resultados en la producción de *Batavia lettuce* en un sistema de cultivo hidropónico con raíz flotante. Al examinar cómo la variable independiente (ORNUSO) se correlaciona con variables dependientes como el

rendimiento de las plantas, la calidad de la lechuga y la sostenibilidad del cultivo, se obtendrá una comprensión más profunda de cómo estas dos variables están relacionadas, según (Hernández, 2018).

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población que producía los residuos sólidos orgánicos fue desconocida, por ende, se realizó un estudio respectivo para tener un promedio de estudiantes que comían diariamente en el comedor universitario de la universidad popular del cesar.

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

La muestra poblacional de este proyecto debió ser el producido por muestra de los residuos sólidos orgánicos tomados en el comedor de la Universidad Popular del Cesar, aplicando el método del cuarteo en los residuos e investigando en el comedor cuantos almuerzos fueron entregados el día que la muestra fue tomado.

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación se propuso un diseño experimental teniendo como objetivo principal evaluar si la ORNUSO era más eficiente que la solución nutritiva convencional en el cultivo hidropónico de *Batavia Lettuce*.

Se definieron las variables (dependiente e independiente).

- ✓ Variable Independiente: Tipo de solución nutritiva (ORNUSO y convencional).
- ✓ Variable Dependiente: Rendimiento y calidad de las lechugas (medido en términos de peso, tamaño, sabor, color, entre otros).

Teniendo dos tratamientos:

- ✓ A (Solución Nutritiva Orgánica - ORNUSO)
- ✓ B (Solución nutritiva convencional)

Realizando 4 repeticiones en cada una de las muestras, con los diferentes tratamientos.

Hipótesis Nula (H0): No hay diferencia significativa en el rendimiento y calidad de las lechugas entre la ORNUSO y la solución nutritiva convencional.

Hipótesis Alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en el rendimiento y calidad de las lechugas entre la ORNUSO y la solución nutritiva convencional.

Es necesario realizar pruebas estadísticas como el Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en los resultados entre los grupos.

Posteriormente, en caso de encontrar diferencias significativas, se realiza una prueba de Tukey para identificar cuál de los tratamientos es estadísticamente superior.

5.7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

FASE 1: Caracterizar y cuantificar los residuos sólidos orgánicos que son generados en el comedor de la Universidad Popular del Cesar a través del método de cuarteo para ser utilizados en la producción de la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO).

Actividad 1.1. Revisión bibliográfica.

Descripción: En esta actividad se debe identificar las fuentes de información que proporcionarán datos y conocimientos relevantes sobre las soluciones nutritivas, cultivos hidropónicos en sistema raíz flotante y Residuos Orgánicos de alimentos, teniendo en cuenta que nutrientes pudieron aportar a la solución orgánica. Esto incluye libros, artículos científicos, informes técnicos, tesis académicas y recursos en línea.

Actividad 1.2. Toma de muestras.

Descripción: Esta actividad implicaba la recolección de muestras representativas de los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) generadas en el comedor de la Universidad Popular del Cesar.

Figura 2. Esquema toma de muestras de los Residuos Orgánicos

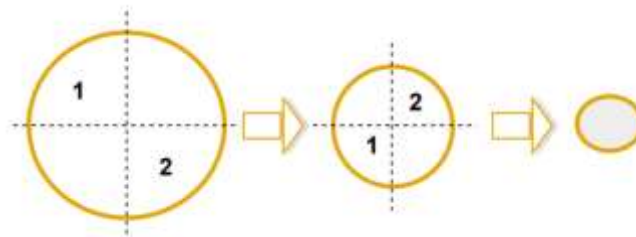


Nota. Elaboración Propia (2023)

Actividad 1.3. Separación y clasificación para llevar a cabo método de cuarteo.

Descripción: Consistió en separar y clasificar los residuos de acuerdo a su tipo, para identificar las principales categorías de Residuos Sólidos Orgánicos presentes y luego tomar submuestras de las categorías identificadas para el método de cuarteo.

Figura 3. Método de Cuarteo



Nota. Tomado de (BINASSS, 2002)

$$ppc = \frac{\text{kg recolectados}}{\text{No. habitantes o generadores}}$$

$$\text{densidad} = \frac{\text{peso (kg)}}{\text{volumen (m}^3\text{)}}$$

Figura 4. Esquema para separación de RSO por el método de cuarteo



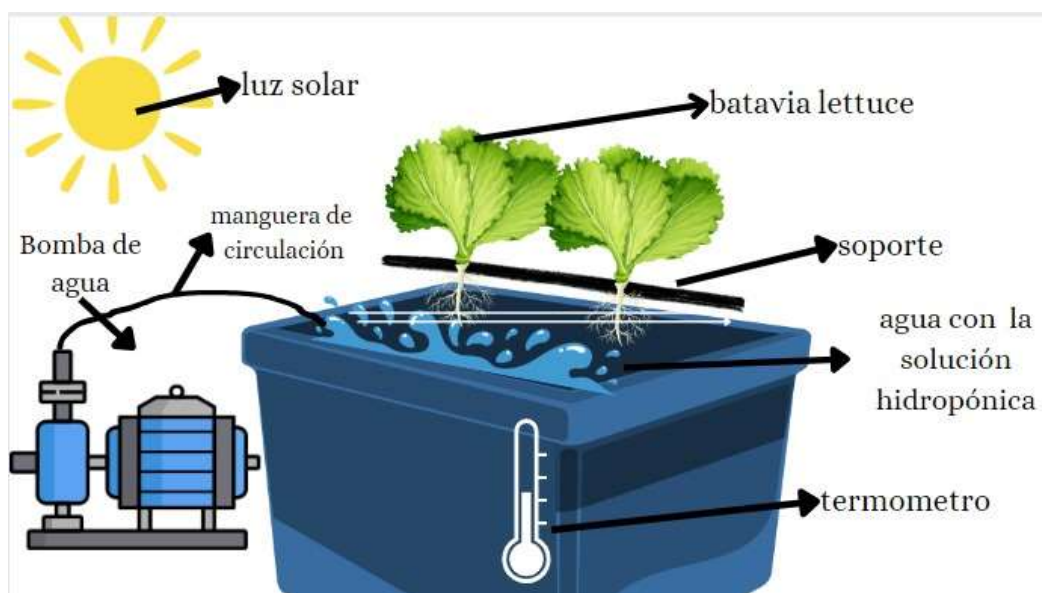
Nota. Elaboración Propia (2023)

FASE 2: Analizar la Eficiencia de la Solución Hidropónica Orgánica (ORNUSO) versus Soluciones Convencionales del Mercado en cultivo de raíz flotante de la especie Batavia lettuce.

Actividad 2.1. Construcción del cultivo hidropónico por sistema de raíz flotante.

Descripción: En esta actividad, se realizó la preparación y montaje del sistema de cultivo hidropónico utilizando el sistema de raíz flotante.

Figura 5. Cultivo hidropónico por sistema Raíz Flotante



Nota. Elaboración Propia (2023)

Para la construcción del cultivo hidropónico en el sistema raíz flotante se necesitó un recipiente, contenedor o cajón de plástico, bomba de aire para pecera, 1 metro de manguera (depende del tamaño del recipiente), plancha de telgopor (medidas adecuadas al recipiente que se utilice), agua y solución nutritiva (ORNUSO) y la convencional.

Inicialmente se vierte la solución nutritiva junto con el agua en el contenedor, luego se coloca la bomba en el fondo del recipiente, se toma la plancha de telgopor y se realizan perforaciones (la cantidad de perforaciones dependerá del espacio disponible y el tamaño de las lechugas), una vez realizadas las perforaciones, se conecta la manguera en la bomba y se coloca la plancha de telgopor sobre la solución líquida (esta deberá mantenerse flotando), se toman los plantines y se coloca la espuma fenólica en función de que sostenga las raíces y las envuelva, así pues las raíces quedarán en contacto con la solución continuamente para que puedan absorber los nutrientes necesarios y por último, se conecta la bomba, Infocampo (2017).

Se debe tener en cuenta que al realizar 4 repeticiones un diseño experimental con cuatro repeticiones utilizando dos soluciones ORNUSO y una solución nutritiva convencional),

necesitarás realizar un total de ocho cultivos del sistema de raíz flotante, ya que se quieren llevar a cabo al mismo tiempo.

Actividad 2.2. Producción de la solución hidropónica ORNUSO.

Descripción: En esta actividad, se llevará a cabo la producción de la Solución Nutritiva Orgánica ORNUSO a partir de los residuos sólidos orgánicos recolectados. Esto implicó el procesamiento y transformación de estos residuos, necesitando:

- Lombrices rojas californianas.
- Contenedor grande y hermético (puede ser un barril o una cubeta grande).
- Agua libre de cloro.
- Malla o tela transpirable.
- Bandejas o recipientes para recoger el lixiviado.

Procedimiento:

1. Preparación del contenedor: Selecciona un contenedor grande y hermético que esté limpio y libre de químicos tóxicos, con una tapa para mantener el ambiente húmedo y oscuro, condiciones óptimas para las lombrices. Luego, Perfora agujeros en la parte inferior del contenedor para permitir el drenaje del exceso de líquido.
2. Añadir lombrices: Introducir una cantidad adecuada de lombrices rojas californianas en el contenedor (la cantidad dependerá de la cantidad de residuos orgánicos que se generen).
3. Capa base de residuos orgánicos: Colocar una capa de residuos sólidos orgánicos triturados en el fondo del contenedor (esta capa actuará como alimento para las lombrices)
4. Mantener condiciones óptimas: Es importante mantener una temperatura constante en el contenedor, preferiblemente entre 15°C y 25°C, evitando la exposición a la luz solar directa y asegurarse de que las lombrices estén en un ambiente oscuro.
5. Alimentación regular: Alimentar a las lombrices regularmente con residuos orgánicos triturados.

6. Control de humedad: Asegurarse que el sustrato esté siempre húmedo pero no empapado, rociando agua sobre los residuos orgánicos según sea necesario para mantener la humedad adecuada.
7. Evitar sobrealimentación: No sobrealimentar a las lombrices y añadir más residuos solo cuando las lombrices hayan consumido la comida anterior.
8. Recogida de lixiviado: Colocar bandejas o recipientes debajo del contenedor para recoger el lixiviado (el líquido que se escurre de la mezcla). El lixiviado es una fuente valiosa de nutrientes.
9. Proceso de descomposición: Las lombrices descompondrán los residuos sólidos orgánicos, convirtiéndolos en vermicompost, que es una fuente rica de nutrientes para las plantas.
10. Obtención de ORNUSO: Cuando se tenga suficiente vermicompost, se extrae y se mezcla con agua para obtener la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO).

Actividad 2.3. Asignación de grupo, registro y seguimiento de variables.

Descripción: En esta actividad, se dividieron las plantas de *Batavia Lettuce* en dos grupos: uno que será cultivado utilizando la ORNUSO y otro con una solución nutritiva convencional del mercado. Se asignarán de manera equivalente en términos de cantidad y estado inicial de las plantas. Luego, se llevó a cabo un registro y seguimiento constante de diversas variables relevantes a lo largo del período de cultivo, como el crecimiento de las plantas, la calidad de la lechuga, el consumo de recursos y cualquier otro parámetro necesario para evaluar la eficiencia de las soluciones.

Tabla 2. División de las proporciones de la Solución Nutritiva Orgánica (ORNUSO) y la solución convencional del mercado

Agua	Solución Orgánica Hidropónica (ORNUSO)	Solución del mercado
50%	50%	50%
40%	60%	60%

60%	40%	40%
30%	70%	70%

Nota. Elaboración Propia (2023)

También se realizará el monitoreo de estos por medio de un diseño experimental de bloques completamente al azar, en el cual mediremos el crecimiento de cada una de las plantas en los diferentes montajes de la siguiente manera:

Figura 6. Ejemplo de diseño experimental de bloques completamente al azar

	Tratamientos				Total bloques
	A	B	C	D	
Bloque I	68	76	73	83	300
Bloque II	54	74	60	71	259
Bloque III	65	80	87	85	317
Total tratamientos	187	230	220	239	876
Medias tratamientos	62.3333	76.6667	73.3333	79.6667	

Nota. (Universidad Tecmilenio, s.f.)

Luego de esto debemos calcular cada uno de los datos obtenidos en la tabla anterior de la siguiente manera:

Figura 7. Cálculos del diseño experimental de bloques completamente al azar

Se obtiene el Factor de Corrección (FC)

$$= \frac{(876)^2}{(3)(4)} = 63498$$

a. *Suma de Cuadrados Totales=SC Totales*

$$= (68^2 + 54^2 + 65^2 + \dots + 83^2 + 71^2 + 85^2) - 63498$$

$$= 1122$$

b. *Sumas de Cuadrados de Tratamientos=SC Tratamientos*

$$= \frac{187^2 + 230^2 + 220^2 + 239^2 + \dots}{3} - 63498$$

$$= 515.3333$$

c. *Sumas de Cuadrados de Bloques=SC Bloques*

$$= \frac{300^2 + 259^2 + 317^2}{4} - 63498$$

$$= 444.5$$

d. *Suma de Cuadrados del Error=SC Error=SC Total-SC Tratamientos-SC Bloques=1122-515.3333-444.5=162.1667*

Nota. (Universidad Tecmilenio, s.f.)

Se forma la tabla del ANOVA:

Figura 8. Cálculos de la ANOVA para el diseño de bloques completamente al azar

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F ₀
Tratamientos	515.3333	3	171.7778	6.3556
Bloques	444.5	2	222.25	
Error	162.1667	6	27.0278	
Total	1,122	11		

Nota. (Universidad Tecmilenio, s.f.)

Se obtiene el valor de F crítica con un $\alpha = 0.05$ y con grados de libertad 3 y 6. El valor de F crítica es de 4.76.

Figura 9. Búsqueda del valor de f crítica en la tabla de Fisher

Puntos porcentuales de la distribución de Fisher

		$f_{0.05, v_1, v_2}$											
		Grados de libertad de numerador (v_1)											
v_2	v_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
	1	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9
2	1	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43
3	1	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70
4	1	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86
5	1	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62
6	1	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94
7	1	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51

Nota. (Universidad Tecmilenio, s.f.)

A continuación, se procede a tomar decisiones estadísticas fundamentadas en los resultados obtenidos a partir del diseño experimental este proceso de análisis se basa en los datos recolectados, los cuales nos permiten identificar el método más efectivo para promover el crecimiento y desarrollo de las plantas en el cultivo hidropónico, el diseño experimental implementado no solo facilita la comparación entre diferentes variables y condiciones controladas, sino que también asegura que cualquier influencia externa sea minimizada lo que incrementa la precisión de los resultados. Además, este enfoque experimental es crucial para garantizar que los resultados obtenidos sean válidos, confiables y aplicables en una variedad de contextos relacionados con la agricultura hidropónica. Las conclusiones derivadas del estudio están respaldadas por métodos estadísticos rigurosos que permiten evaluar con precisión la efectividad de las intervenciones aplicadas en el cultivo. Esto asegura que las recomendaciones o estrategias derivadas del proyecto estén sólidamente fundamentadas desde una perspectiva científica, contribuyendo al avance del conocimiento en la optimización de cultivos bajo condiciones controladas.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. CARACTERIZAR Y CUANTIFICAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS QUE SON GENERADOS EN EL COMEDOR DE LA UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR A TRAVÉS DEL MÉTODO DE CUARTEO PARA SER UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA ORGÁNICA (ORNUSO).

6.1.1. *Revisión bibliográfica.*

Esta revisión constó en hacer una consulta en fuentes académicas y científicas, incluyendo libros, artículos de revistas especializadas y documentos técnicos sobre el cultivo hidropónico, en donde se identificaron autores relevantes y se procedió a hacer una búsqueda, encontrando acceso en buscadores especializados. Además, se realizó para obtener un conocimiento preciso sobre las características de *Batavia Lettuce* las ventajas y desventajas en cultivo hidropónico con sistema raíz flotante y la composición adecuada de las soluciones nutritivas. Aunque el proyecto no tuvo el éxito esperado debido a problemas de crecimiento de las lechugas, esta información fue fundamental para entender los desafíos enfrentados y proporcionar un marco de referencia sólido para futuras evaluaciones de la solución nutritiva orgánica (ORNUSO) en comparación con la solución convencional del mercado. Los resultados son presentados a continuación:

- a. *¿Cuáles son las características específicas y los requisitos de crecimiento de la lechuga Batavia que la hacen adecuada o no para el cultivo hidropónico?*

Batavia Lettuce es conocida por sus hojas rizadas y semicrujientes, con un sabor ligeramente ácido y fresco. Requiere un entorno controlado con temperaturas óptimas entre 15°C y 20°C, una buena iluminación, y un suministro constante de nutrientes. Por estas razones, es ideal para el cultivo hidropónico, donde se pueden controlar estos factores de manera precisa, Angulo (s.f.)

Sin embargo, la susceptibilidad a las variaciones de temperatura y la necesidad de mantener un equilibrio adecuado en el tiempo representaron retos que en su momento causaron estrés climático en las plantas siendo este el factor clave que pudieron influir en que los resultados no

hayan sido los esperados, también resaltando que este año el mundo y la costa han recibido las mayores olas de calor registradas de todos los tiempos.

¿Qué ventajas presenta el cultivo hidropónico de Batavia Lettuce en comparación con el cultivo tradicional en suelo?

Los cultivos hidropónicos ofrecen muchas ventajas sobre los cultivos tradicionales en suelo, incluida una vida útil más larga de los alimentos, menos contaminación ambiental eliminando el uso de fertilizantes químicos y requiriendo una previa preparación del suelo, lo que previene la aparición de malezas, plagas, hongos, insectos, pesticidas, entre otros. Además, estos cultivos son controlados constantemente lo que hace que proporcionen un ambiente de crecimiento más limpios evitando así cualquier inconveniente que pueda afectar el crecimiento y desarrollo de estos. Las plantas hidropónicas tienen raíces más pequeñas que les permiten concentrar su energía para producir más ramas, flores o frutos. Finalmente, sin el estrés de factores como la sequía, mantener niveles óptimos de humedad y nutrientes en hidroponía dará como resultado plantas más sanas, un crecimiento más rápido y una mayor resistencia a las enfermedades, Escuderos (2017).

Al realizar pruebas de laboratorios en la solución nutritiva ORNUSO encontramos que la cantidad de residuos sólidos en estas fueron significativos en estas, es decir que entre más cantidad de cascaras o desechos que se encontraran de alguno de estos su cantidad de nutrientes en la solución se ve bastante representado, obteniendo este resultado podemos observar que si se tiene una selección de residuos o cascaras podríamos obtener una solución que beneficie ampliamente el cultivo hidropónico al cual será aplicado, se debe tener en cuenta que entre más frescos estén los residuos estos pueden brindar una mejor calidad de nutrientes no solo a la solución hidropónica, sino también en el abono orgánico que se obtiene después del proceso de composta.

Los resultados del laboratorio se verán a continuación, los resultados de los sulfuros no se pudieron realizar debido a que el parámetro del laboratorio para su evaluación no aseguraba un resultado claro y preciso de este, así que el laboratorio decidió pasar un informe comunicando que este se ejecutaría.

Resultados de laboratorios:

Figura 10. Resultado de laboratorio a Lombricomposta – Solución Nutritiva ORNUSO.



Laboratorio Ambiental y de Alimentos
Nancy Flórez García
 Confiabilidad a toda prueba

COD: RO-104 Ver:14 del 08 de Marzo de 2024

INFORME DE ENSAYOS
 N° 102699

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA : ROSMERYS BAQUERO VILLAREAL
 DIRECCIÓN : CALLE 3 # 11-56
 CONTACTO : ROSMERYS BAQUERO VILLAREAL
 CARGO : ESTUDIANTE

NIT : 1003392696
 CIUDAD : LA PAZ
 TELÉFONO : 3114064460

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

NOMBRE : LIXIVIADOS
 LUGAR DE MUESTREO : VALLEDUPAR
 PUNTO DE MUESTREO : LOMBRICOMPOSTA
 TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
 PLAN DE MUESTREO : N.S
 PROC DE MUESTREO : N.S

CÓDIGO : 2405134144
 LOTE : N.A
 REGISTRO INVIMA : N.A

HORA MUESTRA : 17:00
 MUESTREO : 2024/05/05
 RECEPCIÓN : 2024/05/06
 INICIO ENSAYOS : 2024/05/09
 FINAL ENSAYOS : 2024/05/23
 INFORME : 2024/05/23

Fisicoquímico					
ANÁLISIS	MÉTODO - TÉCNICA	LCM	FECHA ANÁLISIS	RESULTADO	INCERTIDUMBRE DEL ENSAYO
Calcio mg Ca/L	SM 3030 K / SM 3111 D - Espectrométrico	0,5000	2024/05/21	71,9414	21,4
Fósforo Total mg P/L	SM 4500-P B,E - Fotométrico	0,075	2024/05/09	20,6	0,064
Magnesio mg Mg/L	SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrico	0,1000	2024/05/23	18,3810	0,59
Nitrógeno Total Kjeldahl mg N/L	SM 4500-Norg C / SM 4500-NH3 B,C - Volumétrico	1,00	2024/05/14	152	0,137
Potasio mg K/L	SM 3030 K / SM 3500-K B - Espectrométrico	1,0000	2024/05/22	1459,9470	243

NOTA :
 La muestra a la que se refieren los resultados que figuran en este informe de ensayos, excepto la fecha de recepción, fecha de inicio de ensayo, fecha final de ensayos y fecha de informe han sido proporcionados por el cliente o un tercero de conformidad con las directrices del cliente. En consecuencia, los datos que figuran en el informe no constituyen una garantía de la representatividad de la muestra y por tanto se refieren única y exclusivamente a dicha muestra. El Laboratorio no es responsable del origen o la fuente de dónde ha sido extraída la muestra.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parametro no requerido por la especificación (SNA) Subcontratado No Acreditado NC: NO cuantificable
 (A): Acreditado (S): Subcontratado (LCM): Limite de cuantificación del método DNPSC: crecimiento demasiado numeroso para ser contado.

Nota. Laboratorio Nancy Flórez García (2024)

Figura 11. Resultado de laboratorio de sulfuros a Lombricomposta – Solución Nutritiva ORNUSO

Cordial saludo

En el Laboratorio Ambiental y de Alimentos Nancy Flórez García, consideramos de suma importancia mantener a nuestros clientes debidamente informados sobre cualquier novedad relacionada con las muestras recibidas en nuestras instalaciones.

Es por ello, que lamentamos comunicar que no es factible realizar la determinación del parámetro de sulfuros en la muestra identificada con el código interno **2405134144**, correspondiente al cliente **ROSMERY BANQUERO VILLAREAL**, utilizando la metodología SM 4500-S2-B, C, F. Esta decisión se fundamenta en la presencia de una carga orgánica significativa y características físicas particulares en la muestra, tal como se evidencia en la imagen adjunta. En virtud de lo anterior, consideramos que la aplicación de nuestra metodología acreditada no garantizaría la obtención de resultados precisos y fidedignos.



Considerando que no fue posible llevar a cabo el análisis del parámetro mencionado anteriormente, nos complace informar que procederemos a realizar la devolución del costo correspondiente a dicho análisis. Para coordinar este proceso, nuestro equipo de mercadeo y ventas se pondrá en contacto con usted en los próximos días.

Nota. Laboratorio Nancy Flórez García (2024)

Por otra parte, se debe tener en cuenta que un monitoreo riguroso y un control preciso de las condiciones, como la luz, la temperatura, la humedad, y el oxígeno, son cruciales para el éxito de los cultivos hidropónicos. En este proyecto, no se logró mantener un control adecuado sobre la temperatura, dicha estuvo elevada durante el período de cultivo. Esta falta de control pudo haber afectado significativamente el desarrollo de las lechugas, lo que subraya la importancia de gestionar cuidadosamente todos los factores ambientales para optimizar el crecimiento y la salud de los cultivos hidropónicos, deduciendo así que no se pueda realizar cultivos hidropónicos en fincas, hogares, instituciones o cualquier lugar que pueda tener un control total sobre el aspecto climatológico, limitando así las zonas donde se podría tener un cultivo hidropónico, porque si se construye invernadero hidropónico en lugares trópicos este deberá ser encerrado y consumiría una

alta demanda de energía al tener que instalarles aires que puedan mantener la humedad y temperatura adecuada.

6.1.2. Toma de muestras.

En un inicio, se había planificado realizar la toma de muestras de residuos sólidos orgánicos en el comedor de la Universidad Popular del Cesar, siguiendo un protocolo riguroso para garantizar la representatividad y la calidad de las muestras. Los pasos planificados fueron los siguientes:

1. Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de la cocina.
2. Selección del intervalo de muestreo.
3. Muestreo aleatorio representativo.
4. Volumen y frecuencia de muestras.
5. Registro de datos.
6. Almacenamiento y transporte de las muestras.

A pesar de la planificación detallada en la implementación en el comedor de la Universidad Popular del Cesar, se enfrentaron varios desafíos debido a problemas logísticos en la recolección y manejo de los residuos, la contaminación en las muestras no permitía el uso de los residuos ya que a menudo se contaminaban con restos de comida no orgánica, lo que comprometía la pureza e utilidad de estas en el uso para el proyecto.

Debido a estos problemas, se decidió cambiar la fuente de las muestras a una ubicación más controlada que sería una vivienda ubicada en la zona sur de la ciudad de Valledupar, en la cual se pudieron seguir los pasos planificados de manera más efectiva, teniendo como resultado una muestra significativamente más pura que las obtenida en la universidad, sin contaminación con restos de comida no orgánica. Estas proporcionaron un material adecuado para la producción de la solución nutritiva orgánica (ORNUSO), teniendo en cuenta que la cantidad de residuos orgánicos recolectados fueron suficientes para las necesidades del proyecto, y la calidad de las muestras permitió una caracterización y cuantificación precisas de los residuos sólidos orgánicos, que en un principio fueron recolectados 1Kg.

Figura 12. Muestras de residuos orgánicos



Nota. autor, (2024).

6.1.3. Separación y clasificación para llevar a cabo método de cuarteo.

Se enfrentaron dificultades debido a la limitada cantidad de residuos disponibles, que solo alcanzó 1 kg. En lugar de seguir el protocolo inicial de separar y clasificar los residuos en categorías específicas, se optó por mezclar todos los residuos de inmediato para manejar eficientemente el pequeño volumen disponible. Aunque se realizó el cuarteo a partir de esta mezcla homogénea, la falta de separación previa resultó en una muestra general que no detalló las categorías específicas de los residuos. Esta adaptación permitió utilizar todo el material recolectado, pero limitó la capacidad para analizar la composición detallada de los residuos.

6.2. ANALIZAR LA EFICIENCIA DE LA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA ORGÁNICA (ORNUSO) VERSUS SOLUCIONES CONVENCIONALES DEL MERCADO EN CULTIVO DE RAÍZ FLOTANTE DE LA ESPECIE BATAVIA LETTUCE.

6.2.1. Germinación de las semillas para el cultivo hidropónico

Para la germinación de las semillas se tuvo mucho cuidado y una selección previa de semillas luego de varias búsquedas para una semilla con crecimiento efectivo, en este montaje se utiliza agua de río (libre de cloro) para evitar que el cloro pueda perjudicar el crecimiento de la semilla:

Figura 13. Agua de río (libre de cloro)



Fuente: autor, (2024).

En la imagen 14 se aprecia las semillas que fueron utilizadas para realizar el montaje de hidroponía, fueron las únicas semillas que tuvieron un crecimiento.

Figura 14. Semillas de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

Estas semillas también fueron puestas a prueba en la muestra de crecimiento de las semillas, aunque no tuvieron los resultados esperados en su germinación.

Figura 15. Semilla de lechuga Simpon



Fuente: autor, (2024).

Figura 16. Semilla de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2014).

Siembra de semillas:

En el experimento de siembra se emplearon dos métodos distintos de germinación para comparar su efectividad el primer método consistió en cubrir las semillas con una capa de aserrín, mientras que en el segundo método las semillas se dejaron sin esta cobertura. El propósito de utilizar aserrín fue retener la humedad en el sustrato, creando un ambiente más estable para el desarrollo inicial de las plantas esta capa de aserrín actuaba como una barrera que ralentizaba la evaporación del agua manteniendo así una humedad constante alrededor de las semillas lo que es crucial durante la fase de germinación. Por otro lado, el método sin aserrín permitía observar cómo las semillas germinaban en condiciones más expuestas, lo que podría reflejar un entorno menos controlado en términos de humedad. Comparar estos dos métodos permite evaluar el impacto de la retención de humedad sobre la tasa de germinación y el crecimiento inicial de las plantas, proporcionando datos valiosos para determinar las mejores prácticas en la siembra y el manejo de cultivos. En las siguientes imágenes se puede apreciar el inicio de estas germinaciones:

Figura 17. Geminación de semillas con aserrín



Fuente: autor, (2024).

Figura 18. Geminación de semillas con aserrín



Fuente: autor, (2024).

Figura 19. Germinación de semillas de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

1-2 semanas de germinación

En estas semanas podemos apreciar que el método del aserrín fue más rápido para la germinación de las semillas en las imágenes que se muestran a continuación se aprecia el crecimiento de las semillas entre una y dos semanas de germinación de ambas muestras:

Figura 20. Semillas de lechuga Batavia en germinación



Fuente: autor, (2024)

Figura 21. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia.



Fuente: autor, (2024).

Figura 22. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

En la imagen 22 se aprecia el crecimiento de las semillas de lechuga Batavia Simpson, en el método de la germinación sin aserrín estas fueron las únicas semillas que pudieron germinar.

Figura 23. Germinación sin aserrín de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

3-4 semanas de germinación.

Debemos tener en cuenta que germinar semillas en aserrín ofrece varias ventajas clave que contribuyen a un mejor crecimiento de las plantas, primero el aserrín actúa como una barrera protectora que retiene la humedad en el sustrato lo que es crucial para las semillas en sus primeras etapas de desarrollo esta retención de humedad asegura que las semillas se mantengan en un ambiente consistentemente húmedo lo cual es esencial para activar los procesos biológicos necesarios para la germinación. Además, el aserrín ayuda a mantener una temperatura más constante alrededor de las semillas, protegiéndolas de cambios bruscos que podrían afectar negativamente su desarrollo, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se concluye que al ser las semillas de lechuga ser sumamente frágiles a las altas temperaturas estuvieron beneficiadas en este método de germinación teniendo unos resultados acertados a comparación con las otras semillas germinadas sin aserrín muriendo estas a los días.

A continuación, se muestran unas imágenes sobre el crecimiento de las semillas:

Figura 24. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

Figura 25. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

Figura 26. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

Semana 5

En la semana 5 se evidencia como las altas temperaturas afectaron gravemente a las semillas perdiendo gran cantidad de las semillas germinadas:

Figura 27. Germinación de semillas con aserrín de lechuga Batavia



Fuente: autor, (2024).

6.2.2. Construcción del cultivo hidropónico por sistema de raíz flotante.

La construcción del sistema de raíz flotante, que incluyó cuatro cultivos con dimensiones de 22 cm de largo, 15.4 cm de ancho y 11 cm de alto, y con una altura del agua hasta los 7.9 cm, el recipiente con estas medidas fue escogido estratégicamente para asegurar el crecimiento óptimo de las raíces además de la instalación de una bomba de agua con su respectiva manguera de

circulación para ayudar con el desarrollo de las plantas, cada montaje tenía una cantidad de 22 litros de agua y se le añadió las soluciones nutritivas de la siguiente manera:

Tabla 3. Cantidad aplicada de solución por litro de agua

Solución nutritiva	Cantidad de solución	
ORNUSO	A	1.5ml por cada litro de agua.
	B	2ml por cada litro de agua
	C	2.5ml por cada litro de agua.
Solución de mercado (Hidro - inver)	2ml por cada litro de agua.	

Fuente: autor, (2024).

La composición de cada uno de las soluciones nutritivas eran las siguientes:

Tabla 4. Composición de las soluciones nutritivas

Solución nutritiva	Nutrientes (PPM)
ORNUSO	<ul style="list-style-type: none"> • Calcio 71,94 • Fosforo 20,6 • Magnesio 18,38 • Nitrógeno 152 • Potasio 145,94
HIDRO-INVER	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrógeno 200 • Fosforo 50 • Potasio 210
	<ul style="list-style-type: none"> • Magnesio 45 • Azufre 65

	<ul style="list-style-type: none"> • Hierro 4 • Cobre 0,1 • Zinc 0,1 • Manganeso 0,5 • Boro 0,5 • Molibdeno 0,05
	<ul style="list-style-type: none"> • Calcio 190

Fuente: autor, (2024).

Montaje:

Para el montaje se inició seleccionando el recipiente donde estarían los nutrientes de las muestras, se escoge un recipiente con una buena profundidad pensando en el crecimiento de las raíces así con esto si estas crecían eficazmente no se verían limitadas por el tamaño del recipiente.

Figura 28. Tanque de montaje



Fuente: autor, (2024).

En la imagen 28 se aprecia cómo fue cubierto el recipiente con una bolsa de basura con el fin de aislar el recipiente en la parte de adentro previniendo así el ingreso de luz solar que pudiese afectar la composición y estructura de los nutrientes agregados en el agua.

Figura 29. Recipiente con solución nutritiva ORNUSO



Fuente: autor, (2024).

Para el montaje del sistema de hidroponía se adquirieron máquinas de oxigenación de alto rendimiento capaces de oxigenar hasta 35 litros de agua por cada una de sus salidas. Estas máquinas fueron seleccionadas por su capacidad para mantener el agua en movimiento constante lo que es crucial para asegurar un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas gracias a su diseño eficiente, estas máquinas operaban diariamente sin sobrecalentarse lo que garantiza un suministro continuo de oxígeno a la solución hidropónica. Cada máquina de oxigenación estaba conectada a dos sistemas de hidroponía a través de mangueras instaladas en cada una de sus salidas asegurando así una distribución uniforme del oxígeno.

Además, para proteger la solución hidropónica de factores externos que pudieran alterar su composición, como la entrada de luz, insectos, agua u otros contaminantes, se colocaron láminas de icopor sobre los montajes. Estas láminas actúan como barreras físicas impidiendo que

elementos externos interfieran con la solución nutritiva, la protección del agua y los nutrientes es esencial para mantener la estabilidad del sistema y garantizar que las plantas reciban los elementos necesarios en las proporciones correctas cualquier alteración en la solución nutritiva podría comprometer el crecimiento y la salud de las plantas, por lo que se tomaron todas las medidas necesarias para evitar que factores externos afectaran el sistema hidropónico.

Figura 30. Montaje con mangueras y máquina de oxigenación



Fuente: autor, (2024).

Figura 31. Montaje con mangueras y máquina de oxigenación



Fuente: autor, (2024).

6.2.3. Producción de la solución hidropónica ORNUSO.

Se utilizaron 1 kg de residuos orgánicos y 1 kg de lombrices californianas, lo que representa una proporción relativamente baja de material para una lombricompostura. La cantidad de lombrices podría haber sido insuficiente para procesar de manera eficiente el volumen de residuos, limitando la cantidad y calidad de la solución nutritiva producida, el cual se vió reflejado en los laboratorios realizados a este.

Se debe tener en cuenta que se obtuvo un poco más de 1 litro de solución nutritiva en mes y medio. Este volumen puede haber sido limitado por la cantidad inicial de residuos y lombrices, así como por la eficiencia del proceso de lombricompostura. Un volumen más grande y con una selección de residuos podría haber sido necesario para satisfacer las demandas nutricionales del cultivo hidropónico.

Figura 32. Lombricompostura para obtención de solución nutritiva ORNUSO



Fuente: autor, (2024).

Figura 33. Resultado de la Lombricompostura - solución nutritiva ORNUSO



Fuente: autor, (2024).

6.2.4. Asignación de grupo, registro y seguimiento de variables.

Esta actividad abarcó la división de las lechugas Batavia en dos grupos, la monitorización de su crecimiento y calidad, y la evaluación del consumo de recursos. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos por establecer un entorno controlado y preparar adecuadamente las soluciones nutritivas, el proyecto siguió enfrentándose a contratiempos. La falta de crecimiento satisfactorio en ambos grupos, junto con problemas en la construcción del sistema de cultivo y la producción de la solución ORNUSO, señala que factores adicionales como las condiciones ambientales elevadas, el diseño del sistema y la eficiencia de la producción nutritiva jugaron un papel crucial en el resultado final.

Es importante señalar que, la falta de crecimiento adecuado sugiere que el diseño del sistema pudo haber sido inadecuado. La circulación del agua y la oxigenación, esenciales para el desarrollo óptimo de las raíces, podrían haber sido deficientes, afectando el rendimiento general del sistema.

Además, durante el periodo del proyecto, las temperaturas en la ciudad estaban elevadas, lo cual pudo haber tenido un impacto negativo en el crecimiento de las plantas. Las altas temperaturas pueden aumentar el estrés térmico y afectar la absorción de nutrientes, mientras que el control deficiente de la humedad también puede contribuir a problemas adicionales como el deshidratamiento o el crecimiento de patógenos.

Las altas temperaturas pueden tener efectos adversos en el crecimiento de las plantas en sistemas hidropónicos, incluyendo el retraso en su desarrollo y la muerte. Cuando las temperaturas exceden el rango óptimo para las plantas (generalmente entre 18°C y 24°C), pueden causar estrés térmico que afecta su fisiología y bioquímica. Esto puede resultar en un menor crecimiento y productividad, y en casos extremos, la muerte de las plantas debido al daño celular y la interrupción de procesos clave como la fotosíntesis y la absorción de nutrientes Bitá, C. E., & Gerats, T. (2024).

Tabla 5. Crecimiento de las plantas en hidroponía

Numero de muestra		Crecimiento de la muestra (cm)		
		Semana 0	Semana 1	Semana 2
1 ORNUSO	A	3.5	4	-
	B	4	5	-
	C	3.7	3.9	-
	D	4.2	4.2	4.3
2 ORNUSO	A	5	-	-
	B	3.5	-	-
	C	2.7	-	-
	D	3.8	4	-
3 ORNUSO	A	6	3	-
	B	2.5	-	-
	C	4	4.2	-
	D	3.3	3.7	-

4	A	1.7	3	-
	B	4	4.3	-
	C	2.3	-	-
	D	2.4	-	-

Fuente: autor, (2024).

Tabla 6. pH del agua con las soluciones nutritivas

Numero de muestra	PH		
	Semana 0	Semana 1	Semana 2
1	7	7	7
2	7	7	-
3	7	7	-
4	7	7	-

Fuente: autor, (2024).

Tabla 7. Temperatura del agua en cada tanque con solución nutritiva

Numero de muestra	Temperatura (C°)		
	Semana 0	Semana 1	Semana 2
1 ORNUSO	17°	18°	17°
2 ORNUSO	17°	18°	-
3 ORNUSO	17°	17°	-
4	17°	18°	-

Fuente: autor, (2024).

Tabla 8. pH de ORNUSO y Turbidez

PH de ORNUSO	Turbidez de ORNUSO
9.3	830

Fuente: autor, (2024).

Semana 0:

En la semana 0, se realizó una selección cuidadosa de las plantas más saludables y vigorosas que aún estaban vivas. Estas plantas fueron elegidas por sus características prometedoras, como un desarrollo adecuado de sus raíces y una apariencia general robusta lo que indicaba su potencial para prosperar en el sistema hidropónico. Una vez seleccionadas las plantas fueron colocadas en el montaje hidropónico donde se aseguraron de mantener una separación estratégica entre ellas, esta disposición fue cuidadosamente planificada para garantizar que cada planta tuviera el espacio necesario no solo para el crecimiento de su parte aérea sino también para el desarrollo expansivo y saludable de sus raíces.

Cada planta fue colocada dentro de una esponja especialmente diseñada para sostenerla de manera segura. Estas esponjas no solo proporcionaban un soporte físico, sino que también ayudaban a retener la humedad y los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Las esponjas, a su vez eran sostenidas por pequeños vasos perforados, los cuales jugaban un papel crucial en el sistema los vasos tenían múltiples hoyos que permitían el libre ingreso del agua nutritiva, asegurando que las raíces de las plantas pudieran absorber los nutrientes de manera eficiente. Además, los agujeros en la parte inferior de los vasos permitían que una porción significativa de las esponjas quedara sumergida en la solución nutritiva.

Esta inmersión parcial de las esponjas en el agua garantizaba que las raíces estuvieran en contacto constante con la solución nutritiva proporcionando a las plantas el acceso continuo a los nutrientes esenciales para su desarrollo, este contacto constante es fundamental en un sistema hidropónico ya que reemplaza la función del suelo al proporcionar un ambiente controlado en el que las plantas pueden absorber agua y nutrientes de manera óptima. El diseño del sistema con sus separaciones estratégicas y el uso de esponjas y vasos perforados, estaba orientado a maximizar el crecimiento y la salud de las plantas, asegurando que cada una tuviera las mejores condiciones posibles para prosperar.

Figura 34. Montaje de hidroponía 1



Fuente: autor, (2024).

Figura 35. Montaje de hidroponía 2



Fuente: autor, (2024).

Figura 36. Montaje de hidroponía 3



Fuente: autor, (2024).

Figura 37. Montaje de hidroponía 4



Fuente: autor, (2024).

Semana 1:

En la primera semana todas las plantas tuvieron una buena adaptación y con esto la mayoría de ellas creció unos centímetros desde sus trasplantes, cada una de las plantas se veía con las hojas muy bonitas y vivas como se evidencia en las siguientes imágenes:

Figura 38. Montaje de hidroponía 1



Fuente: autor, (2024).

Figura 39. Montaje de hidroponía 2



Fuente: autor, (2024).

Figura 40. Montaje de hidroponía 3



Fuente: autor, (2024).

Figura 41. Montaje de hidroponía 4



Fuente: autor, (2024).

Semana 2

En la semana 2, el cultivo enfrentó un desafío severo debido a una inesperada ola de calor extremo. Esta subida repentina de la temperatura generó un estrés térmico significativo en las plantas, afectando su capacidad para mantener los procesos vitales como la fotosíntesis y la absorción de agua y nutrientes, a medida que la ola de calor persistía las plantas comenzaron a mostrar signos de marchitamiento a pesar de los esfuerzos por mantener el sistema hidropónico funcionando y proveerles la mayor cantidad de nutrientes posible la mayoría de las plantas sucumbieron a las condiciones adversas.

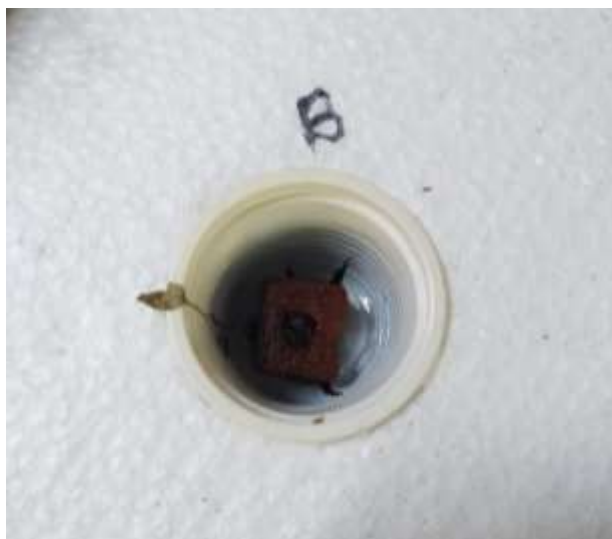
Al final de esta ola de calor se constató que solo una planta había logrado sobrevivir esta planta mostraba una notable resistencia en comparación con las demás lo que podría deberse a una combinación de factores genéticos y de posicionamiento en el sistema que le permitieron soportar mejor el estrés térmico. Por otro lado, las demás plantas no lograron sobrevivir y quedaron completamente secas, incapaces de recuperarse del daño causado por las altas temperaturas. La pérdida de casi todo el cultivo resaltó la vulnerabilidad del sistema frente a condiciones climáticas extremas, subrayando la importancia de implementar medidas adicionales para controlar la temperatura y la humedad en el futuro.

Figura 42. Planta viva



Fuente: autor, (2024).

Figura 43. Planta muerta seca



Fuente: autor, (2024).

Figura 44. Planta muerta seca



Fuente: autor, (2024).

Semana 3

A pesar de que la planta sobreviviente demostró una notable resistencia durante la ola de calor en la semana 2, la semana 3 trajo consigo una batalla aún más difícil, aunque la planta luchó por permanecer viva los efectos residuales del estrés térmico y la falta de humedad continuaron afectando el sistema hidropónico, los esfuerzos realizados para mantener el sistema hidropónico y proporcionar un ambiente óptimo no fueron suficientes para revertir el daño acumulado.

Durante la semana 3, la planta comenzó a mostrar signos evidentes de debilitamiento. Sus hojas, que antes habían mostrado cierta vitalidad no pudo resistir los factores, algo a tener en cuenta es que estas plantas se marchitaban demasiado rápido al ser estas tan delgadas y sensibles facilitaba que se secaran en menos de 6 horas, Finalmente hacia el final de la semana 3 las condiciones extremas resultaron ser demasiado difíciles de superar y controlar señalando así la importancia de estar preparados para condiciones climáticas adversas y la necesidad de contar con sistemas más robustos para proteger las plantas en situaciones extremas en los sistemas hidropónicos eliminando así la idealización de tener cultivos hidropónicos en la costa colombiana sin tener un invernadero con control total a la temperatura climática

Figura 45. Planta muerta seca



Fuente: autor, (2024).

Para diseñar un **Experimento de Bloques Completamente al Azar (BCA)** utilizando los datos proporcionados, se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1: Definir el objetivo

El objetivo del experimento es estudiar el crecimiento de muestras vegetales en diferentes semanas y comparar los tratamientos (A, B, C y D) sobre el crecimiento de las plantas en los tratamientos encontraremos que en **ORNUSO A** se aplicó 1.5ml por cada litro de agua, **ORNUSO B** se aplicó 2 ml por cada litro de agua, **ORNUSO C** se aplicó 2.5ml por cada litro de agua y por último en **D** que es la solución nutritiva de mercado se aplicó 2ml por cada litro de agua.

Paso 2: Definir los factores

Tratamiento (Factor): Se trata de cuatro tratamientos (ORNUSO A, ORNUSO B, ORNUSO C, D), que son las variables independientes del experimento de cada montaje donde se evaluó el crecimiento de cada uno de estos.

Bloques: Los bloques se definieron por el número de muestra (1, 2, 3 y 4), ya que se quiere controlar la variabilidad entre las distintas muestras.

Paso 3: Definir la variable dependiente

La variable dependiente es el **crecimiento de la muestra en centímetros (cm)**, medido en tres puntos temporales: Semana 0, Semana 1 y Semana 2.

Paso 4: Organizar los datos

Los datos del crecimiento de las muestras según el tratamiento y las semanas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Datos de crecimiento de las plantas en hidroponía para el diseño experimental.

Numero de muestra. (bloques)	Crecimiento de la muestra (cm) (Tratamientos)		
	Semana 0	Semana 1	Semana 2

1 ORNUSO	A	3.5	4	-
	B	4	5	-
	C	3.7	3.9	-
	D	4.2	4.2	4.3
2 ORNUSO	A	5	-	-
	B	3.5	-	-
	C	2.7	-	-
	D	3.8	4	-
3 ORNUSO	A	6	3	-
	B	2.5	-	-
	C	4	4.2	-
	D	3.3	3.7	-
4	A	1.7	3	-
	B	4	4.3	-
	C	2.3	-	-
	D	2.4	-	-

Fuente: autor, (2024).

Paso 6: Análisis Estadístico

Bloqueo: Al tratar cada muestra como un bloque, se controla la variabilidad entre los bloques (ORNUSO) y se observa únicamente la variabilidad dentro de los bloques que se debe a los tratamientos.

Análisis de Varianza (ANOVA): para el diseño experimental de bloques completamente al azar muestra los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultados del diseño experimental.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	Valor p (PR > F)
Tratamiento	3.225	3	1.054	0.0415
Bloque	3.920	3	1.282	0.0338
Residual	9.175	9		

Fuente: autor (2024).

Los grados de libertad en un análisis de varianza (ANOVA) se calcularon con base en el número de niveles de los factores y el número total de observaciones. A continuación, explico cómo se obtuvieron los grados de libertad para cada fuente de variación en la tabla ANOVA.

Grados de libertad para el Tratamiento (df del Tratamiento):

Se tienen 4 tratamientos (A, B, C, D). Los grados de libertad se calculan como:

$$df \text{ Tratamiento} = \text{Numero de niveles de tratamiento} - 1 = 4 - 1 = 3$$

Grados de libertad para el Bloque (df del Bloque):

Se tienen 4 bloques (ORNUSO 1, ORNUSO 2, ORNUSO 3, 4). Los grados de libertad para los bloques se calculan como:

$$df \text{ Bloque} = \text{Numero de niveles de bloque} - 1 = 4 - 1 = 3$$

Grados de libertad del Residual (df del Residual):

Los grados de libertad residuales se calculan como:
 $df \text{ Residual} = \text{Numero total de observaciones} - (df \text{ Tratamiento} + df \text{ Bloque} + 1)$ Hay 16 observaciones en total (4 tratamientos por 4 bloques). Entonces:

$$df \text{ Residual} = 16 - (3 + 3 + 1) = 9$$

El valor de **F** en una tabla ANOVA se calcula para comparar la varianza entre grupos (tratamientos o bloques) con la varianza dentro de los grupos (error o residual). Se utiliza la siguiente fórmula para cada fuente de variación:

$$F = \frac{MS_{fuente}}{MS_{residual}} = \frac{MS_{residual}}{MS_{fuente}}$$

Donde:

MS es el **Cuadrado Medio** que se obtiene dividiendo la **Suma de Cuadrados** entre los **Grados de Libertad** (df) correspondientes.

$$MS_{fuente} = \frac{\text{Suma de Cuadrados de la fuente}}{df \text{ de la fuente}} = 1.054$$

$$MS_{residual} = \frac{\text{Suma de Cuadrados Residual}}{df \text{ Residual}} = 1.282$$

El valor **p** en una prueba ANOVA se calculó utilizando el valor **F** y los grados de libertad del tratamiento (o bloque) y del residual. El valor **p** indica la probabilidad de observar un valor de **F** tan extremo o más extremo, asumiendo que la hipótesis nula es verdadera. Para este en la calculadora utilizaremos la tecla de Python y se hallara el resultado para proceder a buscar en la tabla de Fisher restándola con 1.

$$tratamiento = 1 - 0.415 = 0.0415$$

$$Bloque = 1 - 0.338 = 0.338$$

En este caso, los valores obtenidos fueron inferiores a 0.05, lo que indica que no se alcanzó un nivel de diferencia lo suficientemente significativo entre los tratamientos o bloques como para ser considerado estadísticamente relevante este hecho impide que los resultados sean analizados con profundidad en la tabla de análisis ya que las variaciones observadas no presentan una diferencia considerable entre los grupos es decir, aunque se registraron ciertos cambios en las variables medidas estas diferencias no son lo suficientemente grandes como para atribuir las a los tratamientos aplicados sino más bien a la variabilidad natural o al azar. Este resultado sugiere que dentro de las condiciones establecidas en el diseño experimental las variaciones observadas fueron

mínimas entre los diferentes grupos, lo que limita la capacidad de extraer conclusiones sólidas o significativas.

El valor **p** es la probabilidad de obtener un resultado tan extremo como el observado, bajo la suposición de que la hipótesis nula es verdadera. Si **p > 0.05**, no se tiene suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, lo que sugiere que las diferencias entre grupos no son significativas. Sin embargo, si **p < 0.05**, se tiene suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, lo que indica que **existen diferencias significativas** entre los grupos (Cohen, 2013).

Cuando el valor **p** es menor que 0.05, **se rechaza la hipótesis nula**, lo que significa que las diferencias entre las medias de los grupos son estadísticamente significativas y no se deben solo al azar. Este valor indica que es muy improbable que las diferencias observadas se deban únicamente a la variabilidad aleatoria, por lo que es razonable concluir que los tratamientos tienen un efecto real sobre las variables estudiadas (Field, 2018).

Al obtener los resultados anteriores se decide realizar una prueba con solo las semillas para evaluar si las soluciones nutritivas pueden impedir el crecimiento de estas, estos se llevaron en dos diferentes recipientes Petri de la siguiente manera:

En cada recipiente se agregó una cantidad de solución hidropónica en las servilletas tratando así de mantener cada una de las semillas frescas y con una humedad controlada.

Figura 46. Recipiente de Petri con solución nutritiva ORNUSO



Fuente: autor, (2024).

Figura 47. Recipiente de Petri con solución nutritiva de mercado – HIDROINVER



Fuente: autor, (2024).

Luego de esto se mantenía el control diario de la humedad de cada una, cada una de las semillas se ponía a sol indirecto de 8-10 am, y se dejaba el resto del tiempo en la nevera para que las altas temperaturas no dañaran las semillas, luego de semana y media se pudo ver resultados en una de las semillas que estaba germinando.

Figura 48. Recipiente de petri con solución nutritiva ORNUSO a las 2 semanas de germinación.



Fuente: autor, (2024).

Figura 49. Recipiente de petri con solución nutritiva de mercado a las 2 semanas de germinación.



Fuente: autor, (2024).

Luego de otras semanas más la semilla con solución nutritiva ORNUSO siguió creciendo y las semillas de la otra muestra no crecieron, demostrando así que la solución nutritiva ORNUSO tiene una buena calidad de sulfuros o sales, sabiendo que los anteriormente mencionados podrían ser uno de los causantes en la muerte de las plantas.

Figura 50. Recipiente de Petri con solución nutritiva ORNUSO a las 3 semanas de germinación



Fuente: autor, (2024).

Ahora bien, al evaluar el rendimiento de soluciones nutritivas en el cultivo hidropónico de lechuga Batavia bajo un sistema de raíz flotante, resultó fundamental considerar estudios previos que aportaran una perspectiva comparativa y metodológica al análisis. Un ejemplo relevante es el proyecto de Cerrufo Manuel (2022), el cual, a través de un enfoque sistemático y controlado, exploró la eficacia de diferentes soluciones nutritivas en condiciones específicas. Comparar este antecedente con el desarrollo y los resultados obtenidos en el proyecto permitieron identificar las fortalezas así como las áreas de mejora, ofreciendo un marco de referencia valioso para futuras investigaciones en el ámbito de la hidroponía.

A diferencia del proyecto de Cerrufo, que se realizó en un ambiente controlado como un invernadero, el proyecto en cuestión no contó con un control riguroso de las condiciones ambientales, lo cual fue un factor determinante en el crecimiento limitado de las plantas. Aunque se utilizó la solución nutritiva orgánica (ORNUSO), los resultados del proyecto fueron limitados debido a varios factores, incluyendo la calidad del proceso de recolección de residuos, la construcción del sistema de raíz flotante, y la falta de control adecuado de variables ambientales como la temperatura y la humedad, las cuales fueron afectadas por el clima cálido de la región durante el período de ejecución.

Además, mientras que Cerrufo Manuel pudo completar un diseño experimental sólido y analizar de manera efectiva las curvas de crecimiento, en el presente proyecto no se logró establecer un diseño experimental comparable debido a la falta de crecimiento de las plantas. Aunque se realizaron pruebas de laboratorio que mostraron que la solución ORNUSO tenía un pH adecuado, el resto de las condiciones no fueron las óptimas, lo que resultó en un crecimiento nulo de las plantas.

Una solución nutritiva natural para cultivos hidropónicos tiene varias ventajas y desventajas que deben considerarse al implementarla.

Ventajas

1. **Sostenibilidad Ambiental:** Las soluciones nutritivas naturales suelen estar hechas de materiales orgánicos o reciclados lo que reduce la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos y por lo tanto, minimiza el impacto ambiental.
2. **Mejora la Salud del Suelo y Microbioma:** En sistemas de cultivo combinados (como la hidroponía y la acuaponía) los nutrientes naturales pueden fomentar un entorno microbiológico saludable mejorando la salud general de las plantas.
3. **Menor Riesgo de Contaminación Química:** Al utilizar nutrientes naturales se evita la acumulación de sales y otros químicos potencialmente dañinos que pueden ser perjudiciales para las plantas y el medio ambiente a largo plazo.
4. **Calidad del Producto Final:** Los cultivos pueden tener un perfil nutricional más balanceado y un sabor mejorado debido a la diversidad de nutrientes disponibles en las soluciones naturales.

Desventajas

1. **Inconsistencia en la Composición Nutricional:** Las soluciones naturales pueden variar en la concentración y disponibilidad de nutrientes lo que puede hacer que sea difícil mantener un suministro constante de todos los nutrientes necesarios para el crecimiento óptimo de las plantas.
2. **Dificultad en el Control:** Ajustar las proporciones de nutrientes en una solución natural puede ser más complicado que con fertilizantes químicos ya que depende de procesos biológicos que pueden ser difíciles de controlar y predecir.
3. **Riesgo de Patógenos:** Los materiales orgánicos, si no están bien gestionados pueden ser una fuente de patógenos que afecten negativamente a las plantas o incluso a los consumidores finales si no se toman las precauciones adecuadas.
4. **Costos y Recursos:** La preparación y mantenimiento de una solución nutritiva natural puede requerir más tiempo y recursos lo que podría incrementar los costos operativos en comparación con soluciones químicas premezcladas.

Cada uno de estos puntos depende en gran medida del tipo de sistema hidropónico, el tipo de cultivo y las condiciones de cultivo específicas. Es crucial que los cultivadores realicen un seguimiento y ajuste continuo de sus soluciones para maximizar los beneficios y minimizar las desventajas.

Resh (2013) señala que, aunque las soluciones nutritivas orgánicas pueden ser beneficiosas en términos de sostenibilidad y calidad del producto, pueden ser menos eficientes en términos de velocidad de crecimiento y manejo debido a la complejidad en la gestión de nutrientes y la disponibilidad de los mismos. la eficiencia de una solución nutritiva natural en hidroponía dependerá en gran medida de la habilidad del cultivador para manejar las variables adicionales que conlleva su uso, así como del tipo de plantas cultivadas. Para algunos cultivos y en ciertas condiciones las soluciones naturales pueden ser perfectamente eficientes mientras que para otros podrían representar un desafío adicional.

7. CONCLUSIÓN

Este proyecto buscaba analizar la viabilidad y eficacia de una solución nutritiva orgánica en comparación con soluciones convencionales del mercado para el cultivo hidropónico de lechuga Batavia en un sistema de raíz flotante. A pesar de los esfuerzos realizados en todas las etapas del proyecto, los resultados obtenidos indican que el objetivo general no fue alcanzado con éxito, lo que permite extraer valiosas lecciones para futuras investigaciones y aplicaciones.

Desde el inicio, el proyecto enfrentó desafíos significativos en la recolección y manejo de residuos sólidos orgánicos, cruciales para la producción de la solución nutritiva ORNUSO. Aunque se planeó inicialmente tomar muestras de residuos del comedor de la Universidad Popular del Cesar, la ejecución práctica de esta fase se vio afectada por la contaminación de las muestras y la falta de aplicación del método de cuarteo. En lugar de utilizar los residuos del comedor universitario, se optó por residuos provenientes de una vivienda.

En cuanto a la construcción del sistema de cultivo hidropónico de raíz flotante, se implementaron características específicas con dimensiones planteadas. A pesar de la adecuación teórica del diseño, la falta de crecimiento satisfactorio en las lechugas sugiere que el sistema pudo haber tenido deficiencias en la circulación y oxigenación del agua, también pudieron haber influido en el rendimiento del sistema. Además, de todo el estrés térmico al que estuvieron sometidas por las altas temperaturas.

En términos de velocidad de crecimiento y rendimiento las soluciones de mercados generalmente tienen una ventaja debido a su precisión y consistencia en los cultivos hidropónicos ya que estos tienen las cantidades necesarias y exactas que estos pueden requerir en cambio las soluciones naturales aunque pueden ser menos eficientes en términos de crecimiento rápido a menudo se prefieren en sistemas que priorizan la sostenibilidad y la calidad del producto final especialmente en el cultivo de alimentos orgánicos.

En conclusión, el proyecto no logró alcanzar sus objetivos debido a una combinación de factores interrelacionados. Los problemas en la recolección y manejo de residuos, la eficiencia de

la producción de la solución nutritiva, las deficiencias en el diseño del sistema de cultivo y el impacto de las condiciones ambientales adversas contribuyeron a los resultados obtenidos.



8. RECOMENDACIONES

Para asegurar la calidad y consistencia de las soluciones nutritivas en futuros proyectos, es crucial mejorar el proceso de recolección y manejo de residuos sólidos orgánicos. Es fundamental aplicar rigurosamente el método de cuarteo para evitar la contaminación de las muestras y asegurar que sean representativas. Implementar un protocolo estandarizado para la toma de muestras y su procesamiento en condiciones controladas garantizará la calidad de la solución nutritiva producida y permitirá una evaluación más precisa de su eficacia.

También, la eficiencia de la solución nutritiva ORNUSO puede ser incrementada mediante la optimización del proceso de lombricompostura. Se recomienda explorar técnicas alternativas para aumentar la producción de la solución, como utilizar mayores volúmenes de residuos o emplear sistemas de lombricompostura más eficientes. Además, es esencial realizar análisis periódicos para verificar la composición y concentración de nutrientes en la solución nutritiva, asegurando que cumpla con los requisitos óptimos para el crecimiento de las plantas.

En cuanto al diseño del sistema de cultivo hidropónico de raíz flotante, es necesario revisar y ajustar el sistema para mejorar la circulación y oxigenación del agua. Aumentar la frecuencia de circulación del agua y verificar el funcionamiento adecuado de la bomba y la manguera de circulación son pasos importantes. Asimismo, realizar pruebas para optimizar el espaciamiento entre plantas y la altura del agua puede garantizar un entorno más favorable para el desarrollo de las raíces y la absorción de nutrientes.

Otro aspecto crucial es el control ambiental que debe ser rigurosamente gestionado. Dado que las condiciones ambientales afectan significativamente el crecimiento de las plantas, se recomienda utilizar sistemas de control de temperatura y humedad para mantener condiciones óptimas en el área de cultivo. El uso de ventiladores, humidificadores y termómetros permitirá monitorizar y ajustar las condiciones ambientales según sea necesario, creando un entorno más adecuado para el crecimiento de las lechugas.

Así pues, para obtener resultados comparativos precisos, es importante establecer y seguir protocolos experimentales rigurosos. Esto incluye una planificación detallada y ejecución cuidadosa de los experimentos, así como un registro exhaustivo de variables y la realización de análisis estadísticos para evaluar la eficacia de las soluciones nutritivas. Un diseño experimental permitirá una evaluación más precisa y significativa de la solución nutritiva ORNUSO en comparación con soluciones convencionales.

Finalmente, se recomienda realizar una evaluación continua del proyecto y aplicar retroalimentación para ajustar las estrategias según sea necesario. Esto implica revisar periódicamente los procedimientos, recopilar datos detallados y ajustar las prácticas en base a los resultados obtenidos. La aplicación de lecciones aprendidas y la adaptación de enfoques contribuirán a mejorar la eficacia y el éxito de futuros proyectos relacionados con el cultivo hidropónico. Implementar estas recomendaciones ayudará a optimizar el crecimiento de las plantas y alcanzar los objetivos deseados en investigaciones y aplicaciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agropinos. (30 de Marzo de 2017). Obtenido de Agropinos: <https://www.agropinos.com/blog/ques-el-cultivo-de-secano>

BANCO MUNDIAL. (31 de Julio de 2023). Obtenido de BANCO MUNDIAL: <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/brief/food-security-update#:~:text=Alrededor%20del%209%2C2%20%25%20de,%25%2C%20enfrent%20%20inseguridad%20alimentaria%20grave>

Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponia*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

BID BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. (Julio de 2019). Obtenido de BID BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO: <https://publications.iadb.org/es/seguridad-alimentaria-en-america-latina-y-el-caribe>

BINASSS. (2002). Obtenido de <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Gu%C3%ADa%20metodo%20C3%B3gica%20para%20la%20preparaci%C3%B3n%20de%20planes%20directores%20del%20manejo%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales%20en%20ciudades%20medianas.pdf>

Bitá, C. E., & Gerats, T. (2024). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2023.00345/full>

Cancillería. (21 de Febrero de 2022). Obtenido de Cancillería: <https://www.cancilleria.gov.co/internacional/politica/ambiental/economia-circular#:~:text=Esta%20estrategia%20busca%20promover%20la,regenerar%20material%20es%20agua%20y%20energ%C3%ADa>

Cerrufo, V., & Manuel, A. (2022). *Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59611>

Cevallo, M., & Mario, R. (Febrero de 2020). *Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4846>

Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Routledge.

Corte Constitucional. (2015). Obtenido de Corte Constitucional: <https://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia%20-%202015.pdf>

DANE. (Julio de 2023). Obtenido de DANE: <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/FIES/pre-FIES-2022.pdf>

ECOLEC. (s.f.). Obtenido de ECOLEC: <https://ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/>

Economipedia. (1 de Abril de 2020). Obtenido de Economipedia: https://www.google.com/search?q=La+producci%C3%B3n+agr%C3%ADcola+es+el+resultado+de+la+explotaci%C3%B3n+de+la+tierra+para+obtener+bienes%2C+principalmente%2C+alimentos+como+cereales+y+diversos+tipos+de+vegetales.+El+rendimiento+hace+referencia+a&sca_esv=5

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura . (22 de Marzo de 2019). Obtenido de FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura : <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/>

Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications.

GESTOR NORMATIVO DEL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE FUNCIÓN PÚBLICA. (S.F.). Obtenido de Gestor Normativo del Departamento Administrativo de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=66633>

Gil, K. (7 de Junio de 2022). *BBVA*. Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.ch/noticia/hidroponicos-agricultura-sostenible-para-el-ahorro-de-agua/>

Gil, K. G. (2022 de Junio de 2022). *BBVA*. Obtenido de BBVA:
<https://www.bbva.ch/noticia/hidroponicos-agricultura-sostenible-para-el-ahorro-de-agua/>

Gordillo, S. (Julio de 2017). *Repositorio de Univerdidad de Ciencias y Artes de Chiapas*. Obtenido de Repositorio de Univerdidad de Ciencias y Artes de Chiapas:
<https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/676>

Hernández, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill educación. Obtenido de
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

Hidroponia.mx. (21 de Noviembre de 2015). Obtenido de Hidroponia.mx:
<http://hidroponia.mx/hidroponia-en-que-consiste-el-sistema-de-raiz-flotante/>

Iberdrola. (s.f.). Obtenido de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas>

Igac. (5 de Julio de 2016). Obtenido de Igac: [https://igac.gov.co/es/noticias/la-paz-uno-de-los-municipios-del-cesar-en-donde-renacera-la-paz#:~:text=El%20C3%A1rea%20municipal%20es%20de,y%20San%20Diego%20\(Cesar\).](https://igac.gov.co/es/noticias/la-paz-uno-de-los-municipios-del-cesar-en-donde-renacera-la-paz#:~:text=El%20C3%A1rea%20municipal%20es%20de,y%20San%20Diego%20(Cesar).)

Infocampo. (19 de Diciembre de 2017). Obtenido de Infocampo:
<https://www.infocampo.com.ar/hidroponia-guia-practica-para-crear-tu-propio-sistema-de-raiz-flotante-en-tu-hogar/>

Intagri. (2017). Obtenido de Intagri: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/solucion-nutritiva-y-su-monitoreo-mediante-analisis-quimico-completo>

José Beltrano, D. G. (2015). Obtenido de
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1

Mamani, C., & Silvi, E. (2021). *Repositorio Institucional Universidad Mayor de San Andrés*.
Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Mayor de San Andrés.

MINAMBIENTE. (s.f.). Obtenido de MINAMBIENTE: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>

MINCIT. (17 de Octubre de 2018). Obtenido de *MINCIT*:
<https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

RSU. (s.f.). Obtenido de <https://www.consorciorsumalaga.com/5936/residuos-organicos>

Steiner. (1968). *Fertilab*. Obtenido de *Fertilab*:
https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/la_solucion_nutritiva_y_el_rendimiento.pdf

Tabares, B. (2010). *Universidad Católica de Pereira*. Obtenido de Universidad Católica de Pereira: <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/7058/1/DDMDI441.pdf>

Toro, J. (2 de Octubre de 2017). *SCRIBD*. Obtenido de *SCRIBD*:
<https://es.scribd.com/document/360470539/El-Agroecosistema-o-Ecosistema-Agricola-Puede-Characterizarse-Como-Un-Ecosistema-Sometido-Por-El-Hombre-a-Continuas-Modificaciones-de-Sus-Componentes-B>

Velasco, I., & Ochoa, L. y. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad*, 35-71.

Volta. (24 de Abril de 2019). Obtenido de *Volta*: <https://www.voltachile.cl/residuos-organicos/>

Zárate, M. (2015). *Manual de Hidroponia*. México.

ANEXO

Tomando pruebas de PH



Fuente: autor, (2024).

Muestra de la solución hidropónica ORNUSO para la evaluación de la turbidez.



Fuente: autor, (2024).

Muestra de agua destilada y de ORNUSO para examen de turbidez.



Fuente: autor, (2024).

Una muestra de la Turbidez de ORNUSO.



Fuente: autor, (2024).

Muestras de ORNUSO enviadas al laboratorio Nancy Flórez.



Fuente: autor, (2024).