

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Tesis

**Evaluación comparativa del sistema acuapónico e
hidropónico en producción de lechugas (*Lactuca
sativa L.*) en Centro Piscícola El Ingenio-2023**

Denisse Alejandra Bedriñana Montero

Para optar el Grado Académico de
Maestro en Ciencias con Mención en
Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible

Lima, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Mg. JAIME SOBRADOS TAPIA
Director Académico de la Escuela de Posgrado
DE : **Dr. GUILLERMO ALBERTO LINARES LUJÁN**
Asesor del Trabajo de Investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de Trabajo de Investigación
FECHA : **21 Junio 2024**

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado Asesor del Trabajo de Investigación titulado "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL SISTEMA ACUAPÓNICO E HIDROPÓNICO EN PRODUCCIÓN DE LECHUGAS (Lactuca Sativa L.), EN CENTRO PISCÍCOLA EL INGENIO - 2023", perteneciente a **Bach. BEDRIÑANA MONTERO DENISSE ALEJANDRA**, de la **MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **16%** de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

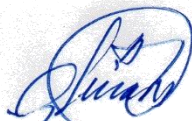
- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: **40**) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Dr. GUILLERMO ALBERTO LINARES LUJÁN
DNI. N° **40026086**

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, BEDRIÑANA MONTERO DENISSE ALEJANDRA, identificada con Documento Nacional de Identidad N° 71230340, egresada de la MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La Tesis titulada "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL SISTEMA ACUAPÓNICO E HIDROPÓNICO EN PRODUCCIÓN DE LECHUGAS (*Lactuca sativa* L), EN CENTRO PISCÍCOLA EL INGENIO- 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Grado Académico de MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE.
2. La Tesis no ha sido plagada ni total ni parcialmente, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La Tesis es original e inédita, y no ha sido realizada, desarrollada o publicada, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicada ni presentada de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

Lima, 04 de Julio de 2024.



BEDRIÑANA MONTERO DENISSE ALEJANDRA
DNI. N° 71230340



Huella

Arequipa

Av. Los Incas S/N,
José Luis Bustamante y Rivero
(054) 412 030

Calle Alfonso Ugarte 607, Yanahuara
(054) 412 030

Huancayo

Av. San Carlos 1980
(064) 481 430

Cusco

Urb. Manuel Prado - Lote B, N° 7 Av. Colla
(084) 480 070

Sector Angostura KM. 10,
carretera San Jerónimo - Saylla
(084) 480 070

Lima

Av. Alfredo Mendiola 5210, Los Olivos
(01) 213 2760

Jr. Junín 355, Miraflores
(01) 213 2760

INFORME DE TESIS - TURNITIN - DENISSE BEDRIÑANA

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | www.fao.org Fuente de Internet | 2% |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 3 | idoc.pub Fuente de Internet | 1% |
| 4 | docplayer.es Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | revistas.untrm.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 8 | repository.unad.edu.co Fuente de Internet | 1% |
| 9 | repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet | 1% |

| | | |
|----|--|------|
| 10 | colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet | 1 % |
| 11 | es.slideshare.net Fuente de Internet | 1 % |
| 12 | aprenderly.com Fuente de Internet | <1 % |
| 13 | repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | eujournal.org Fuente de Internet | <1 % |
| 15 | repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 16 | revistas.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 17 | repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 18 | es.readkong.com Fuente de Internet | <1 % |
| 19 | www.infocampo.com.ar Fuente de Internet | <1 % |
| 20 | repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 21 | Submitted to Universidad Católica de Santa María | <1 % |

22

Submitted to Universidad de la Amazonia

Trabajo del estudiante

<1 %

23

repositorio.upse.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

24

pt.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

Asesor

Dr. Linares Lujan Guillermo Alberto

Agradecimiento

A la Escuela de Postgrado de la Universidad Continental, por brindarme la oportunidad de realizar y culminar mis estudios de la Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

A la Dirección Regional de Producción de Junín, por su colaboración y por facilitarme el uso de las instalaciones del Centro Piscícola El Ingenio, lo que fue fundamental para el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Guillermo Alberto Linares, por su valioso asesoramiento y por las orientaciones que enriquecieron este trabajo. Al Ing. Miguel A. Carlos C., por su incondicional apoyo y contribución a lo largo del proceso.

Dedicatoria

A mis padres, Manuel y Gregoria, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo en cada etapa de mi vida.

A mi pareja, Manuel Walter, por su comprensión, paciencia y compañía en este camino.

A mi hijo, Jesús Valentino, por ser mi mayor inspiración y motivación para seguir adelante.

Índice

| | |
|--|----|
| Asesor | 2 |
| Agradecimiento | 3 |
| Dedicatoria | 4 |
| Índice de Tablas | 8 |
| Índice de Figura..... | 9 |
| Resumen..... | 12 |
| Abstract..... | 13 |
| Introducción..... | 14 |
| Capítulo I Planteamiento del Estudio | 16 |
| 1.1. Planteamiento y formulación del problema..... | 16 |
| 1.1.1. Planteamiento del problema. | 16 |
| 1.2. Determinación de objetivos | 18 |
| 1.2.1. Objetivo general..... | 18 |
| 1.2.2. Objetivos específicos. | 18 |
| 1.3. Justificación e importancia del estudio | 18 |
| 1.3.1. Justificación teórica | 18 |
| 1.3.2. Justificación Práctica | 19 |
| 1.3.3. Justificación Social | 19 |
| 1.4. Limitaciones de la presente investigación | 20 |
| 1.4.1. Limitación de campo..... | 20 |
| 1.4.2. Limitación de financiamiento..... | 20 |
| Capítulo II Marco Teórico..... | 21 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 21 |
| 2.1.1. Nacionales..... | 21 |
| 2.1.2. Internacionales. | 23 |
| 2.2. Bases teóricas | 25 |
| 2.2.1. Acuaponía..... | 25 |
| 2.2.2. Hidroponía | 29 |
| 2.2.3. La lechuga | 32 |
| 2.2.4. Acuicultura: | 35 |
| a) Trucha “arco iris” (<i>Orcorhynchus mykiss</i>) | 36 |
| b) Clasificación taxonómica (Blanco, 1995). | 36 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| c) | Características generales | 36 |
| d) | Nutrición de la trucha | 37 |
| a. | Definición de términos básicos | 39 |
| Capítulo III | Hipótesis y Variables | 41 |
| 3.1. | Hipótesis..... | 41 |
| 3.1.1. | Hipótesis general | 41 |
| 3.1.2. | Hipótesis específicas | 41 |
| 3.2. | Operacionalización de variables..... | 41 |
| 3.2.1. | Variable 1:..... | 41 |
| 3.3. | Matriz de Operacionalización de variables | 42 |
| Capítulo IV | Metodología del Estudio | 43 |
| 4.1. | Método, tipo o alcance de investigación..... | 43 |
| 4.1.1. | Método..... | 43 |
| 4.1.2. | Método Cuantitativo | 43 |
| 4.1.3. | Tipo o alcance..... | 43 |
| 4.1.4. | Diseño de investigación | 44 |
| 4.2. | Población y muestra | 44 |
| 4.2.1. | Población | 44 |
| 4.2.2. | Muestra..... | 44 |
| 4.3. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 45 |
| 4.4. | Procedimiento de la investigación | 45 |
| 3.2. | Técnicas de análisis de datos | 53 |
| Capítulo V | Resultados y Discusión | 55 |
| 5.1. | Resultados y análisis..... | 55 |
| 5.1.2. | Parámetros productivos de la lechuga (Lactuca sativa L) bajo el sistema hidropónico..... | 57 |
| 5.1.3. | Evaluar la diferencia en la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónicos e hidropónicos | 59 |
| 5.2. | Discusión de resultados | 65 |
| Conclusiones..... | | 68 |
| Recomendaciones..... | | 69 |
| Referencias Bibliográficas | | 70 |
| Anexos 1: | | 73 |

| | |
|---|----|
| Matriz de Consistencia | 73 |
| Anexo 2: Ficha de recolección de datos..... | 75 |
| Anexo 3: Análisis estadístico | 83 |
| Anexo 4: Fotografías | 96 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Partes de la lechuga</i> | 33 |
| Tabla 2. <i>Operacionalización de variables</i> | 42 |
| Tabla 3. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> | 45 |
| Tabla 4. <i>Volumen de la solución nutritiva utilizada:</i> | 49 |
| Tabla 5. <i>Evaluación semanal de la temperatura del agua en el sistema acuapónico</i> | 51 |
| Tabla 6. <i>Evaluación semanal de la temperatura del agua en el sistema hidropónico</i> | 52 |
| Tabla 7. <i>Resultados de la evaluación de la producción del cultivo de lechuga</i> | 56 |
| Tabla 8. <i>Resultados de la evaluación de la producción de lechuga en el sistema hidropónico</i> | 57 |
| Tabla 9. <i>Resultado de la media y desviación estándar de la lechuga</i> | 59 |
| Tabla 10. <i>Ficha de recolección de datos en el sistema acuapónico</i> | 75 |
| Tabla 11. <i>Ficha de recolección de datos en el sistema hidropónico</i> | 79 |
| Tabla 12. <i>Resultado de la media, desviación estándar y media de error estándar</i> | 83 |
| Tabla 13. <i>Resultado de la prueba de Levene realizado a cada parámetro productivo</i> | 85 |
| Tabla 14. <i>Prueba de normalidad</i> | 87 |
| Tabla 15. <i>Resultados de los supuestos de homocedasticidad y de normalidad de los sistemas acuapónico e hidropónico</i> | 89 |

Índice de Figura

| | |
|---|----|
| Figura 1. <i>Unidad acuapónica simple, permite que las plantas, bacterias y peces trabajen en un mismo sistema.....</i> | 25 |
| Figura 2. <i>Componentes biológicos en el proceso acuapónico: peces, plantas y bacterias.....</i> | 26 |
| Figura 3. <i>Técnica de cultivo en agua profundas o raíz flotante</i> | 28 |
| Figura 4. <i>Unidad hidropónica básica</i> | 31 |
| Figura 5. <i>Lechuga de hojas sueltas.....</i> | 34 |
| Figura 6. <i>Partes de la trucha arco iris.....</i> | 37 |
| Figura 7. <i>Evaluación de la altura total, altura de raíz y altura de hoja de la lechuga.....</i> | 50 |
| Figura 8. <i>Evaluación del número de hojas (unid) y cálculo de biomasa (g) de las lechugas.....</i> | 51 |
| Figura 9. <i>Cosecha de lechuga bajo el sistema acuapónico.....</i> | 55 |
| Figura 10. <i>Gráfico de barras de los resultados de la evaluación del cultivo de lechuga bajo el sistema acuapónico.....</i> | 56 |
| Figura 11. <i>Cosecha de lechuga bajo el sistema hidropónico.....</i> | 57 |
| Figura 12. <i>Gráfico de barras de los resultados de la evaluación del cultivo de lechuga bajo el sistema hidropónico.....</i> | 58 |
| Figura 13. <i>Comparación de la altura total (cm) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.....</i> | 60 |
| Figura 14. <i>Comparación de la altura de la raíz (cm) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.....</i> | 60 |
| Figura 15. <i>Comparación de la altura de la hoja (cm) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.....</i> | 61 |
| Figura 16. <i>Comparación del número de hojas de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.....</i> | 62 |
| Figura 17. <i>Comparación de la biomasa (g) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.....</i> | 63 |
| Figura 18. <i>Resumen de comparación de parámetros evaluados de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.....</i> | 63 |

| | |
|---|-----|
| Figura 19. <i>Gráfico de barras de la media de la altura total (cm) en los sistemas acuapónico e hidropónico.</i> | 90 |
| Figura 20. <i>Gráfico de barras de la media de la altura de raíz (cm) en los sistemas acuapónico e hidropónico.</i> | 91 |
| Figura 21. <i>Gráfico de barras de la media de la altura de la hoja (cm) en los sistemas acuapónico e hidropónico.</i> | 92 |
| Figura 22. <i>Gráfico de barras de la media del número de hojas (unid) en los sistemas acuapónico e hidropónico.</i> | 93 |
| Figura 23. <i>Gráfico de barras de la biomasa (g) en los sistemas acuapónico e hidropónico.</i> | 94 |
| Figura 24. <i>Lugar de estudio: Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo - Junín</i> | 96 |
| Figura 25. <i>Ubicación geográfica del área de investigación</i> | 96 |
| Figura 26. <i>Área elegida para la instalación del sistema acuapónico e hidropónico en el Centro Piscícola El Ingenio.</i> | 97 |
| Figura 27. <i>Instalación de mallas raschel para la unidad experimental.</i> | 98 |
| Figura 28. <i>Instalación de paletas con grasa entomológica - trampas atrapa-insectos al sistema acuapónico e hidropónico.</i> | 99 |
| Figura 29. <i>Plántulas de lechuga para los sistemas acuapónicos e hidropónicos del Fundo Hidropónico Valle Verde SAC.</i> | 100 |
| Figura 30. <i>Trasplante de lechuga hacia los vasitos de plástico</i> | 101 |
| Figura 31. <i>Captación de agua de los estanques de producción</i> | 102 |
| Figura 32. <i>Limpieza y acondicionamiento de la poza de sedimentación</i> | 102 |
| Figura 33. <i>Instalación de abastecimiento de agua para las bandejas experimental.</i> | 103 |
| Figura 34. <i>Trasplante de lechuga hacia los vasitos de plástico</i> | 103 |
| Figura 35. <i>La oxigenación se realizó mediante un flujo constante de entrada y salida de agua.</i> | 104 |
| Figura 36. <i>Abasteció las tres bandejas experimentales con agua de manantial.</i> | 105 |
| Figura 37. <i>Instalación de aireador para oxigenación de las lechugas en el sistema hidropónico.</i> | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figura 38. <i>Preparación de la solución nutritiva A y B con agua de manantial para cada bandeja.....</i> | 106 |
| Figura 39. <i>Trasplante de lechuga en el sistema hidropónico.....</i> | 106 |

Resumen

El presente trabajo de investigación, titulado "Evaluación del sistema acuapónico e hidropónico en producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) en el Centro Piscícola El Ingenio, Huancayo - 2023", tuvo como objetivo evaluar la diferencia en la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónicos e hidropónicos. El estudio se llevó a cabo entre los meses de junio a septiembre del 2023 en el Centro Piscícola "El Ingenio", provincia de Huancayo, departamento de Junín. Para el sistema acuapónico, se emplearon aguas enriquecidas con nutrientes provenientes de los desechos de los peces y el alimento no consumido, que fueron filtradas en una poza de sedimentación y distribuidas en tres bandejas de cultivo de lechuga. En paralelo se implementó el sistema hidropónico con tres bandejas similares, utilizando agua de manantial enriquecida con soluciones nutritivas. Por lo tanto, se establecieron dos tratamientos con tres repeticiones cada uno. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los sistemas, con un nivel de significancia $p < 0.05$. En el sistema acuapónico, se obtuvo una altura total de 52.03 cm y una altura de raíz de 32.31 cm, valores superiores a los del sistema hidropónico, que registró 45.04 cm de altura total y 23.66 cm de raíz. Sin embargo, el sistema hidropónico superó al acuapónico en altura de hoja (21.39 cm), número de hojas (13.38 unidades) y biomasa (77.29 g), frente a los 19.73 cm de altura de hoja, 13.38 hojas y 75.29 g de biomasa del sistema acuapónico. Se concluyó que ambos sistemas son eficientes para la producción de lechuga, aunque el sistema acuapónico presenta ventajas en términos de sostenibilidad al reutilizar los efluentes de la piscigranja sin necesidad de añadir nutrientes adicionales, mientras que, en el sistema hidropónico, aunque más productivo en ciertos aspectos, tiene costos más elevados debido al uso de nutrientes externos e implica mayores costos operativos.

Palabras claves: sistema acuapónico, sistema hidroponía, producción de lechuga, solución nutritiva y reutilización de nutrientes.

Abstract

The present research work, titled "Evaluation of the Aquaponic and Hydroponic Systems in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Production at the El Ingenio Fish Farming Center, Huancayo - 2023," aimed to evaluate the difference in lettuce production using aquaponic and hydroponic systems. The study was conducted from June to September 2023 at the El Ingenio Fish Farming Center, located in the province of Huancayo, department of Junín. For the aquaponic system, nutrient-rich water from fish waste and uneaten feed was filtered in a sedimentation pond and distributed into three lettuce cultivation trays. In parallel, the hydroponic system was implemented with three similar trays, using spring water enriched with nutrient solutions. Two treatments with three replications each were established. The results showed significant differences between the systems, with a significance level of $p < 0.05$. In the aquaponic system, a total height of 52.03 cm and a root length of 32.31 cm were obtained, values higher than those of the hydroponic system, which registered 45.04 cm of total height and 23.66 cm of root length. However, the hydroponic system outperformed the aquaponic system in leaf height (21.39 cm), number of leaves (13.38 units), and biomass (77.29 g), compared to 19.73 cm of leaf height, 13.38 leaves, and 75.29 g of biomass in the aquaponic system. It was concluded that both systems are efficient for lettuce production, although the aquaponic system presents sustainability advantages by reusing effluents from fish farming without the need for additional nutrients. On the other hand, the hydroponic system, although more productive in certain aspects, has higher costs due to the use of external nutrients and involves greater operational expenses.

Keywords: aquaponic system, hydroponic system, lettuce production, nutrient solution, nutrient reuse.

Introducción

La creciente preocupación por la seguridad alimentaria ha impulsado la búsqueda de métodos de producción agrícola más sostenibles y seguros. El uso de aguas residuales para el riego de cultivos se ha convertido en una práctica común en muchos lugares y representa un riesgo para la salud pública debido a la presencia de contaminantes como compuestos químicos, y microorganismos patógenos. Esta problemática cobra especial relevancia en el cultivo de hortalizas como la lechuga (*Lactuca sativa* L.), un producto de gran importancia económica y consumo a nivel mundial.

La lechuga es un producto popular que la gente consume durante todo el año, lo que significa que siempre es muy buscado en el mercado. La planta es abundante en elementos bioactivos: el agua representa el 94,8%, las proteínas el 1,2%, las grasas el 0,2% y los carbohidratos el 2,9%. En conjunto con vitamina A, B, C, E, minerales y aporte adecuado de vitaminas (Bravo Murillo.1920).

Si bien el cultivo tradicional de lechuga en suelo ofrece ventajas en términos de adaptabilidad y costo, su dependencia del riego por surcos implica un alto consumo de agua y un riesgo potencial de contaminación si se utilizan aguas no aptas. Ante este desafío, surgen otras técnicas de producción que ofrecen ventajas en comparación al cultivo tradicional, entre ellas la hidroponía y la acuaponía, como alternativas prometedoras para la producción de lechugas de forma sostenible y segura.

La Hidroponía es estudio que se encarga de examinar cultivos que carecen de suelo, basándose en los principios de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción.

La acuaponía es la agricultura intensiva que integra la hidroponía, el cultivo de plantas sin suelo, con la acuicultura, la cría de peces. En un sistema acuapónico, los efluentes ricos en nutrientes provenientes de la acuicultura se utilizan para fertilizar las plantas, las cuales a su vez purifican el agua antes de que sea eliminada a cuerpos de agua como ríos y lagos disminuyendo el impacto ambiental

sobre estos, o incluso permite que el agua regrese a los estanques de peces, creando un ciclo cerrado y sostenible.

Con estas consideraciones la investigación se ha desarrollado en base a un plan propuesto que se enuncia en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Contiene el planteamiento del estudio, formulación del problema general y específicos, determinación de los objetivos generales y específicos, precisa la justificación e importancia del estudio y las limitaciones de la investigación. Capítulo II: Contiene el marco teórico, que trata sobre el sistema acuapónico, sistema hidropónico, información sobre las características de la lechuga bajo dichos sistemas y la definición de términos básicos. Capítulo III: Contiene el planteamiento de la hipótesis y sus variables. Capítulo IV Contiene la metodología del estudio, determinando el método, tipo, diseño de investigación, delimitación de la población, muestra y técnicas e instrumentos de recolección de datos. Capítulo V: Contiene la presentación de resultados obtenidos del sistema acuapónico e hidropónico sobre el cultivo de lechuga (tamaño de la raíz, tamaño total, número de hojas, biomasa) y discusión, así como las conclusiones, recomendación, referencias bibliográficas y anexos.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se centra en la evaluación del sistemas acuapónicos e hidropónicos en la producción de lechuga, con el objetivo de evaluar los parámetros productivos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Capítulo I

Planteamiento del Estudio

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema.

La acuicultura, que implica el cultivo de animales y plantas en el agua, ha adquirido una importancia creciente en el sistema alimentario global. Contribuye a la producción de alimentos, la conservación de especies acuáticas y la mejora de la nutrición, al tiempo que busca disminuir los impactos ambientales. Sin embargo, la sostenibilidad de esta actividad enfrenta desafíos significativos, especialmente en el manejo de las aguas residuales ricas en nutrientes, un subproducto común de la acuicultura (Chamorro et al., 2021).

En el país, existen más de 3,207 centros de producción acuícola, de los cuales 269 se encuentran en la región de Junín (Catastro Acuícola Nacional, gob.pe). Estos centros, autorizados para operar con la especie *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris), utilizan aguas de manantiales, ríos y lagunas cercanas. El rápido crecimiento de la acuicultura ha generado una presión considerable sobre los recursos hídricos y del suelo, aumentando el impacto ambiental debido a la gran cantidad de desechos que se vierten en cuerpos de agua.

Particularmente las aguas residuales provenientes de la producción acuícola contienen nutrientes que podrían ser aprovechados mediante tecnologías alternativas como la acuaponía, un sistema que combina la acuicultura y la hidroponía (Gómez M, 2022). Sin embargo, la mayoría de los centros de producción acuícola utilizan las aguas de los ríos en varias baterías de estanques y devuelven estas aguas sin tratamiento, lo que contribuye a la contaminación de

los cuerpos de agua receptores. Se estima que más del 60% del fósforo y el 80% del nitrógeno de los desechos acuícolas termina en lagunas y ríos, lo que provoca problemas como la eutrofización y la reducción de la calidad del agua.

En la microcuenca del Río Chía, ubicada en el distrito de Ingenio, Provincia de Huancayo, operan ocho centros de producción de trucha arcoíris, incluyendo el Centro Piscícola “El Ingenio”, que produce un promedio anual de 100 toneladas de trucha. El efluente de esta piscigranja regresa al medio ambiente sin tratamiento, lo que pone de manifiesto la necesidad de gestionar adecuadamente los nutrientes. Para abordar este problema, se propone aprovechar los nutrientes presentes en las aguas residuales acuícolas mediante sistemas acuapónicos, y se realizará una comparación con la hidroponía, un método que cultiva plantas sin suelo utilizando soluciones nutritivas.

Ambos enfoques ofrecen alternativas viables a la agricultura tradicional, que requiere grandes extensiones de terreno y, a menudo, depende de fertilizantes químicos debido al agotamiento del suelo causado por los monocultivos. Además, la agricultura convencional frecuentemente utiliza aguas contaminadas y productos químicos como fertilizantes, insecticidas y herbicidas para controlar enfermedades y plagas.

En este contexto, los consumidores muestran una creciente preferencia por hortalizas cultivadas mediante hidroponía, ya que estas prácticas suelen ser percibidas como más sostenibles y saludables en comparación con los métodos tradicionales. A partir de esta realidad, se plantean las siguientes interrogantes.

- **Problema general.**

¿Qué diferencia existe en la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónico e hidropónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023?

- **Problemas específicos.**
 1. ¿Cuáles son los parámetros productivos en la producción de lechuga bajo el sistema acuapónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023?
 2. ¿Cuáles son los parámetros productivos en la producción de lechuga bajo el sistema hidropónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023?

1.2. Determinación de objetivos

1.2.1. Objetivo general.

Evaluar la diferencia en la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónicos e hidropónicos en el Centro Piscícola “El Ingenio” Huancayo, 2023.

1.2.2. Objetivos específicos.

1. Evaluar los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema acuapónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023.
2. Evaluar los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema hidropónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023

1.3. Justificación e importancia del estudio

1.3.1. Justificación teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de enriquecer el conocimiento existente sobre la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónico e hidropónico. Aunque ambos sistemas son reconocidos por su eficiencia y sostenibilidad, existen pocos estudios comparativos que analicen detalladamente sus diferencias y ventajas específicas. Al profundizar en estos aspectos, esta investigación contribuirá significativamente al campo de la agronomía, acuicultura, y la producción sostenible de alimentos, proporcionando una base

teórica sólida para futuras investigaciones y prácticas en las actividades relacionadas a la acuicultura, agricultura.

1.3.2. Justificación Práctica

La investigación ayuda a identificar y correlacionar factores clave que pueden aumentar el rendimiento de la lechuga en entornos acuapónicos e hidropónicos. Los resultados obtenidos pueden servir para incorporar herramientas y técnicas que sean útiles y aplicables tanto a nivel familiar y a pequeña escala como a nivel comercial e industrial. Este conocimiento práctico es esencial para diseñar sistemas de producción que sean eficientes, sostenibles y replicables, tomando en cuenta factores ambientales, sociales, económicos y físicos. Además, al proporcionar datos concretos y aplicables, se facilita la implementación de estos sistemas en diversas condiciones y contextos.

Esta información será valiosa para acuicultores, agricultores y autoridades, promoviendo la adopción de prácticas sostenibles y mejorando la seguridad alimentaria en el país.

1.3.3. Justificación Social

El cambio climático y la creciente presión sobre los recursos naturales exigen la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes, enfrentando desafíos críticos como la escasez de agua dulce, la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la contaminación ambiental. En este contexto, la acuaponía se presenta como una alternativa prometedora para la producción sostenible de alimentos, al combinar la acuicultura con la hidroponía para aprovechar los nutrientes de las aguas residuales de la piscicultura, creando un ciclo de recirculación que minimiza el consumo de agua y reduce la generación de residuos.

Esta investigación se justifica por varias razones sociales: contribuye a la sostenibilidad ambiental al tratar las aguas residuales ricas en

nutrientes y evitar su contaminación, recircula el agua y elimina la necesidad de fertilizantes sintéticos, lo que conserva los recursos hídricos y reduce la huella ecológica; mejora la seguridad alimentaria al producir alimentos de alta calidad, libres de contaminantes y con menor riesgo de enfermedades, lo que fortalece la salud de los consumidores; ofrece un potencial económico al reducir costos asociados con agua, fertilizantes y pesticidas, y al generar mayores ingresos y nuevas oportunidades de mercado; y es adaptable y escalable, permitiendo su implementación en diversas escalas, desde pequeñas unidades familiares hasta grandes producciones comerciales, lo que facilita su integración en diferentes contextos, incluyendo áreas urbanas y periurbanas.

1.4. Limitaciones de la presente investigación

1.4.1. Limitación de campo

La investigación se vio limitada por la ausencia de una infraestructura acuícola adecuada para el filtrado de sedimentos presentes en el efluente proveniente del Centro Piscícola “El Ingenio”.

1.4.2. Limitación de financiamiento

El estudio se llevó a cabo con financiamiento personal, lo que restringió la escala del proyecto y la posibilidad de implementar un sistema acuapónico más complejo y completo.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Nacionales.

Paye (2022), realizó un estudio cuyo objetivo principal fue determinar la eficiencia del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus Mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en comparación con el cultivo convencional en Ollaraya. La eficiencia se definió en términos de la capacidad de aprovechamiento del efluente en la producción de lechugas, así como en el tamaño, peso y tasa de crecimiento de las mismas. Para alcanzar este propósito, se aplicó una metodología de diseño no experimental, descriptivo y comparativo, utilizando la observación directa como técnica de recolección de información. Los resultados obtenidos revelaron que la lechuga cultivada en el sistema acuapónico alcanzó un mayor peso de 315 gramos, equivalente a una ganancia de 4.98 g/día, en comparación con las lechugas cultivadas de manera convencional, que tuvieron un peso promedio de 112 gramos con una ganancia de peso fresco de 1.76 g/día. Además, se registraron niveles de concentración de amonio de 0.23 mg/L, nitritos de 0.22 mg/L, nitratos de 75 mg/L, un pH de 6.8 y una temperatura de 17°C. Como conclusión, se determinó que el cultivo acuapónico es más eficiente que el cultivo convencional, ya que presentó parámetros fisicoquímicos favorables para el crecimiento y la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L).

Carranza (2021), llevó a cabo un estudio con el objetivo de adaptar un sistema acuapónico integrado para el cultivo de truchas arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa*) en Beirut, distrito de Corosha, región Amazonas. Para ello, se empleó la metodología del diseño de bloques complementarios al Azar (DBCA) con un arreglo factorial (3A x 4B), donde el factor A representaba tres densidades de siembra de trucha en etapa de pre adulto (15, 20 y 25 kg de trucha/m³) y el factor B incluía cuatro variedades de lechuga

(maravilla de invierno, cuatro estaciones, seda y tropicana), lo que resultó en 12 tratamientos más un grupo de control. Los principales resultados mostraron que los tratamientos T4, T6 y T10 registraron los niveles más altos de crecimiento de hojas, raíz ancha de hoja, número de hojas por planta y peso de planta en madurez comercial. Se concluyó que la densidad de siembra de peces número dos (D2), que corresponde a 20 kg/m³, mostró la mejor respuesta para la producción acuapónica con sistema RAS. En cuanto a la evaluación de las lechugas, se encontró que la variedad número tres (V3), que corresponde a la variedad seda, obtuvo los mejores resultados en crecimiento y desarrollo en comparación con las otras variedades." Zavala (2019), propuso evaluar el sistema acuapónico de trucha e hidroponía en la producción de forraje de cebada. Para ello, utilizaron 150 truchas arcoíris con un peso promedio de 60 g cada una para el sistema acuapónico. Se aplicó la metodología del diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos (sistema acuapónico e hidropónico) y doce repeticiones. Los resultados obtenidos mostraron un rendimiento superior en el sistema acuapónico en comparación con el sistema hidropónico. En el sistema acuapónico, el rendimiento fue de 21.50 kg/m², la altura de la planta alcanzó los 19.60 cm, el diámetro del tallo fue de 1.38 mm, el ancho de la hoja fue de 5.17 mm y la longitud de la raíz fue de 11.35 cm. Mientras que, en el sistema hidropónico, los resultados fueron de un rendimiento de 20.89 kg/m², una altura de planta de 18.30 cm, un diámetro de tallo de 1.16 mm, un ancho de hoja de 5.08 mm y una longitud de raíz de 11.75 cm. Se concluyó que el sistema acuapónico supera en más del 30% al sistema hidropónico en términos de rendimiento. Respecto a la relación costo-beneficio, se considera que por cada sol invertido en el sistema acuapónico se espera recibir un beneficio de 0.57 soles, en comparación con el sistema hidropónico, que es de 0.19 soles en la producción de forraje."

2.1.2. Internacionales.

Bautistas (2021) realizó un estudio cuyo objetivo fue estimar y comparar el rendimiento de la lechuga (*Lactuca Sativa L.*) en sistemas productivos acuapónicos (SA) e hidropónicos (SH), utilizando la técnica de Nutrition Film Technique (NFT) en ambos casos. En el SA, se integraron plantas de lechuga junto con tres tilapias de Nilo (*Oreochromis niloticus L*) con un peso inicial de 500 g cada una, alimentadas con croquetas comerciales para peces, manteniendo una recirculación continua del agua. Los resultados mostraron que el SH generó un mayor peso y rendimiento en el cultivo de la lechuga (0.097 ± 0.007 kg; 1.85 kg/m²) en comparación con el SA (0.056 ± 0.0050 ; 1.08 kg/m²). Ambos sistemas utilizaron 275 litros de agua cada uno durante el desarrollo de sus respectivos cultivos. Se concluyó que tanto el sistema acuapónico como el hidropónico son opciones viables para la producción agrícola, con rendimientos óptimos y ecológicamente sostenibles debido a la recirculación del agua y su bajo impacto ambiental en comparación con los sistemas tradicionales."

Reyes (2016) propuso evaluar y comparar el crecimiento, rendimiento y concentración nutricional foliar de plantas de *Solanum lycopersicum L.* desarrolladas en un sistema acuapónico e hidropónico con tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), en comparación con aquellas que crecieron en un sistema hidropónico. Para llevar a cabo esta investigación, se empleó la metodología del diseño experimental al azar con tres repeticiones, donde cada unidad experimental consistió en seis plantas, evaluando tanto el sistema acuapónico como el hidropónico. Los resultados principales revelaron que el sistema hidropónico (HID) mostró un mayor rendimiento (2.97 kg planta⁻¹), altura de planta (324.4 cm) y peso seco de la parte aérea (130.8 g planta⁻¹). En contraste, en el sistema acuapónico (ACU), así como en sus variantes ACUFF y HEA, el rendimiento disminuyó en un 60.76% y un 83%, la altura de la planta en un 18.28% y un 60%, y el peso seco de la parte aérea en un 58.65% y un 78%,

respectivamente. Sin embargo, la concentración de nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en las plantas acuapónicas fue similar a las del cultivo hidropónico. Como conclusión, se determinó que el rendimiento y crecimiento del cultivo de jitomate en el sistema acuapónico, bajo las condiciones específicas de la investigación, resultaron ser menores en comparación con la hidroponía convencional. No obstante, la acuaponía proporciona los nutrientes necesarios para obtener una producción aceptable sin la necesidad de utilizar fertilizantes.

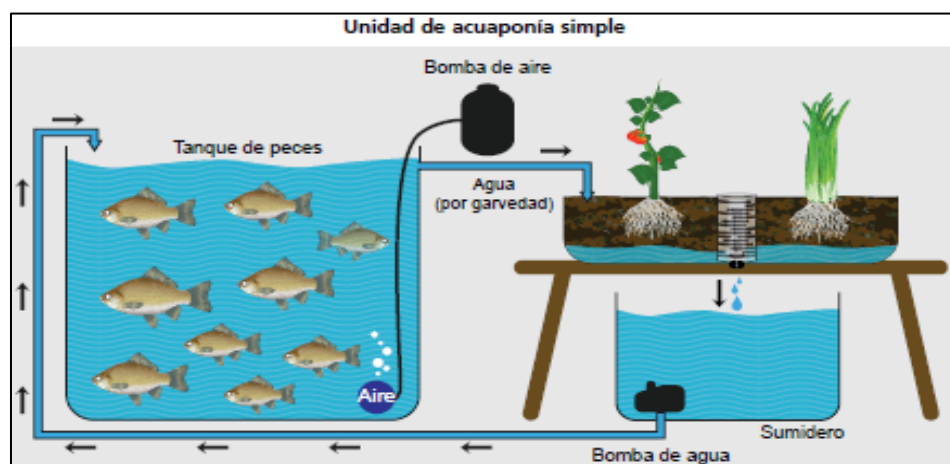
Ronzón (2012) se propuso determinar la eficiencia productiva del cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) en un sistema hidropónico (SH) en comparación con un sistema acuapónico (SA) asociado al cultivo semi-intensivo de post larvas de langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*). Para ello, aplicó la metodología del diseño experimental completamente al azar, evaluando tanto el sistema hidropónico como el acuapónico, y examinando cuatro tratamientos distintos: SA, SH, y dos métodos de fijación. Los resultados principales revelaron que el desempeño productivo de las plantas de albahaca mantenidas en el SA, en ambos sistemas de fijación, fue inferior en comparación con las plantas del SH, que mostraron un crecimiento progresivo y constante durante el estudio. Además, la supervivencia de las plantas en el SH fue significativamente mayor (90%) en comparación con las del SA (25%) para ambos sustratos de fijación. El crecimiento final (15 cm) y la producción de hojas en promedio (8 hojas) de las plantas en el SA fueron significativamente menores en comparación con las del SH, que alcanzaron un tamaño promedio de 35 cm y 58 hojas por planta. Como conclusión, se determinó que el cultivo de langostino malayo asociado a la producción de albahaca representa una alternativa viable para los productores acuícolas interesados en integrar prácticas agrícolas a su actividad sin afectar su economía.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Acuaponía

La acuaponía integra la recirculación de la acuicultura y la hidroponía en un sistema de producción único, como se ilustra en la figura 1 (Somerville, 2022). Este sistema se basa en el aprovechamiento de los desechos orgánicos generados por organismos acuáticos, como los peces, que son transformados por bacterias en nitratos. Estos nitratos sirven como fuente de nutrientes para las plantas, las cuales, a su vez, actúan como un filtro biológico al absorber los nitratos, ayudando a limpiar y purificar el agua (Ramírez, 2008).

Figura 1. Unidad acuapónica simple, permite que las plantas, bacterias y peces trabajen en un mismo sistema.

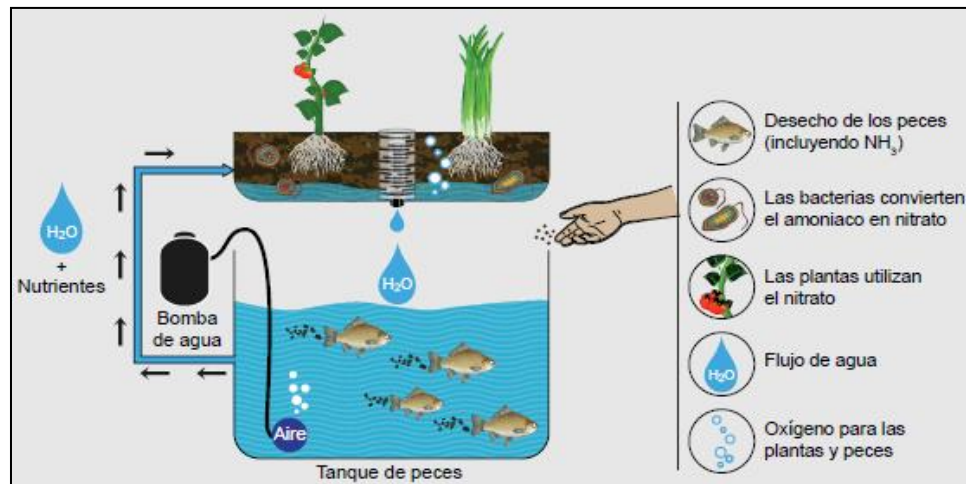


Fuente: Documento Técnico Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas 2022 por FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, Reimpreso con permiso.

La acuaponía integra peces, plantas y bacterias en un sistema interdependiente que favorece el crecimiento saludable de todos sus componentes, siempre que el equilibrio del sistema se mantenga. El agua utilizada en el cultivo se origina en el tanque de los peces, transportando sus metabolitos. Esta agua pasa primero por un filtro mecánico que retiene los residuos sólidos, y luego por un filtro biológico, donde el amoníaco es oxidado y convertido en nitrato. Posteriormente, el agua circula por la zona de cultivo de las plantas,

las cuales absorben los nutrientes disponibles. Finalmente, el agua, ahora purificada, regresa al tanque de los peces. Este proceso se ilustra en la figura 2.

Figura 2. Componentes biológicos en el proceso acuapónico: peces, plantas y bacterias



Fuente: Documento Técnico Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas 2022 por FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, Reimpreso con permiso.

a. Ventajas del sistema acuapónico

Según Valdez (2017), el sistema acuapónico presenta varias ventajas:

- ✓ Requiere menos espacio para la producción.
- ✓ Es amigable con el medio ambiente, ya que reutiliza el agua de forma eficiente.
- ✓ Promueve un crecimiento acelerado de las plantas.
- ✓ Permite la producción durante todo el año.
- ✓ No requiere la preparación de soluciones nutritivas adicionales.
- ✓ No contamina el agua con residuos de los peces, ya que estos actúan como nutrientes para las plantas.
- ✓ Genera ingresos económicos tanto por la venta de peces como de plantas.
- ✓ Los vegetales producidos mediante acuaponía suelen alcanzar mejores precios en el mercado.

b. Desventajas del sistema acuapónico

Según Somerville (2022), el sistema acuapónico presenta las siguientes desventajas:

- ✓ Es más costoso que plantar vegetales en suelo o usar hidroponía, además de tener un alto costo de instalación.
- ✓ El sistema puede fallar de manera catastrófica debido a errores o accidentes.
- ✓ Requiere un manejo diario.
- ✓ La recirculación del agua consume energía, lo cual puede ser un desafío.
- ✓ El éxito del sistema depende de una comprensión integral de la producción de peces, bacterias y plantas.
- ✓ Existe la posibilidad de que las necesidades de las plantas y los peces no estén completamente alineadas.
- ✓ Requiere acceso continuo a electricidad, alimento para los peces y semillas.

c. Técnicas de cultivo en el sistema acuapónico

Existen tres métodos comunes de cultivo en acuaponía:

1. Técnica de cultivo en aguas profundas (CAP): Las plantas se suspenden sobre el agua, con sus raíces colgando directamente en ella.
2. Método de cama de cultivo con sustrato: Las plantas crecen en un medio sólido como grava o arcilla expandida, que proporciona soporte y facilita la filtración biológica.
3. Técnica de película nutritiva (NFT): El agua rica en nutrientes fluye por canales poco profundos donde las raíces de las plantas absorben los nutrientes.

d. Técnica de cultivo en aguas profundas (CAP)

El método de cultivo en aguas profundas (CAP) se basa en suspender las plantas sobre láminas de poliestireno, permitiendo que sus raíces cuelguen directamente en el agua. Este enfoque es muy utilizado en la acuaponía comercial, especialmente para

cultivos específicos, y se destaca por su capacidad de automatización. Como se ilustra en la figura 3.

Según la FAO (2022), las características clave del método CAP son:

- ✓ Se recomienda una profundidad del agua de 30 cm para favorecer el crecimiento adecuado de las raíces.
- ✓ La aireación es fundamental para mantener niveles óptimos de oxígeno en el agua.
- ✓ Se evita el contacto directo entre los tallos de las plantas y el agua, lo que reduce el riesgo de enfermedades.
- ✓ Las láminas de poliestireno deben tener agujeros para insertar canastillas o cubos de esponja que sostengan las plantas.
- ✓ Las raíces permanecen visibles debajo de las láminas de poliestireno.

Figura 3. Técnica de cultivo en agua profundas o raíz flotante



Fuente: Documento Técnico Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas 2022 por FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, Reimpreso con permiso.

2.2.2. Hidroponía

La hidroponía es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en medios sin suelo. El término "hidroponía" proviene del griego hidro (agua) y ponos (trabajo), lo que significa "trabajo en agua". Este sistema de cultivo aislado del suelo se basa en el suministro adecuado de agua y nutrientes para el crecimiento de las plantas. Gracias a esta técnica, es posible obtener hortalizas de alta calidad, optimizando el uso del agua y los nutrientes (Beltrano, 2015).

La historia de la hidroponía se remonta a los Jardines Colgantes de Babilonia, construidos por el rey Nabucodonosor II (rey de los caldeos) para su esposa Amytis entre los años 605 a.C. y 562 a.C. en la ciudad de Babilonia, actual Irak. Este es considerado el primer cultivo hidropónico realizado por el ser humano.

a) Ventajas del cultivo hidropónico

Según (Beltrano, 2015), el sistema hidropónico presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- ✓ Reducción de costos de producción.
- ✓ Independencia de las condiciones meteorológicas.
- ✓ Producción de cosechas fuera de temporada.
- ✓ Mayor producción en menos espacio y con menor capital.
- ✓ Ahorro de agua, que se recicla.
- ✓ Eliminación de la necesidad de maquinaria agrícola.
- ✓ Limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- ✓ Mayor precocidad en los cultivos.
- ✓ Alto grado de automatización.
- ✓ Mejor calidad de los productos.
- ✓ Aceleración en el proceso de cultivo.
- ✓ Posibilidad de obtener varias cosechas de la misma especie en un año.
- ✓ Productos libres de químicos no nutricionales.

b) Desventaja

- ✓ Costo inicial elevado: Aunque el costo inicial de un sistema hidropónico puede ser alto, consume significativamente menos agua que el cultivo en tierra. En este último, hasta el 80% del agua de riego se infiltra en el suelo o se evapora, mientras que en hidroponía se evita la infiltración y se reduce considerablemente la evapotranspiración al realizarse en ambientes controlados con alta humedad.

c) Cultivos

Se puede cultivar hortalizas de hojas, de frutos o de raíz; cultivos que producen tubérculos, bulbos, tallos, plantas aromáticas, medicinales, ornamentales, flores. También la hidroponía es muy usada para producir forraje fresco para alimentar animales de granja.

d) Técnicas de cultivo en el Sistema hidropónico

Los sistemas hidropónicos se dividen en dos tipos:

1. Sistema hidropónico en agua: Las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. Ejemplos incluyen el sistema NFT (Técnica de Película de Nutrientes) y el sistema de raíz flotante.
2. Sistema hidropónico en sustrato: Las raíces crecen en sustratos inertes, y la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato, humedeciendo las raíces. Un ejemplo es el sistema de riego por goteo.

e) Sustrato

El sustrato es cualquier material sólido que puede sustituir al suelo y sirve como medio de crecimiento para las plantas. Su principal función es proporcionar soporte a las raíces y facilitar el anclaje de las plantas (Baixauli, 2002). Un buen sustrato debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ Ser químicamente inerte.
- ✓ Ser fácil de conseguir y de bajo costo.
- ✓ Retener humedad adecuadamente.
- ✓ No ser salino.

- ✓ Ser duradero.

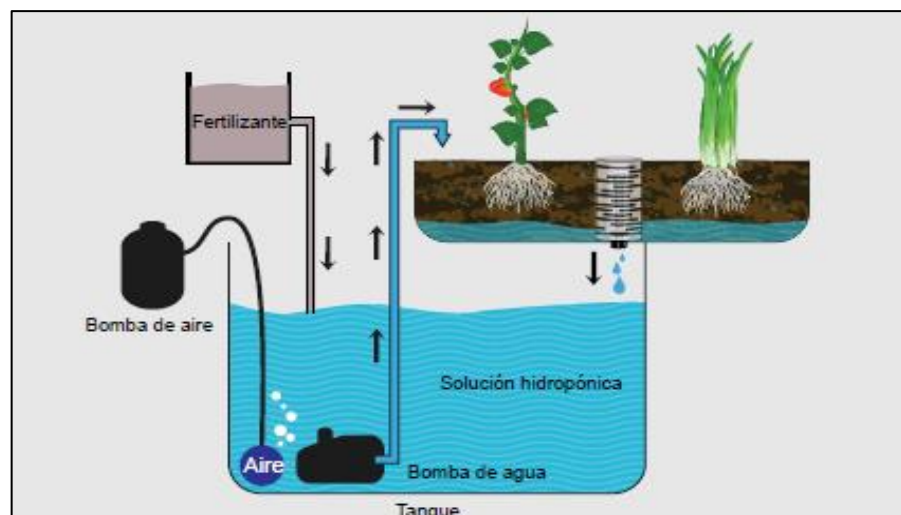
f) Solución Nutritiva

La solución nutritiva es una mezcla de agua y nutrientes minerales a los que se añaden fertilizantes comerciales en las cantidades adecuadas para satisfacer las necesidades de las plantas y asegurar su crecimiento óptimo (Beltrano, 2015). Los nutrientes se clasifican en:

- ✓ Macronutrientes: Carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).
- ✓ Micronutrientes: Hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), cloro (Cl) y molibdeno (Mo).

Como se muestra en la figura 2, la solución nutritiva es absorbida por las raíces de las plantas, proporcionando todos los elementos esenciales para su desarrollo.

Figura 4. Unidad hidropónica básica



Fuente: Documento Técnico Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas 2022 por FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, Reimpreso con permiso.

Los nutrientes esenciales son aquellos imprescindibles para la vida del organismo vegetal, cuya función en la célula es tan específica que no pueden ser reemplazados por otros.

Existen varios factores a considerar en el manejo de la solución nutritiva:

- ✓ Conductividad eléctrica (C.E.): La conductividad eléctrica indica la cantidad de sales presentes en la solución. El rango óptimo para un adecuado crecimiento del cultivo está entre 1.5 y 2.5 dS/m. Si la C.E. supera este límite, se debe diluir con agua o renovar completamente la solución.
- ✓ pH: El pH indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución. Un pH ácido tiene un valor menor a 7, alcalino mayor a 7, y neutro es 7. El pH adecuado para la solución nutritiva debe estar entre 5.5 y 6.5, asegurando que los nutrientes estén disponibles para las plantas (Rodríguez, 2018).
- ✓ Oxigenación de la solución nutritiva: La oxigenación es crucial para obtener buenos resultados. Puede realizarse de manera manual o mediante el uso de un sistema de oxigenación. La falta de oxígeno puede llevar a la fermentación de la solución y a la pudrición de las raíces debido a microorganismos. Las raíces sanas y bien oxigenadas deben ser de color blanquecino; de lo contrario, se vuelven oscuras debido al tejido radicular muerto (Rodríguez, 2018).

2.2.3. La lechuga

La lechuga es una hortaliza reconocida por sus hojas sueltas o acurrucadas, ideales para ser consumidas en ensaladas y otras preparaciones gracias a sus características organolépticas. En los sistemas acuapónicos, la lechuga es una de las plantas más cultivadas debido a su capacidad para mantener niveles adecuados de luz, pH, potasio y hierro, esenciales para su crecimiento óptimo. Esta planta presenta un ciclo de producción relativamente corto y requiere cantidades significativas de nitratos, ya que su interés comercial se centra principalmente en la producción de follaje (Ramírez, 2009).

a) Clasificación taxonómica

Nombre Científico : Lactuca Sativa L.
Nombre Común : Lechuga
Familia : Astereaceae
Género : Lactuca
Variedad : Sativa
Tipo : Hoja

b) Principales partes de la lechuga

Tabla 1. Partes de la lechuga

| | |
|---|---|
|  | <p>Hojas</p> <p>Las hojas de la lechuga son basales, numerosas y grandes, desarrollándose en rosetas. Pueden tener formas ovales, oblongas, ramificadas, crespas o lisas, y su apariencia puede ser brillante u opaca según la variedad.</p> |
|  | <p>Tallo (A)</p> <p>Es una planta de corto tallo que forma una roseta de hojas. Estas hojas varían en tamaño, textura, forma y color dependiendo de la variedad cultivada.</p> |
| | <p>Raíz(B)</p> <p>Es un tipo de raíz pivotante y densa, que puede alcanzar una longitud de hasta 30 cm.</p> |
|  | <p>Flores</p> <p>Las flores son amarillas, pequeñas y se agrupan en un mismo nivel apical, con sus pedúnculos naciendo a diferentes alturas del tallo principal.</p> |

Fuente: Recuperado de Manual de Lechuga, 2015 por Cámara de Comercio de Bogotá. Programa de apoyo agrícola y agroindustrial vicepresidencia de fortalecimiento empresarial, Reimpreso con permiso.

c) Variedades de lechuga

Dentro de la especie *Lactuca sativa* L., se diferencian cinco variedades botánicas:

1. Longifolia (Lam) Janchen: También conocidas como lechugas romanas o cos. Esta variedad se caracteriza por desarrollar hojas grandes, erguidas, oblongas y obovadas, que miden entre 20 y 30 cm de largo y de 6 a 10 cm de ancho. Sus hojas presentan una nervadura prominente, una superficie ligeramente ondulada y bordes irregularmente denticulados.
2. Capitata (L) Janchen: Comúnmente llamadas lechugas amargas, mantecosas o españolas. Estas lechugas presentan hojas lisas, relativamente delgadas, de forma orbicular y anchas. Las hojas son sinuosas y de textura suave o mantecosa. Las hojas internas forman un cogollo de tono amarillento al cubrir las más nuevas.
3. Crispa L.: Forman una cabeza, como las variedades Great Lakes o Batavias, conocidas incorrectamente como escarolas en Chile. Dentro de este grupo se distinguen dos subtipos:
 - ✓ Iceberg: Forman una cabeza compacta
 - ✓ Batavia: Tienen una cabeza menos densa, de tamaño más pequeño y con formas irregulares.
4. Acephala Dill: Esta subespecie se caracteriza por tener hojas sueltas y dispersas, conocidas como Lollo Rosa, Lollo Bionda y Hoja de Roble, entre otras. Estas lechugas son del tipo "de corte" o "de hojas sueltas" (loose leaf), ya que no forman cogollo, sino que sus hojas crecen de forma suelta y no envolvente.

Figura 5. *Lechuga de hojas sueltas*



Fuente: Recuperado del Manual de producción de lechuga, 2017 por INIA-INDAP, Santiago. Reimpreso con permiso.

5. Augustuana All: Conocidas como lechugas espárrago o de tallo, son cultivadas principalmente en China. En esta variedad, se aprovecha principalmente el tallo carnoso, aunque también se consumen las hojas, que pueden ser de color verde o rojizo.

d) Condiciones para el cultivo

Las condiciones ambientales óptimas para el cultivo de lechuga en sistemas acuapónicos requieren un pH del agua entre 6.0 y 7.0, con una densidad de siembra de 20 a 25 plantas por metro cuadrado. El tiempo de germinación varía entre 3 y 6 días, mientras que el ciclo de crecimiento completo de la lechuga oscila entre 4 y 5 semanas. La temperatura ideal para su desarrollo se sitúa entre los 15°C y 22°C, y requiere una exposición solar moderada a alta para su crecimiento adecuado.

2.2.4. Acuicultura:

En el D. L. N°1195, Ley General de Acuicultura, precisa que la acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos donde interviene la fuente de alimentación para el aumento de producción en el proceso de la cría.

De acuerdo con Somerville (2022), describe a la acuicultura como aquella crianza y producción en cautiverio de peces u otros animales y plantas acuáticas bajo condiciones controladas. Teniendo cuatro métodos de cultivo: sistemas de aguas abiertas, cultivo en piscinas, canales de flujo continuo y sistema de recirculación para la acuicultura

(SRA). Siendo SRA un método que permite el desarrollo integrado de acuicultura y agricultura, aprovechando en usar los productos de desecho y de agua con nutrientes para la producción de vegetales.

a) Trucha “arco iris” (*Oncorhynchus mykiss*)

La trucha Arco Iris es un salmónido procedente de los ríos de la costa oeste de EE. UU, llegó al Perú en el año 1926 por la Empresa Cerro de Pasco Copper Corporation, habilitándose el primer criadero de truchas en la Oroya y adaptándose totalmente a nuestras aguas. Actualmente la trucha es la especie que se encuentra distribuida en casi todos los ambientes dulces acuícolas de la sierra, al haberse adaptado a los ríos, lagos y lagunas de las zonas altoandinas (Ministerio de la Producción, 2022).

b) Clasificación taxonómica (Blanco, 1995).

| | | |
|-------------------|---|--------------------|
| Reino | : | Animal |
| Sub reino | : | Metazoos |
| Phylum | : | Chordata |
| Sub Phylum | : | Vertebrata |
| Clase | : | Osteichthyes |
| Sub clase | : | Actinopterygios |
| Orden | : | Salmoniformes |
| Sub Orden | : | Salmonidei |
| Familia | : | Salmonidae |
| Género | : | Oncorhynchus |
| Especie | : | mykiss |
| Nombre Científico | : | Oncorhynchusmykiss |
| Nombre Común | : | Trucha arco iris |

c) Características generales

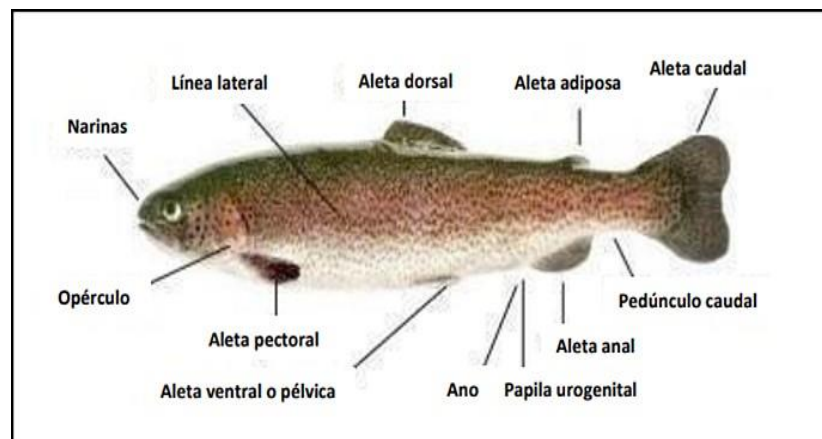
La trucha arco iris pertenece a la familia de los salmónidos, caracterizada por un cuerpo fusiforme, cubierto de finas escamas. Su dorso es azulado, los flancos son plateados con una franja rojiza e iridiscente a lo largo del cuerpo y las aletas. La coloración del cuerpo varía según el ambiente, la edad, el sexo y otros factores. Por ejemplo, en riachuelos sombreados, presenta un color plomo oscuro, mientras que, en un estanque

bien expuesto a los rayos del sol, muestra una tonalidad mucho más clara, con verde oliva en la parte superior, una franja rojiza en el centro y el abdomen blanco. (Quinto 2000, op. Cit.Bedriñana,2013).

La denominación de trucha arco iris se debe a la presencia de una franja de colores de diferentes tonalidades, con predominio de una franja rojiza sobre la línea lateral en ambos lados del cuerpo (Mendoza, 2004).

El hábitat natural de la trucha incluye ríos, lagos y lagunas de aguas frías, limpias y cristalinas, típicas de los ríos de alta montaña. La trucha arco iris prefiere corrientes moderadas y generalmente ocupa los tramos medios de los ríos, donde hay fondos pedregosos y vegetación moderada. (FONDEPES, 2006).

Figura 6. Partes de la trucha arco iris



Fuente: Manual para una acuicultura sostenible de cultivo de trucha 2022 por Ministerio de la Producción, Reimpreso con permiso.

d) Nutrición de la trucha

El alimento es uno de los principales factores que influyen en toda producción, representando el 50 y 60% de los costos totales. Este alimento debe aportar las cantidades suficientes y equilibradas de sustancias energética, plásticas y reguladoras, la asimilación y coordinación de complejos procesos, cuya

finalidad es la de absorber y transportar a los tejidos, así como transformar estas sustancias propias a energía (Blanco, 1995). La alimentación de la trucha en ambientes controlados para su desarrollo es a través del suministro del alimento balanceado (Ministerio de la Producción, 2022).

a. Definición de términos básicos

- Acuaponía: Sistema de producción que combina la acuicultura (cría de peces) y la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo). En un sistema acuapónico, los efluentes de la acuicultura, ricos en nutrientes, son utilizados para fertilizar las plantas, mientras que estas purifican el agua, creando un ciclo sostenible (Rakocy et al., 2006).
- Agricultura sin suelo: El cultivo de plantas sin suelo se refiere a un método donde las plantas son alimentadas con una solución aireada de nutrientes, mientras que las raíces se sostienen en una matriz inerte o flotan libremente en la solución nutritiva. (Somerville, 2022).
- Cosecha: Recolección de los productos provenientes de un cultivo en cualquiera de sus modalidades (NTP 320.001-2009).
- Cultivo: Proceso que abarca la reproducción y producción de especies hidrobiológicas en ambientes naturales o artificiales debidamente seleccionados y acondicionados (NTP 320.001-2009).
- Efluentes: Agua residual generada en la acuicultura que contiene nutrientes provenientes de los desechos de los peces y alimentos no consumidos. Estos efluentes son fundamentales para el funcionamiento del sistema acuapónico, ya que sirven como fertilizante para las plantas (Gomez et al., 2019).
- Hidroponía: La agricultura sin suelo es un método donde las plantas reciben una solución nutritiva que contiene todos los macronutrientes y micronutrientes esenciales para su crecimiento. Esta solución puede aplicarse mediante el riego de medios inertes como sustratos especiales o directamente dentro de tanques donde las raíces pueden absorber los nutrientes necesarios. (Somerville, 2022).
- Lechuga (*Lactuca sativa* L.): Hortaliza de hoja verde muy consumida a nivel mundial, valorada por su sabor y textura, así como por su contenido nutricional, que incluye vitaminas A, B, C y E, y minerales esenciales. La lechuga es un cultivo importante debido a su demanda constante en el mercado (Bravo Murillo, 1920).
- Parámetros productivos: Medidas utilizadas para evaluar la eficiencia y el rendimiento de los cultivos. Los parámetros incluyen la altura total

de las plantas, la altura de raíz, el número de hojas y la biomasa (Zhu et al., 2018).

- **Producción sostenible:** Práctica agrícola que busca satisfacer las necesidades actuales de alimentos sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Implica la utilización eficiente de recursos y la minimización del impacto ambiental (FAO, 2017).
- **Seguridad alimentaria:** Condición que garantiza que todas las personas tengan acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para llevar una vida activa y saludable. La producción sostenible a través de métodos como la acuaponía y la hidroponía es esencial para mejorar la seguridad alimentaria (World Food Programme, 2020).
- **Sustrato:** Un sustrato es cualquier material sólido que puede utilizarse en lugar del suelo y que actúa como medio de crecimiento para las plantas. Su función principal es proporcionar el anclaje necesario para las raíces y ofrecer soporte mecánico a las plantas. (Baixauli,2002).

Capítulo III

Hipótesis y Variables

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Existe una diferencia significativa en la producción de lechuga entre el sistema acuapónico e hidropónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023.

3.1.2. Hipótesis específicas

A. Hipótesis específicas:

- H0: La producción de lechugas bajo el sistema acuapónico no presenta parámetros productivos significativamente diferentes en términos de altura total (cm), altura de la raíz (cm), altura de la hoja (cm), número de hojas (unid) y biomasa (g) en comparación con el sistema hidropónico.
- H1: La producción de lechugas bajo el sistema acuapónico presenta parámetros productivos significativamente diferentes en términos de altura total (cm), altura de la raíz (cm), altura de la hoja (cm), número de hojas (unid) y biomasa (g) en comparación con el sistema hidropónico.

3.2. Operacionalización de variables

Se ha identificado la siguiente variable:

3.2.1. Variable 1:

Sistema de Producción de lechuga: sistema acuapónico o sistema hidropónico

3.3. Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ESCALA DE EVALUACIÓN | INSTRUMENTO |
|--------------------------------------|--|--|---------------------|---|----------------------|--------------------------------|
| V1. Sistema de producción de lechuga | <p>Tipo de métodos y técnicas empleadas para cultivar lechuga.</p> <p>La lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo (INIA La Platina, 2017).</p> | <p>El sistema de producción de lechuga se evaluó de acuerdo con los parámetros productivos de cada lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.</p> | Sistema acuapónico | <p>Altura total (cm)</p> <p>Altura de la hoja (cm)</p> <p>Altura de la raíz (cm)</p> <p>Número de hojas (unid)</p> <p>Biomasa (g)</p> | Razón | Ficha de recolección de datos. |
| | | | Sistema hidropónico | <p>Altura total (cm)</p> <p>Altura de la hoja (cm)</p> <p>Altura de la raíz (cm)</p> <p>Número de hojas (unid)</p> <p>Biomasa (g)</p> | Razón | Ficha de recolección de datos. |

Capítulo IV

Metodología del Estudio

4.1. Método, tipo o alcance de investigación

4.1.1. Método

4.1.2. Método Cuantitativo

Se selecciona el método cuantitativo para esta investigación debido a su capacidad para examinar los datos de manera científica y precisa. Este método se distingue por el uso de datos numéricos y herramientas estadísticas que facilitan el análisis sistemático de los resultados. La recolección y el análisis de datos se llevan a cabo de forma estructurada, lo que permite obtener conclusiones objetivas y replicables.

El enfoque cuantitativo se basa en la recolección y el análisis de datos numéricos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis preestablecidas. Según Hernández (2023), este enfoque "utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, confiando en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población". Este enfoque permite una evaluación precisa y objetiva de los patrones de comportamiento y las relaciones entre variables, empleando técnicas estadísticas para establecer conclusiones basadas en datos cuantificables.

4.1.3. Tipo o alcance

El tipo de investigación es experimental, también conocido como comprobación de hipótesis causales, y de alcance explicativo. Este tipo de investigación se enfoca en establecer relaciones de causa y efecto al analizar cómo la manipulación de una o más variables independientes afecta a una o más variables dependientes. A través de este enfoque, se evalúa el efecto productivo resultante de la intervención o acción sobre las variables, permitiendo una comprensión precisa de las relaciones causales en el estudio.

4.1.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación utilizado es el experimental clásico, que se enfoca en establecer relaciones causales mediante la manipulación controlada de variables. Según Donald T. Campbell y Julian C. Stanley (1966), el diseño experimental clásico es fundamental para evaluar los efectos de una intervención o tratamiento al comparar los resultados de un grupo experimental con un grupo de control. Este enfoque permite una evaluación precisa de las relaciones de causa y efecto al controlar cuidadosamente las variables externas y utilizar técnicas de asignación aleatoria para minimizar sesgos. La estructura rigurosa de este diseño asegura que los resultados sean válidos y fiables, facilitando la interpretación de los efectos de las variables independientes sobre las dependientes.

4.2. Población y muestra

4.2.1. Población

La población es el conjunto total de elementos que poseen características comunes y que son objeto de estudio en una investigación. En este caso la población está compuesta por todas las lechugas producidas bajo el sistema acuapónico e hidropónico.

4.2.2. Muestra

La muestra es una parte representativa de la población total que se selecciona para realizar el análisis. En esta investigación, la muestra está constituida por un total de 180 lechugas cultivadas bajo el sistema acuapónico y 180 lechugas cultivadas bajo el sistema hidropónico. Las cuales se encuentran distribuidas en tres repeticiones para cada sistema, con 60 lechugas por repetición.

4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

| Objetivo General | Técnica | Instrumentos |
|--|-------------------------------|---------------------------------|
| Evaluar la diferencia en la producción de lechuga entre el sistema acuapónico e hidropónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023. | Observación y experimentación | Ficha de recolección de datos |
| Objetivos Específicos | Técnica | Instrumentos |
| 1. Evaluar los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema acuapónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023. | Observación y experimentación | Ficha de recolección de datos |
| 2. Evaluar los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema hidropónico en el Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023. | Observación y experimentación | Ficha de recolección de datos |
| Análisis de datos | Análisis estadístico | Software SPSS versión 28, Excel |

4.4. Procedimiento de la investigación

4.4.1. Descripción del Lugar de Estudio: El estudio se llevó a cabo en la parte baja del Centro Piscícola El Ingenio, ubicado entre las coordenadas 11°52'57.07" S y 75°15'31.04" O, a una altitud de 3,533 metros sobre el nivel del mar, en el distrito de Ingenio, provincia de Huancayo, departamento de Junín. El Centro Piscícola El Ingenio, situado a una altitud de 3,533 m.s.n.m., cuenta con acceso a agua de alta calidad proveniente de fuentes naturales. Las condiciones climáticas, con temperaturas oscilando entre 10°C y 20°C, son ideales para la acuicultura y para los sistemas acuapónicos e hidropónicos. El área de estudio abarca 100 m², destinada al cultivo de lechugas bajo condiciones controladas (Ver figura 24 y 25).

4.4.2. Equipos y Materiales:

- ✓ 6 bandejas de fibra de vidrio de dimensiones 2 m de largo x 0.4 m de ancho x 0.15 m de altura.
- ✓ 18 bastidores de planchas de Tecnopor por bandeja, cada uno con 20 orificios de 1.5" de diámetro.

- ✓ 360 plántulas de lechuga (almácigo).
- ✓ Vasitos descartables de 3 onzas.
- ✓ Tubería de PVC de 6 pulgadas para captar el agua.
- ✓ Tubería de PVC de ½ pulgada
- ✓ Mallas raschel
- ✓ Paleta con grasa entomológica
- ✓ Solución nutritiva A y B.
- ✓ Aireador de acuario con manguerillas de látex
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Termómetro
- ✓ Balanza digital

4.4.3. Diseño experimental:

4.4.3.1. Selección de unidades experimentales:

- ✓ Se utilizó dos estanques paralelos de concretos desocupados y un estanque de sedimentación. El estanque N° 1 se destinó al sistema acuapónico y el estanque N° 2 al sistema hidropónico (Ver figura 26).
- ✓ Se realizó una limpieza general de los estanques, poza de sedimentación y las áreas circundantes.
- ✓ Encalado de estanques y poza de captación.
- ✓ Instalación de bandejas experimentales y sistema de abastecimiento de agua.

4.4.3.2. Condiciones de control

- ✓ Se acondicionó sombras con mallas raschel sobre ambos estanques para prevenir el sobrecalentamiento del agua en las bandejas experimentales durante el día y evitar el enfriamiento durante las primeras horas de la mañana debido a las heladas estacionales (Ver figura 27).
- ✓ Se instaló paletas impregnadas con grasa entomológica en las unidades experimentales. Estas trampas están diseñadas para capturar insectos que podrían potencialmente contaminar las lechugas durante el estudio (Ver figura 28).

- ✓ Se controló la temperatura del agua en ambos sistemas de cultivo.

4.4.3.3. Distribución de las plántulas

Se instaló un total de 180 lechugas para cada sistema de cultivo, las cuales se distribuyeron en tres bandejas experimentales. En cada bandeja, se colocaron 60 lechugas utilizando tres bastidores de Tecnopor. Cada bastidor equipado con 20 orificios de 1.5 pulgadas de diámetro, diseñados para alojar los vasos con las lechugas.

Las plántulas de lechuga fueron adquiridas del Fundo Hidropónico Valle Verde SAC. (Ver figura 29).

4.4.3.4. Trasplante de lechuga

1. Se retiró con cuidado la plántula de lechuga de la bandeja.
2. Se lavó la raíz de la plántula con agua para eliminar la arena.
3. Se colocó con cuidado la plántula en el vaso de plástico, haciendo previamente un pequeño orificio en la base del vaso. (ver figura 30).

3.1.1. Fases de la Investigación:

El método de cultivo para ambos sistemas fue la de raíz flotante, en la cual las lechugas se encontraron suspendidas en el agua, para ello se hizo uso los bastidores de Tecnopor.

3.1.1.1. Procedimiento en el sistema acuapónico:

1. Se instaló una tubería de PVC de 6 pulgadas para captar el agua de la salida de los estanques de producción de trucha y se dirigió hacia la poza de sedimentación. (Ver figura 31).
2. Se realizó una limpieza exhaustiva y acondicionamiento de la poza de sedimentación para asegurar su funcionamiento óptimo. Además, se colocó una rejilla con malla de filtración en la salida de la poza para permitir que el material

particulado se asiente y garantizar que solo el agua filtrada llegue al estanque experimental. (Ver figura 32).

3. Para el bastecimiento de agua en las bandejas experimentales se instaló una tubería de PVC de ½ pulgada para suministrar y distribuir un flujo constante de agua desde la poza de sedimentación hacia las bandejas experimentales. (Ver figura 33).
4. Para el estanque N° 1 se instaló tres bandejas de fibra de vidrio, las cuales fueron conectadas a la tubería que transporta el agua filtrada proveniente de la poza de sedimentación.
5. El 17 de junio de 2023, se realizó el trasplante de 180 lechugas a vasos de plástico. Los vasos con lechuga fueron colocados en los bastidores de Tecnopor, distribuidos uniformemente en las tres bandejas experimentales (Ver figura 34).
6. La oxigenación se realizó mediante un flujo constante de entrada y salida de agua en las bandejas experimentales, con un caudal de 0.5 litros por segundo, repartido entre las tres bandejas (Ver figura 35).

3.1.1.2. Procedimiento en el sistema hidropónico:

1. En el estanque N° 2 se instaló tres bandejas de fibra de vidrio, cada una montada sobre tres bastidores de Tecnopor.
2. Se abasteció con 80 litros de agua de manantial a las tres bandejas experimentales (Ver figura 36).
3. Se instaló un aireador de acuario con manguerillas de látex distribuidas en las tres bandejas, cada una equipada con tres difusores para asegurar una adecuada oxigenación de las plantas. El funcionamiento de los aireadores requirió de energía eléctrica, lo que se tuvo en cuenta durante la planificación y ejecución del proyecto. La oxigenación se

realiza durante el día (de 7 am a 5 pm) en intervalos de 10 minutos cada 2 horas. (Ver figura 37).

4. Se preparó la solución nutritiva A y B utilizando el agua de manantial para cada bandeja. La mezcla se realizó en las siguientes proporciones: 5 ml de Solución A por cada litro de agua y 2 ml de Solución B por cada litro de agua. Estas proporciones fueron seleccionadas cuidadosamente para asegurar que las plantas reciban los nutrientes esenciales necesarios para su crecimiento y desarrollo óptimos (recomendada por la Área de Hidroponía de la UNALM) (Ver figura 38).

Tabla 4. Volumen de la solución nutritiva utilizada:

| Tipo de sistema | Agua de manantial (L) | Solución A (ml) | Solución B (ml) |
|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| Hidroponía | 80 | 400 | 160 |

Nota: Calculo

5. Se trasplanto 180 lechugas a los vasos de plástico, el 17 de junio el 2023, los cuales fueron colocados en los bastidores de Tecnopor distribuidos en las tres bandejas experimentales (Ver figura 39).

3.1.2. Mantenimiento:

En el sistema acuapónico:

- ✓ Se verifico el ingreso y salida del agua desde el estanque hacia las bandejas experimentales.
- ✓ Se comprobó que la salida de la poza de sedimentación no esté obstruida, asegurando el flujo adecuado de agua hacia las bandejas.
- ✓ Se monitoreo el crecimiento de las lechugas.

En el sistema hidropónico:

- ✓ Se controló el volumen de agua en todas las bandejas, que debe ser de 0.08 m³ en total, con una altura de 10 cm en cada bandeja.

- ✓ Se ajusto la solución nutritiva según el descenso del pH y el nivel de agua en las bandejas, manteniendo un pH promedio entre 5.5 y 6.5.
- ✓ Se controlo la aireación continua durante el día (7 am a 5 pm), con intervalos de 10 minutos cada hora. No fue necesario airear durante la noche.
- ✓ Se monitoreo el correcto funcionamiento del aireador y el crecimiento de las lechugas.

3.1.3. Recolección de Datos

Se registraron los datos en una ficha de recolección elaborada en Excel, considerando cada planta de lechuga en ambos sistemas (ver tabla N°10). Los parámetros medidos fueron: altura total de las hojas (cm), altura de la raíz (cm), altura de la hoja (cm), número total de hojas (unidades) y biomasa (g).

Figura 7. Evaluación de la altura total, altura de raíz y altura de hoja de la lechuga.



En la Figura 07, se muestra las evaluaciones realizadas a las lechugas, incluyendo la medición de la altura total de la lechuga, altura de la raíz y la altura de las hojas. Estas mediciones se llevaron a cabo utilizando una cinta métrica, asegurando exactitud en los datos recopilados.

Figura 8. Evaluación del número de hojas (unidad) y cálculo de biomasa (g) de las lechugas.



En la Figura 8, se muestra el proceso de conteo de las hojas de la lechuga y el cálculo de la biomasa (g). Este proceso se realizó contando meticulosamente cada hoja de la lechuga y utilizando una balanza eléctrica para calcular con exactitud la biomasa.

Así mismo se registró en ambos sistemas la temperatura del agua en las bandejas (°C), utilizando un termómetro digital, con frecuencia semanal.

Tabla 5. Evaluación semanal de la temperatura del agua en el sistema acuapónico

| Fecha | Primer control | Temperatura (°C) | Segundo control | Temperatura (°C) |
|------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 17/06/2023 | 08:05 | 6.2 | 13:05 | 12.0 |
| 19/06/2023 | 08:08 | 6.0 | 13:04 | 11.5 |
| 26/06/2023 | 08:06 | 6.1 | 13:07 | 12.2 |
| 03/07/2023 | 08:07 | 6.5 | 13:10 | 13.0 |
| 10/07/2023 | 08:13 | 6.6 | 13:07 | 12.0 |
| 17/07/2023 | 08:05 | 6.7 | 13:05 | 12.4 |
| 24/07/2023 | 08:06 | 7.2 | 13:05 | 13.1 |
| 31/07/2023 | 08:04 | 7.5 | 13:08 | 13.0 |
| 07/08/2023 | 08:06 | 8.0 | 13:04 | 13.2 |
| 14/08/2023 | 08:05 | 8.4 | 13:07 | 13.5 |
| 21/08/2023 | 08:08 | 7.6 | 13:07 | 13.5 |
| 28/08/2023 | 08:04 | 8.5 | 13:03 | 12.0 |
| 04/09/2023 | 08:03 | 8.4 | 13:04 | 12.1 |
| 11/09/2023 | 08:06 | 7.6 | 13:07 | 11.3 |
| 18/09/2023 | 08:04 | 8.1 | 13:08 | 11.0 |
| 23/09/2023 | 08:06 | 7.8 | 13:07 | 13.5 |

Tabla 6. *Evaluación semanal de la temperatura del agua en el sistema hidropónico*

| Fecha | Primer control | Temperatura (°C) | Segundo control | Temperatura (°C) |
|------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 17/06/2023 | 08:00 | 6.0 | 13:00 | 13.0 |
| 19/06/2023 | 08:05 | 6.4 | 13:02 | 13.5 |
| 26/06/2023 | 08:00 | 6.1 | 13:00 | 12.2 |
| 03/07/2023 | 08:00 | 6.0 | 13:07 | 13.1 |
| 10/07/2023 | 08:10 | 6.0 | 13:05 | 12.4 |
| 17/07/2023 | 08:00 | 6.5 | 13:00 | 12.4 |
| 24/07/2023 | 08:03 | 6.4 | 13:02 | 13.2 |
| 31/07/2023 | 08:00 | 6.2 | 13:00 | 13.0 |
| 07/08/2023 | 08:02 | 7.1 | 13:00 | 13.2 |
| 14/08/2023 | 08:00 | 7.2 | 13:00 | 13.5 |
| 21/08/2023 | 08:05 | 7.0 | 13:04 | 13.2 |
| 28/08/2023 | 08:04 | 7.4 | 13:00 | 12.0 |
| 04/09/2023 | 08:00 | 8.2 | 13:00 | 13.1 |
| 11/09/2023 | 08:02 | 8.6 | 13:02 | 12.5 |
| 18/09/2023 | 08:00 | 8.4 | 13:00 | 12.7 |
| 23/09/2023 | 08:03 | 8.5 | 13:05 | 13.4 |

3.1.4. Finalización del Ciclo de Cultivo

La investigación concluyó el 30 de septiembre de 2023, tras 105 días, cuando las plantas alcanzaron el tamaño adecuado de hojas requerido para el mercado y el consumo.

3.1.5. Análisis de los Datos

Los datos registrados en Excel se analizaron utilizando el software estadístico SPSS versión 28 para evaluar los parámetros de altura total, altura de la raíz, altura de las hojas, número total de hojas y biomasa.

3.2. Técnicas de análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico SPSS versión 28 y para contrastar la hipótesis se realizará la verificación de la normalidad de los datos y de acuerdo a los resultados se elegirá una prueba estadística.

- **Prueba de Mann-Whitney U**

El modelo estadístico que se empleará para calcular los valores de U para ambos grupos:

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

Donde:

- n_1 y n_2 son los tamaños de las dos muestras.
- R_1 y R_2 son las sumas de los rangos asignados a las muestras 1 y 2, respectivamente.

El estadístico de prueba es el menor valor entre U_1 y U_2

- Si el valor calculado de U es menor que el valor crítico de U para un nivel de significancia 0.05, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor calculado de U es mayor o igual al valor crítico, no se puede rechazar la hipótesis nula.

La hipótesis de interés en este diseño se plantea como:

$H_0: T_1 = T_2$

$H_1: T_1 \neq T_2$ muestras son diferentes.

$\alpha = 0,05$

- **Prueba t de Welch**

Calcular el estadístico T de Welch:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Calcular el grado de libertad efectivos usando la fórmula de Welch

$$df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}}$$

Donde:

- \bar{X}_1 y \bar{X}_2 son las medias de los grupos 1 y 2, respectivamente.
- s_1^2 y s_2^2 son las varianzas de los grupos 1 y 2, respectivamente.
- n_1 y n_2 son los tamaños de las muestras de los grupos 1 y 2, respectivamente.

La hipótesis de interés en este diseño se plantea como:

- Hipótesis nula (H_0): Las medias de los dos grupos son iguales.
- Hipótesis alternativa (H_1): Las medias de los dos grupos no son iguales.
- $\alpha = 0,05$

Capítulo V

Resultados y Discusión

5.1. Resultados y análisis

Los resultados de la investigación se presentan de acuerdo a los objetivos específicos y objetivo general formulados:

5.1.1. Parámetros productivos de la lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo el sistema acuapónico

La cosecha y la evaluación se realizó sobre un total de 180 lechugas, considerando un período de crecimiento de 105 días, lo que equivale a 3.45 meses desde el trasplante.

Figura 9. Cosecha de lechuga bajo el sistema acuapónico



Los datos fueron recopilados en una ficha de recolección el 30 de septiembre de 2023, a las 8:30 a.m., en el Centro Piscícola “El Ingenio” (ver Anexo N°2).

A partir de la información contenida en el anexo 2, se llevó a cabo un análisis estadístico. A continuación, se presenta un resumen estadístico de los parámetros productivos en el cultivo de lechuga

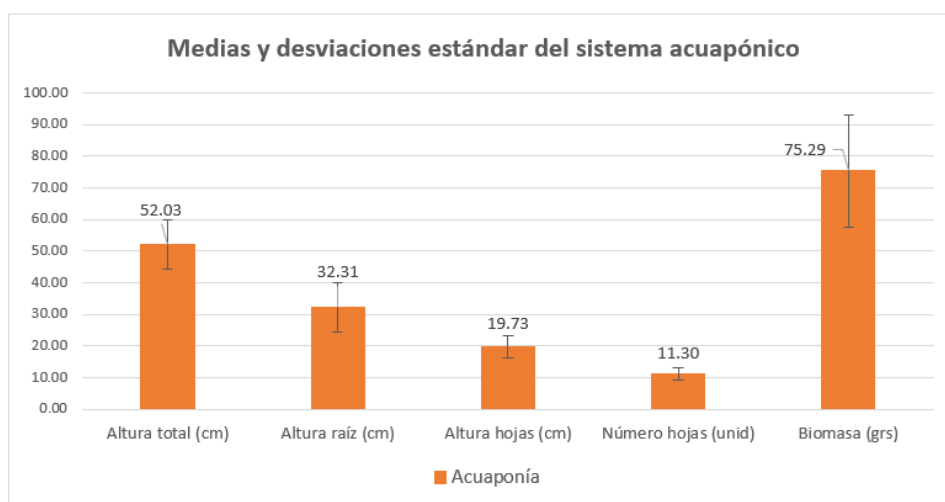
bajo el sistema acuapónico, que incluye el tamaño de la muestra (N), la media, la desviación estándar y el error estándar de la media.

Tabla 7. Resultados de la evaluación de la producción del cultivo de lechuga

| Tipo de sistema | Altura total (cm) | Altura raíz (cm) | Altura hojas (cm) | Número hojas (unidad) | Biomasa (g) |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|-------------|
| Acuaponía | 52.03±7.94 | 32.31±7.79 | 19.73±3.44 | 11.30±1.97 | 75.29±17.81 |

Nota: Calculado de la lista de la cosecha de lechuga.

Figura 10. Gráfico de barras de los resultados de la evaluación del cultivo de lechuga bajo el sistema acuapónico



En el Tabla 7 y en la figura 10, muestran los resultados promedio obtenidos para la producción de lechuga bajo el sistema acuapónico: altura total de 52.03 cm (± 7.94), altura de la raíz de 32.31 cm (± 7.79), altura de la hoja de 19.73 cm (± 3.44), número de hojas de 11.30 unidades (± 1.97) y alcanzando una biomasa de 75.29 g (± 17.81).

5.1.2. Parámetros productivos de la lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo el sistema hidropónico

La evaluación se llevó a cabo sobre un total de 180 lechugas cosechadas. Esta evaluación tuvo lugar el día 30 de setiembre del 2023, a las 4:00 pm en el Centro Piscícola “El Ingenio”, correspondiente a un periodo de cosecha de 105 días, equivale a 3.45 meses, desde el trasplante.

Figura 11. Cosecha de lechuga bajo el sistema hidropónico



Los datos fueron recopilados en una ficha de recolección en el Centro Piscícola “El Ingenio” (ver Anexo N°2).

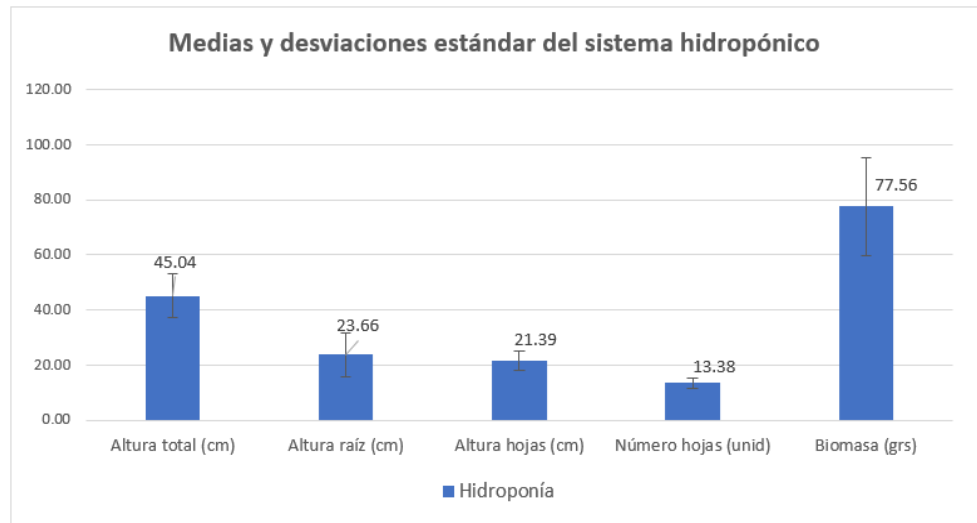
A continuación, se presenta un resumen estadístico de los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema acuapónico, que incluye la media y a desviación estándar.

Tabla 8. Resultados de la evaluación de la producción de lechuga en el sistema hidropónico

| Tipo de sistema | Altura total (cm) | Altura raíz (cm) | Altura hojas (cm) | Número hojas (unid) | Biomasa (g) |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------|
| Hidroponía | 45.04±6.88 | 23.66±5.20 | 21.39±3.28 | 13.38±3.21 | 77.56±29.28 |

Nota: Calculado de la lista de la cosecha de lechuga.

Figura 12. Gráfico de barras de los resultados de la evaluación del cultivo de lechuga bajo el sistema hidropónico



En la tabla 8 y en la figura 12, muestran que, la media de la altura total de las plantas fue de 45.04 cm, altura de la raíz de 23.66 cm y la altura de la hoja de 21.39 cm. Además, se observó un promedio de 13.38 hojas por planta y una biomasa de 77.56 g.

5.1.3. Evaluar la diferencia en la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónicos e hidropónicos

Para determinar la prueba de hipótesis entre el sistema acuapónico e hidropónico, se realizó la prueba de Homocedasticidad (igualdad de varianzas) y la prueba de Kolmogorov-Smirnov (normalidad de los datos) presente en el trabajo de investigación (ver Anexo 3).

De acuerdo a los resultados de las pruebas mencionadas, se realizó las pruebas estadísticas de comparación de dos medias de poblaciones independientes.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9. Resultado de la media y desviación estándar de la lechuga

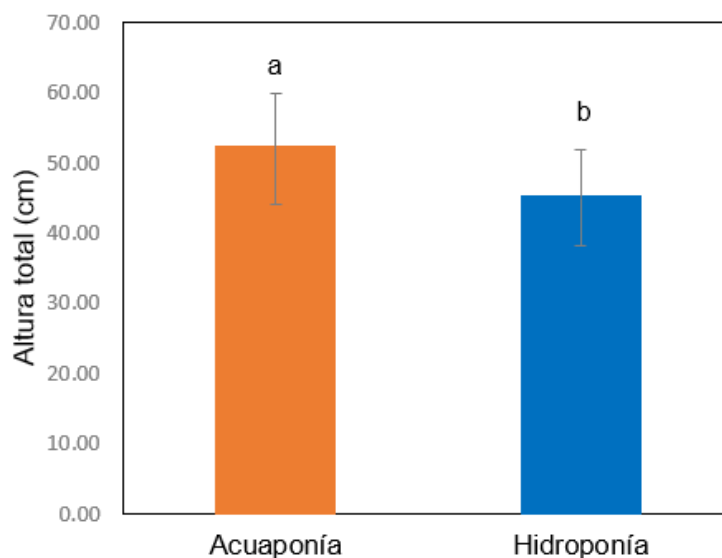
| Sistema de producción | Altura total (cm) | Altura raíz (cm) | Altura hojas (cm) | Número hojas (unidad) | Biomasa (g) |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Acuaponía | 52.03±7.94 ^a | 32.31±7.79 ^m | 19.73±3.44 ^b | 11.30±1.97 ⁿ | 75.29±17.81 ^m |
| Hidroponía | 45.04 ± 6.88 ^b | 23.66±5.20 ⁿ | 21.39±3.28 ^a | 13.38±3.21 ^m | 77.56±29.28 ^m |

Nota: Calculado de la lista de la cosecha de lechuga. Las Letras en superíndice a y b indican que existe diferencia significativa entre los sistemas de producción según el estadístico Mann-Whitney U ($p < 0.05$). Las letras en subíndice m y n indican que existe diferencia significativa entre los sistemas de producción según la prueba T de Welch. El análisis estadístico completo se detalla en el anexo 3.

Se realizó la comparación de los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.

- **Altura total (cm)**

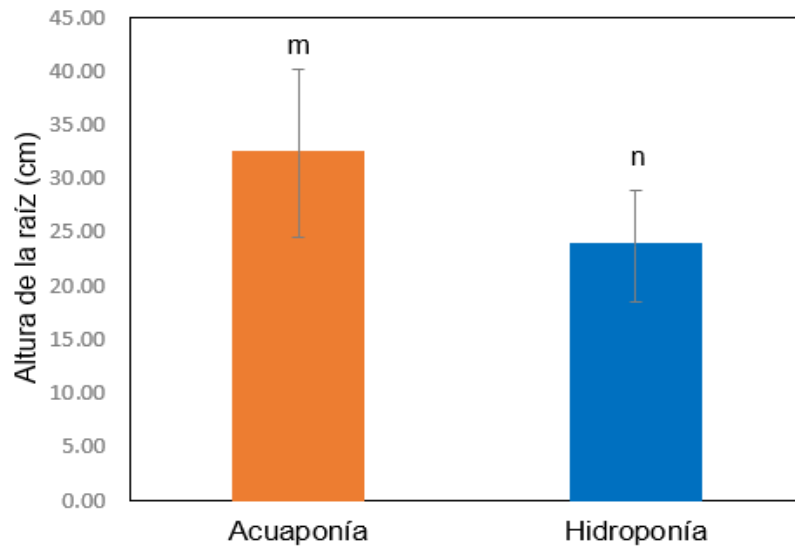
Figura 13. Comparación de la altura total (cm) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.



En el Figura 13, se muestran que el sistema acuapónico presenta una altura media de lechuga significativamente mayor (52.03 cm) en comparación con el sistema hidropónico (45.04 cm). Además, se observa que la desviación estándar en el sistema acuapónico es mayor que el sistema hidropónico, lo que sugiere una mayor variabilidad en la altura total en el sistema acuapónico. Concluyendo que hay una diferencia significativa entre los sistemas acuapónico e hidropónico ($p < 0.05$).

- **Altura de la raíz (cm)**

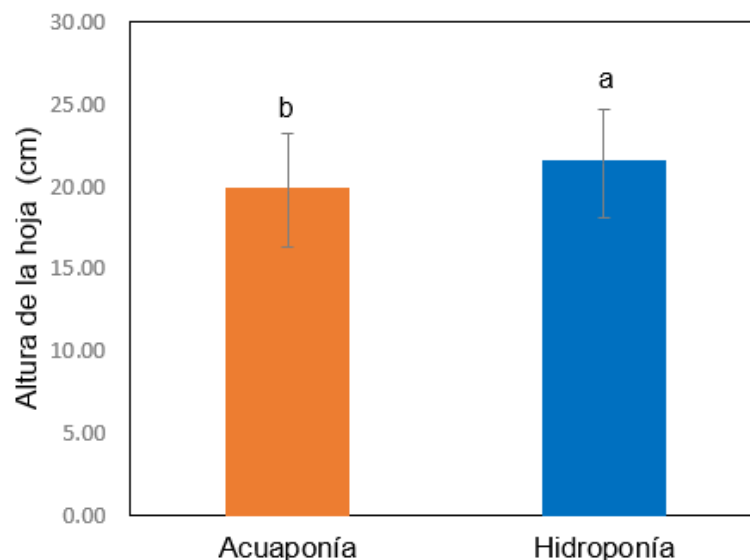
Figura 14. Comparación de la altura de la raíz (cm) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.



En el Figura 14, se muestran que el sistema acuapónico presenta una altura de raíz media de lechuga significativamente mayor (32.31cm) en comparación con el sistema hidropónico (23.66 cm). Además, se observa que la desviación estándar en el sistema acuapónico es mayor que el sistema hidropónico, lo que sugiere una mayor variabilidad en la altura de la raíz en el sistema acuapónico. Concluyendo que hay una diferencia significativa entre los sistemas acuapónico e hidropónico ($p < 0.05$).

- **Altura de la hoja (cm)**

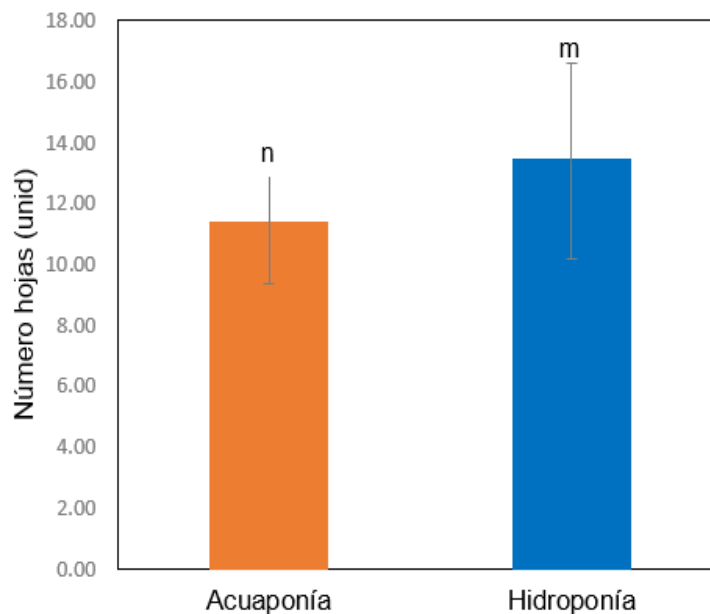
Figura 15. Comparación de la altura de la hoja (cm) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.



En el Figura 15, se muestran que el sistema acuapónico presenta una altura media de hojas de lechuga significativamente menor (19.73 cm) en comparación con el sistema hidropónico (21.39 cm). Además, se observa que la desviación estándar en el sistema acuapónico es mayor que el sistema hidropónico, lo que sugiere una mayor variabilidad en la altura de las hojas en el sistema acuapónico. Concluyendo que hay una diferencia significativa entre los sistemas acuapónico e hidropónico ($p < 0.05$).

- **Número de hojas (unidad)**

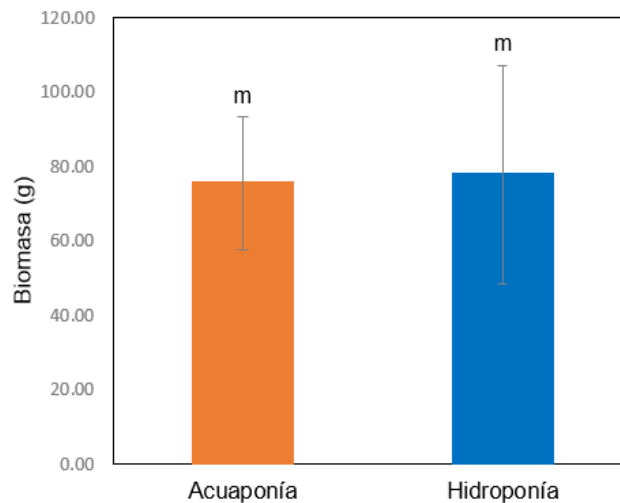
Figura 16. Comparación del número de hojas de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.



En la Figura 16, se muestran que el sistema acuapónico presenta un número medio de hojas de lechuga significativamente menor (11.30 unidad) en comparación con el sistema hidropónico (13.38 unidad). Además, se observa que la desviación estándar en el sistema acuapónico es menor que el sistema hidropónico, lo que indica una mayor variabilidad en la altura de las hojas en el sistema hidropónico. Concluyendo que hay una diferencia significativa entre los sistemas acuapónico e hidropónico ($p < 0.05$).

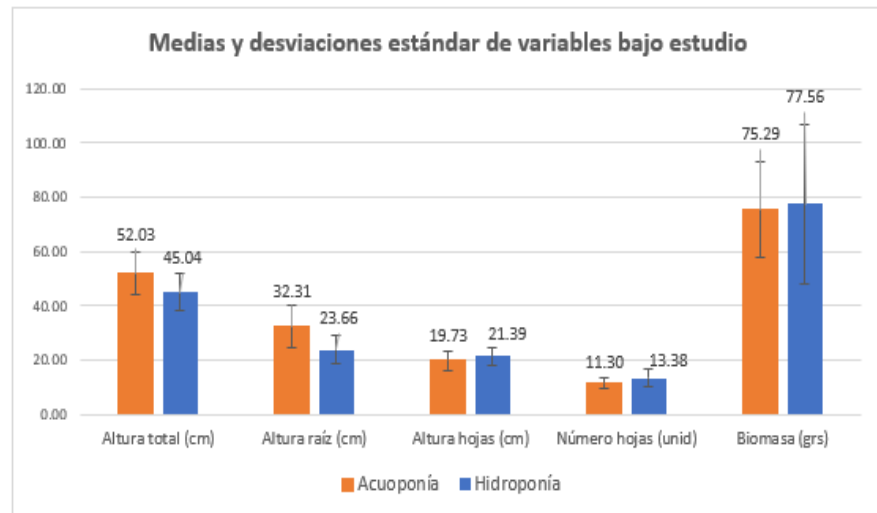
- **Biomasa (g)**

Figura 17. Comparación de la biomasa (g) de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico



En la Figura 17, se muestra que el sistema acuapónico presenta una biomasa media de lechuga ligeramente menor (75.29 g) en comparación con el sistema hidropónico (77.56 g). Además, se observa que la desviación estándar en el sistema acuapónico es menor que en el sistema hidropónico, lo que sugiere una mayor variabilidad en la biomasa en el sistema hidropónico. Sin embargo, los resultados estadísticos indican que no hay una diferencia significativa en la biomasa entre los sistemas acuapónico e hidropónico ($p > 0.05$).

Figura 18. Resumen de comparación de parámetros evaluados de la lechuga bajo el sistema acuapónico e hidropónico.



En la Figura 18, se presenta un resumen de todos los parámetros evaluados del cultivo de lechuga bajo los sistemas acuapónicos e hidropónicos. Este grafico permite visualizar de manera comparativa los resultados obtenidos para uno de los parámetros analizados.

5.2. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias significativas entre los sistemas acuapónico e hidropónico para la producción de lechuga, en línea con estudios previos en contextos similares.

En primer lugar, el sistema acuapónico demostró una mayor altura total promedio de las lechugas ($52.03 \text{ cm} \pm 7.94$) en comparación con el sistema hidropónico ($45.04 \text{ cm} \pm 6.88$). Esta diferencia podría estar relacionada con la dinámica de los nutrientes presentes en el sistema acuapónico, donde los desechos de los peces proporcionan una fuente orgánica que fomenta un crecimiento más robusto. Carranza (2021) reportó un mayor crecimiento en sistemas acuapónicos, lo que concuerda con nuestros resultados. Sin embargo, la biomasa fue ligeramente inferior en el sistema acuapónico (75.29 g) frente al hidropónico (77.56 g), lo cual podría deberse a la menor disponibilidad de nutrientes específicos y controlados en comparación con el sistema hidropónico, donde el suministro es más preciso y constante.

Al revisar las diferencias en las condiciones de los sistemas, se observa que la fuente de agua y la presencia de un pozo de sedimentación podrían influir en la producción de lechuga. En el sistema acuapónico se utiliza agua proveniente de los estanques del Centro Piscícola "El Ingenio", que incluye un pozo de sedimentación para purificar los efluentes antes de entrar al sistema. Por otro lado, en el sistema hidropónico se emplea agua de manantial combinada con una solución nutritiva, lo que elimina la necesidad de sedimentación. Estas diferencias en el tratamiento del agua podrían explicar en parte las variaciones en el crecimiento y la biomasa.

En cuanto al desarrollo radicular, las lechugas en el sistema acuapónico presentaron raíces significativamente más largas ($32.31 \text{ cm} \pm 7.79$) que en el sistema hidropónico ($23.66 \text{ cm} \pm 5.20$). Esto sugiere que el entorno acuapónico, enriquecido con nutrientes orgánicos derivados de los desechos de los peces, favorece el desarrollo radicular. Paye (2022) también observó una mayor eficiencia en el uso de nutrientes en sistemas acuapónicos, lo que apoya nuestros hallazgos. En contraste, las hojas fueron más largas en el sistema hidropónico ($21.39 \text{ cm} \pm 3.28$) en comparación con el sistema acuapónico ($19.73 \text{ cm} \pm 3.44$), probablemente

debido a la formulación específica y precisa de la solución nutritiva en el sistema hidropónico, optimizada para promover el crecimiento de la parte aérea de la planta.

Otra diferencia clave es el método de oxigenación. En el sistema acuapónico, el flujo continuo del agua proporciona oxígeno a las raíces, mientras que en el sistema hidropónico se utiliza un aireador eléctrico, lo que podría influir en las condiciones del entorno radicular y el desarrollo de las plantas. Esta diferencia también podría estar vinculada a los resultados observados en cuanto a la biomasa y el número de hojas, donde el sistema hidropónico produjo un mayor número de hojas (13.38 ± 3.21) y una biomasa ligeramente mayor (77.56 g) en comparación con el sistema acuapónico (11.30 ± 1.97 hojas y 75.29 g de biomasa). Bautista (2021) también reportó un mayor número de hojas en sistemas hidropónicos en comparación con sistemas acuapónicos, lo que es consistente con nuestros resultados.

Asimismo, la fuente de energía utilizada en cada sistema podría ser un factor determinante. El sistema acuapónico no requiere energía eléctrica, ya que depende del flujo natural del agua para la oxigenación y transporte de nutrientes. En contraste, el sistema hidropónico depende de energía eléctrica para el funcionamiento del aireador, lo que podría contribuir a un ambiente más controlado y constante para el crecimiento de las plantas.

Si bien la biomasa fue ligeramente mayor en el sistema hidropónico, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Reyes (2016) también observó variabilidad en sistemas hidropónicos, donde algunas plantas mostraron un rendimiento superior, mientras que otras no prosperaron de igual manera. Por otro lado, la sostenibilidad del sistema acuapónico es evidente, ya que no utiliza energía eléctrica y aprovecha recursos naturales como los desechos de los peces. Tyson et al. (2008) concluyeron que los sistemas acuapónicos son más eficientes en el uso de recursos, aunque los sistemas hidropónicos pueden superar a los acuapónicos en rendimiento bajo condiciones controladas.

En resumen, nuestros resultados indican que el sistema hidropónico es más eficiente en términos de biomasa y crecimiento foliar, mientras que el sistema acuapónico promueve un mayor desarrollo radicular y sostenibilidad en el uso de recursos. La elección entre ambos sistemas dependerá de los objetivos específicos de producción: si se busca maximizar el rendimiento de biomasa, el sistema

hidropónico sería la opción más adecuada; sin embargo, si se prioriza la sostenibilidad y eficiencia de recursos, el sistema acuapónico podría ofrecer mejores ventajas.

Conclusiones

1. Este estudio ha evidenciado diferencias significativas en la producción de lechuga entre los sistemas acuapónico e hidropónico, así como en los aspectos operativos y de gestión de ambos sistemas. En particular, se observó que el sistema acuapónico presenta una mayor altura total y una mayor altura de raíz en comparación con el sistema hidropónico. Este fenómeno puede atribuirse a la disponibilidad de nutrientes derivados del cultivo de peces, lo que sugiere que la integración de efluentes de piscicultura en el sistema acuapónico es una estrategia efectiva para optimizar el uso de agua y nutrientes.

En contraste, el sistema hidropónico mostró mayores rendimientos en términos de altura de hoja, número de hojas y biomasa, gracias a su capacidad para mantener un control preciso y consistente de las condiciones de crecimiento.

2. En el parámetro productivo de altura total (cm) de la lechuga, se encontró una diferencia significativa entre los sistemas acuapónico e hidropónico, con un nivel de significancia $p < 0.05$, según la prueba estadística Mann-Whitney U.
3. Al evaluar el parámetro de altura de la raíz (cm), también se observó una diferencia significativa entre los sistemas, con un nivel de significancia $p < 0.05$, según la prueba T de Welch.
4. En cuanto a la altura de la hoja (cm), se constató una diferencia significativa entre los sistemas acuapónico e hidropónico, con un nivel de significancia $p < 0.05$, según la prueba estadística Mann-Whitney U.
5. Respecto al número de hojas (unid), se determinó que existe una diferencia significativa entre los dos sistemas, con un nivel de significancia $p < 0.05$, utilizando la prueba T de Welch.
6. En el caso de la biomasa (g) de la lechuga, se encontró que no hay una diferencia significativa entre los sistemas acuapónico e hidropónico, con un nivel de significancia $p > 0.05$, según la prueba T de Welch.

Recomendaciones

1. A los acuicultores para que reutilicen los afluentes que salen de sus piscigranjas con gran cantidad de nutrientes que pueden servir como fertilizante para las plantas. La integración de la acuicultura con la hidroponía no solo optimiza el uso de estos recursos, sino que también permite la purificación del agua, reduciendo así el impacto ambiental asociado con la contaminación de cuerpos de agua externos. Además, esta combinación fomenta un ciclo sostenible, mejorando la eficiencia en el uso de agua y nutrientes, y contribuyendo a la producción de alimentos más sanos y sostenibles.
2. A los agricultores se les sugiere implementar tecnologías innovadoras, como la hidroponía o acuaponía que representa un avance significativo hacia una producción de alimentos más segura, eficiente y sostenible, minimizando el uso de los recursos y el impacto ambiente, promoviendo así una agricultura más responsable.
3. Se alienta a la población urbana a establecer áreas de cultivo, como sistemas hidropónicos, dentro de sus hogares. Esta iniciativa permitirá obtener alimentos más frescos y saludables, además de fomentar la autosuficiencia y la seguridad alimentaria en la comunidad. La implementación de cultivos urbanos no solo beneficia a las familias, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la dependencia de productos agrícolas convencionales.
4. Se sugiere que las municipalidades provinciales y distritales creen proyectos integrados que utilicen tanto la acuaponía como la hidroponía con el fin de mejorar la producción y sostenibilidad de los alimentos.
5. Se recomienda que las instituciones educativas y organizaciones agrarias ofrezcan programas de capacitación sobre técnicas de acuaponía e hidroponía. Esto permitirá que los productores adquieran habilidades y conocimientos necesarios para implementar y gestionar eficazmente estos sistemas.

Referencias Bibliográficas

- Alcarraz, Q. E., Tapia, F. M., Bustamante, A., Tapia, O., Wacyk, J., & Escalona, V. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Anales Científicos*, 79.
- Arias Gonzales, J. L., & Covino Gallardo, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Enfoques Consulting EIRL. <https://enfocesconsulting.com/libros/disenyo-y-metodologia-de-la-investigacion>
- Arregui Maraver, L. (2013). El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Fundación Observatorio Español de Acuicultura.
- Arriaza, A., & Martínez, J. (2009). Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos, Zamorano, Honduras].
- Ávila Cubillos, E. (2015). Lechuga. Cámara de Comercio de Bogotá.
- Bautista Olivas, A. L., Fernández, D. R., Álvarez Chávez, C. R., Sánchez Mexia, A. C., Mendoza-Cariño, M., & García Cabello, K. (2021). Productividad de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) en acuaponía e hidroponía. *European Scientific Journal*, ESJ, 17(21), 283. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n21p283>
- Bedriñana Sosa, M. (2010). Adición de enzimas en dietas con niveles de energía en el desarrollo en fase engorde de trucha arco iris ingenio-2010. [Tesis de maestría, Universidad [Nombre de la universidad]].
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). Cultivo en Hidroponía. Editorial de la Universidad de La Plata.
- Blanco Cachafeiro, M. (1995). La trucha cría industrial. Ediciones Mundi–Prensa.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1966). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Chicago: Rand McNally.
- Carranza Goicochea, J. A. d. P. A. S. I. e. L., Oliva Bacalla, S. B. A. d. P. A. S. I. e. L., Oliva Valle, J. M. A. d. P. A. S. I. e. L., Rimachi Pinedo, S. Y. A. d. P. A. S. I. e. L., & Diaz Bernal, J. D. A. d. P. A. S. I. e. L. (2021). Determinación de la simbiosis de tres densidades de cultivo de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y cuatro variedades de lechugas (*Lactuca sativa*), instalados en

sistema acuapónico con tecnología de recirculación de agua, distrito Corosha, Amazonas.

- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). Manual Técnico La empresa Hidroponica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT). Universidad de Talca.
- Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. (2002). Carlos Baixauli Soria, José M. Aguilar olivert.
- FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura 589. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala. Cultivo integral de peces y plantas. Autores: Christopher Somerville, Moti Cohen, Edoardo Pantanella, Austin Stankus, Alessandro Lavatelli. Organización de la alimentación y agricultura de las naciones unidas, Roma.
- FONDEPES. (2006). Manual de cultivo de truchas Arco Iris en jaulas. Fondo Nacional de desarrollo pesquero – FONDEPES -AECI/PADESPA.
- INDECOPI. (2009). Norma técnica Peruana NTP 320.001:2009. Acuicultura. Terminología y definiciones.
- Lee, R., & Escobar, H. (2000). Manual de producción de lechuga lisa bajo invernadero. No. Doc. 22545 CO-BAC, Bogotá.
- Marulanda, C., & Izquierdo, J. (2003). Manual técnico la Huerta Hidropónica Popular. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Metodología de la investigación. (1991). Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, Pilar Baptista Lucio.
- Ministerio de la Producción. (2022). Manual para una acuicultura sostenible de cultivo de trucha.
- Ortega López, N., & Trejo Téllez, L. I. (2015). Evaluación de la eficiencia de un sistema acuapónico rústico de tilapia y tomate. Revista Agroproductividad.
- Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., & Marcucci, A. (2012). Acuaponía vs. Hidroponía: Producción y calidad del cultivo de lechuga. Acta Horticulturae, 927, 887-893. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.927.109.
- Paye Sonco, M. (2022). Eficiencia de un sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en Ollaraya, región Puno. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann].

- Pérez, L. (2007). *Hidroponía en casa*. 1ra ed. Costa Rica: Editorial Corazón Verde.
- Pizarro, B. V., Jana, A. C., Ibacache, A. G., Contreras, S. C., Leris, G. L., & Alfaro, E. V. (2019). Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF); Diseño, construcción y costos [en línea]. Informativo INIA Intihuasi, no. 85.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Hurtado, H. (2008). *La acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Reyes-Flores, M., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, N., Trejo-Téllez, L. I., Sánchez-Escudero, J., & Reta-Mendiola, J. (2016). Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para producción de *Solanum lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3529-3542.
- Ronzón-Ortega, M., Hernández-Vergara, M. P., & Pérez-Rostro, C. I. (2012). Producción hidropónica y acuapónica de albahaca (*Ocimum basilicum*) y langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(2).
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2022). *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala –Cultivo integral de peces y plantas*. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589. FAO, Roma.
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., & Díaz-Rodríguez, M. (2017). *Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias*. Guatemala: Editorial Serviprensa.
- Víctor Hugo Moraes, P. R. Giongo, F. de Freitas Silva, M. Mesquita, J. P. de Abreu, & A. D. Pereira. (2020). Evaluación de sistemas acuapónicos en la producción de lechuga. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*.
- Zárate Aquino, M. (2014). *Manual de Hidroponía*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zavala Aulla, E. (2019). Evaluación del sistema acuapónico de trucha y la hidroponía en la producción de forraje verde de cebada, Abancay – Apurímac – 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes].

Anexos 1: Matriz de Consistencia

| "EVALUACIÓN DEL SISTEMA ACUAPÓNICO E HIDROPÓNICO EN PRODUCCIÓN DE LECHUGAS (<i>Lactuca sativa</i> L), EN CENTRO PISCÍCOLA EL INGENIO, HUANCAYO- 2023" | | | | | | |
|--|--|---|--------------------------------------|---------------------|--|----------------------|
| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPÓTESIS | VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | ESCALA DE EVALUACIÓN |
| General | General | General | V1: Sistema de producción de lechuga | Sistema acuapónico | <ul style="list-style-type: none"> • Altura total • Altura de raíz • Altura de hoja • Número de hojas • Biomasa | Razón |
| ¿Qué diferencia existe en la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónico e hidropónico en el Centro Piscícola "El Ingenio", Huancayo, 2023? | Evaluar la diferencia en la producción de lechuga utilizando los sistemas acuapónicos e hidropónicos en el Centro Piscícola "El Ingenio" Huancayo, 2023. | Existe una diferencia significativa en la producción del cultivo de lechuga entre el sistema acuapónico e hidropónico en el Centro Piscícola "El Ingenio", Huancayo, 2023. | | | | |
| Específico | Específico | Específico | | Sistema hidropónico | <ul style="list-style-type: none"> • Altura total • Altura de raíz • Altura de hoja • Número de hojas • Biomasa | Razón |
| ¿Cuáles son los parámetros productivos en la producción de lechuga bajo el sistema acuapónico en el Centro Piscícola "El Ingenio", Huancayo, 2023? | Evaluar los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema acuapónico en el Centro Piscícola "El Ingenio", Huancayo, 2023. | La producción de lechugas bajo el sistema acuapónico no presenta parámetros productivos significativamente diferentes en términos de altura total (cm), altura de la raíz (cm), altura de la hoja (cm), número de hojas (unidad) y biomasa (g) en comparación con el sistema hidropónico. | | | | |
| ¿Cuáles son los parámetros productivos en la producción de lechuga bajo el sistema hidropónico en el Centro Piscícola "El Ingenio", Huancayo, 2023? | Evaluar los parámetros productivos en el cultivo de lechuga bajo el sistema hidropónico en el Centro Piscícola "El Ingenio", Huancayo, 2023. | La producción de lechugas bajo el sistema hidropónico presenta parámetros productivos significativamente diferentes en términos de altura total (cm), altura de la raíz (cm), altura de la hoja (cm), número de hojas (unidad) y biomasa (g) en comparación con el sistema acuapónico. | | | | |

| | | | | | | |
|---------------------------|--|---|--|--|--|--|
| Ingenio”, Huancayo, 2023? | Centro Piscícola “El Ingenio”, Huancayo, 2023. | altura de la hoja (cm), número de hojas (unidad) y biomasa (g) en comparación con el sistema hidropónico. | | | | |
| METODOLOGÍA | | | | | | |
| Método | Cuantitativo | | | | | |
| Tipo o alcance | Experimental | | | | | |
| Diseño | Experimental Clásico | | | | | |
| Población | Las lechugas | | | | | |
| Muestra | 180 lechugas por cada sistema | | | | | |

Anexo 2: Ficha de recolección de datos

Ficha de recolección de datos de la evaluación del desarrollo productivo de la lechuga: *Se desarrollado el día 23 de septiembre del 2023.*

Tabla 10. Ficha de recolección de datos en el sistema acuapónico

| Recolección de datos del sistema acuapónico | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------|--------------|
| N° Muestras | Datos | Muestra / bandeja | Altura total (cm) | Altura raíz (cm) | Altura hojas (cm) | N° de hojas | Biomasa (gr) |
| 1 | | 1 | 53 | 30 | 23 | 13 | 89 |
| 2 | | 2 | 41 | 23 | 18 | 8 | 64 |
| 3 | | 3 | 63 | 36 | 27 | 10 | 97 |
| 4 | | 4 | 51 | 30 | 21 | 12 | 77 |
| 5 | | 5 | 53 | 34 | 19 | 8 | 79 |
| 6 | | 6 | 52 | 27 | 25 | 13 | 105 |
| 7 | | 7 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 8 | | 8 | 51 | 34 | 17 | 9 | 51 |
| 9 | | 9 | 55 | 30 | 25 | 10 | 80 |
| 10 | | 10 | 40 | 22 | 18 | 10 | 62 |
| 11 | | 11 | 53 | 31 | 22 | 13 | 79 |
| 12 | | 12 | 47 | 27 | 20 | 9 | 57 |
| 13 | | 13 | 51 | 30 | 21 | 12 | 79 |
| 14 | | 14 | 51 | 31 | 20 | 11 | 72 |
| 15 | | 15 | 48 | 30 | 18 | 11 | 68 |
| 16 | | 16 | 39 | 19 | 20 | 12 | 57 |
| 17 | | 17 | 56 | 43 | 13 | 13 | 77 |
| 18 | | 18 | 53 | 34 | 19 | 8 | 79 |
| 19 | | 19 | 60 | 40 | 20 | 11 | 61 |
| 20 | | 20 | 53 | 34 | 19 | 13 | 79 |
| 21 | | 1 | 53 | 36 | 17 | 9 | 63 |
| 22 | | 2 | 66 | 45 | 21 | 14 | 79 |
| 23 | | 3 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 24 | | 4 | 58 | 38 | 20 | 11 | 76 |
| 25 | | 5 | 44 | 27 | 17 | 11 | 56 |
| 26 | | 6 | 56 | 39 | 17 | 13 | 61 |
| 27 | | 7 | 53 | 33 | 20 | 12 | 67 |
| 28 | | 8 | 57 | 36 | 21 | 15 | 83 |
| 29 | | 9 | 53 | 33 | 20 | 11 | 62 |
| 30 | | 10 | 66 | 52 | 14 | 14 | 63 |
| 31 | | 11 | 50 | 32 | 18 | 14 | 91 |
| 32 | | 12 | 53 | 32 | 21 | 13 | 82 |
| 33 | | 13 | 61 | 45 | 16 | 15 | 128 |
| 34 | | 14 | 52 | 30 | 22 | 14 | 78 |
| 35 | | 15 | 46 | 25 | 21 | 13 | 80 |
| 36 | | 16 | 44 | 25 | 19 | 13 | 78 |
| 37 | | 17 | 39 | 24 | 15 | 17 | 64 |
| 38 | | 18 | 57 | 36 | 21 | 15 | 83 |
| 39 | | 19 | 41 | 22 | 19 | 10 | 60 |

| | | | | | | | |
|----|---------------------|----|----|----|----|----|-----|
| 40 | | 20 | 37 | 20 | 17 | 15 | 68 |
| 41 | | 1 | 54 | 31 | 23 | 16 | 105 |
| 42 | | 2 | 64 | 35 | 29 | 10 | 97 |
| 43 | | 3 | 48 | 35 | 13 | 11 | 76 |
| 44 | | 4 | 37 | 18 | 19 | 10 | 47 |
| 45 | | 5 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 46 | | 6 | 47 | 26 | 21 | 12 | 90 |
| 47 | | 7 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 48 | | 8 | 41 | 23 | 18 | 15 | 65 |
| 49 | | 9 | 42 | 25 | 17 | 9 | 93 |
| 50 | | 10 | 56 | 32 | 24 | 9 | 59 |
| 51 | | 11 | 49 | 32 | 17 | 11 | 64 |
| 52 | | 12 | 57 | 33 | 24 | 8 | 53 |
| 53 | | 13 | 59 | 34 | 25 | 10 | 97 |
| 54 | Artesa 1_ bandeja_3 | 14 | 49 | 24 | 25 | 11 | 90 |
| 55 | | 15 | 49 | 28 | 21 | 10 | 49 |
| 56 | | 16 | 48 | 32 | 16 | 9 | 57 |
| 57 | | 17 | 52 | 33 | 19 | 11 | 73 |
| 58 | | 18 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 59 | | 19 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 60 | | 20 | 46 | 32 | 14 | 9 | 59 |
| 61 | | 1 | 51 | 31 | 20 | 12 | 70 |
| 62 | | 2 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 63 | | 3 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 64 | | 4 | 60 | 43 | 17 | 14 | 102 |
| 65 | | 5 | 50 | 27 | 23 | 11 | 112 |
| 66 | | 6 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 67 | | 7 | 75 | 53 | 22 | 11 | 66 |
| 68 | | 8 | 54 | 33 | 21 | 10 | 56 |
| 69 | | 9 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 70 | | 10 | 51 | 30 | 21 | 7 | 62 |
| 71 | | 11 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 72 | | 12 | 53 | 31 | 22 | 12 | 79 |
| 73 | | 13 | 47 | 27 | 20 | 9 | 57 |
| 74 | Artesa 2_ bandeja_1 | 14 | 51 | 30 | 21 | 12 | 79 |
| 75 | | 15 | 51 | 31 | 20 | 11 | 72 |
| 76 | | 16 | 54 | 33 | 21 | 9 | 56 |
| 77 | | 17 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 78 | | 18 | 51 | 30 | 21 | 7 | 62 |
| 79 | | 19 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 80 | | 20 | 53 | 31 | 22 | 12 | 79 |
| 81 | | 1 | 48 | 26 | 22 | 11 | 50 |
| 82 | | 2 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 83 | | 3 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 84 | | 4 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 85 | | 5 | 75 | 53 | 22 | 11 | 66 |
| 86 | | 6 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 87 | Artesa 2_ bandeja_2 | 7 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |

| | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|-----|
| 88 | 8 | 75 | 53 | 22 | 11 | 66 |
| 89 | 9 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 90 | 10 | 75 | 53 | 22 | 11 | 66 |
| 91 | 11 | 52 | 31 | 21 | 11 | 53 |
| 92 | 12 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 93 | 13 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 94 | 14 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 95 | 15 | 60 | 43 | 17 | 14 | 101 |
| 96 | 16 | 37 | 18 | 19 | 9 | 60 |
| 97 | 17 | 38 | 20 | 18 | 11 | 46 |
| 98 | 18 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 99 | 19 | 49 | 27 | 22 | 13 | 78 |
| 100 | 20 | 47 | 28 | 19 | 10 | 47 |
| 101 | 1 | 48 | 26 | 22 | 11 | 50 |
| 102 | 2 | 44 | 28 | 16 | 10 | 49 |
| 103 | 3 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 104 | 4 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 105 | 5 | 75 | 53 | 22 | 11 | 66 |
| 106 | 6 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 107 | 7 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 108 | 8 | 75 | 53 | 22 | 11 | 66 |
| 109 | 9 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 110 | 10 | 75 | 53 | 22 | 11 | 66 |
| 111 | 11 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 112 | 12 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 113 | 13 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 114 | 14 | 60 | 43 | 17 | 14 | 104 |
| 115 | 15 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 116 | 16 | 37 | 18 | 19 | 9 | 60 |
| 117 | 17 | 38 | 20 | 18 | 11 | 46 |
| 118 | 18 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 119 | 19 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 120 | 20 | 60 | 43 | 17 | 14 | 102 |
| 121 | 1 | 49 | 25 | 24 | 13 | 107 |
| 122 | 2 | 39 | 21 | 18 | 12 | 33 |
| 123 | 3 | 44 | 23 | 21 | 15 | 96 |
| 124 | 4 | 54 | 32 | 22 | 12 | 61 |
| 125 | 5 | 61 | 42 | 19 | 11 | 105 |
| 126 | 6 | 60 | 47 | 13 | 15 | 76 |
| 127 | 7 | 39 | 17 | 22 | 12 | 74 |
| 128 | 8 | 54 | 31 | 23 | 13 | 134 |
| 129 | 9 | 44 | 23 | 21 | 13 | 76 |
| 130 | 10 | 65 | 50 | 15 | 11 | 110 |
| 131 | 11 | 53 | 34 | 19 | 10 | 73 |
| 132 | 12 | 50 | 29 | 21 | 12 | 64 |
| 133 | 13 | 57 | 39 | 18 | 10 | 101 |
| 134 | 14 | 55 | 26 | 29 | 12 | 107 |
| 135 | 15 | 64 | 50 | 14 | 11 | 63 |

Artesa 2_ bandeja_3

Artesa 3_ bandeja_1

| | | | | | | | |
|-----|--|----|----|----|----|----|-----|
| 136 | | 16 | 57 | 33 | 24 | 14 | 90 |
| 137 | | 17 | 54 | 34 | 20 | 13 | 70 |
| 138 | | 18 | 58 | 41 | 17 | 11 | 60 |
| 139 | | 19 | 63 | 36 | 27 | 11 | 43 |
| 140 | | 20 | 50 | 38 | 12 | 9 | 50 |
| 141 | | 1 | 54 | 31 | 23 | 16 | 105 |
| 142 | | 2 | 64 | 35 | 29 | 10 | 97 |
| 143 | | 3 | 50 | 30 | 20 | 11 | 76 |
| 144 | | 4 | 37 | 18 | 19 | 10 | 47 |
| 145 | | 5 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 146 | | 6 | 47 | 26 | 21 | 12 | 90 |
| 147 | | 7 | 54 | 36 | 18 | 10 | 86 |
| 148 | | 8 | 41 | 23 | 18 | 15 | 65 |
| 149 | | 9 | 42 | 25 | 17 | 9 | 93 |
| 150 | | 10 | 56 | 32 | 24 | 9 | 59 |
| 151 | | 11 | 49 | 32 | 17 | 11 | 64 |
| 152 | | 12 | 57 | 33 | 24 | 7 | 53 |
| 153 | | 13 | 59 | 34 | 25 | 10 | 97 |
| 154 | | 14 | 49 | 24 | 25 | 11 | 90 |
| 155 | | 15 | 49 | 28 | 21 | 10 | 49 |
| 156 | | 16 | 48 | 32 | 16 | 9 | 57 |
| 157 | | 17 | 52 | 33 | 19 | 11 | 73 |
| 158 | | 18 | 55 | 34 | 21 | 8 | 49 |
| 159 | | 19 | 49 | 24 | 25 | 11 | 76 |
| 160 | | 20 | 46 | 32 | 14 | 9 | 59 |
| 161 | | 1 | 61 | 45 | 16 | 15 | 128 |
| 162 | | 2 | 52 | 30 | 22 | 14 | 78 |
| 163 | | 3 | 46 | 25 | 21 | 13 | 80 |
| 164 | | 4 | 44 | 25 | 19 | 13 | 78 |
| 165 | | 5 | 39 | 24 | 15 | 17 | 64 |
| 166 | | 6 | 48 | 19 | 29 | 11 | 76 |
| 167 | | 7 | 41 | 22 | 19 | 10 | 60 |
| 168 | | 8 | 37 | 20 | 17 | 15 | 68 |
| 169 | | 9 | 46 | 30 | 16 | 13 | 52 |
| 170 | | 10 | 48 | 26 | 22 | 11 | 50 |
| 171 | | 11 | 48 | 40 | 8 | 11 | 76 |
| 172 | | 12 | 46 | 30 | 16 | 13 | 52 |
| 173 | | 13 | 64 | 35 | 29 | 10 | 97 |
| 174 | | 14 | 48 | 38 | 10 | 11 | 76 |
| 175 | | 15 | 46 | 26 | 20 | 12 | 51 |
| 176 | | 16 | 42 | 26 | 16 | 11 | 42 |
| 177 | | 17 | 41 | 23 | 18 | 15 | 65 |
| 178 | | 18 | 47 | 28 | 19 | 11 | 76 |
| 179 | | 19 | 64 | 35 | 29 | 10 | 97 |
| 180 | | 20 | 52 | 31 | 21 | 11 | 53 |

Artesa 3_bandeja_2

Artesa 3_bandeja_3

Tabla 11. Ficha de recolección de datos en el sistema hidropónico

| Recolección de Datos del sistema hidropónico | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------|--------------|
| N° Muestras | Datos | Muestra / bandeja | Altura total (cm) | Altura Raíz (cm) | Altura Hojas (cm) | N° de Hojas | Biomasa (gr) |
| 1 | | 1 | 42 | 22 | 20 | 17 | 49 |
| 2 | | 2 | 46 | 24 | 22 | 18 | 101 |
| 3 | | 3 | 58 | 28 | 30 | 11 | 63 |
| 4 | | 4 | 52 | 26 | 26 | 19 | 104 |
| 5 | | 5 | 43 | 21 | 22 | 14 | 68 |
| 6 | | 6 | 58 | 32 | 26 | 17 | 69 |
| 7 | | 7 | 41 | 15 | 26 | 16 | 69 |
| 8 | | 8 | 46 | 20 | 26 | 14 | 61 |
| 9 | | 9 | 45 | 18 | 27 | 13 | 21 |
| 10 | | 10 | 53 | 29 | 24 | 10 | 58 |
| 11 | | 11 | 41 | 24 | 17 | 14 | 55 |
| 12 | | 12 | 32 | 17 | 15 | 17 | 70 |
| 13 | | 13 | 40 | 20 | 20 | 15 | 65 |
| 14 | | 14 | 33 | 14 | 19 | 17 | 67 |
| 15 | | 15 | 43 | 22 | 21 | 10 | 41 |
| 16 | | 16 | 40 | 16 | 24 | 12 | 52 |
| 17 | | 17 | 38 | 18 | 20 | 11 | 41 |
| 18 | | 18 | 36 | 15 | 21 | 18 | 76 |
| 19 | | 19 | 34 | 15 | 19 | 17 | 51 |
| 20 | | 20 | 37 | 17 | 20 | 18 | 60 |
| 21 | | 1 | 53 | 28 | 25 | 8 | 53 |
| 22 | | 2 | 42 | 19 | 23 | 13 | 103 |
| 23 | | 3 | 43 | 20 | 23 | 12 | 69 |
| 24 | | 4 | 45 | 22 | 23 | 13 | 65 |
| 25 | | 5 | 58 | 38 | 20 | 17 | 63 |
| 26 | | 6 | 54 | 28 | 26 | 11 | 63 |
| 27 | | 7 | 45 | 23 | 22 | 10 | 45 |
| 28 | | 8 | 36 | 20 | 16 | 10 | 38 |
| 29 | | 9 | 36 | 15 | 21 | 18 | 76 |
| 30 | | 10 | 45 | 24 | 21 | 13 | 94 |
| 31 | | 11 | 50 | 26 | 24 | 12 | 106 |
| 32 | | 12 | 35 | 16 | 19 | 9 | 44 |
| 33 | | 13 | 45 | 22 | 23 | 13 | 75 |
| 34 | | 14 | 58 | 38 | 20 | 17 | 63 |
| 35 | | 15 | 36 | 15 | 21 | 18 | 76 |
| 36 | | 16 | 35 | 16 | 19 | 9 | 40 |
| 37 | | 17 | 35 | 18 | 17 | 11 | 41 |
| 38 | | 18 | 40 | 24 | 16 | 17 | 43 |
| 39 | | 19 | 35 | 20 | 15 | 10 | 56 |
| 40 | | 20 | 35 | 21 | 17 | 12 | 46 |
| 41 | | 1 | 42 | 26 | 16 | 8 | 44 |
| 42 | | 2 | 40 | 19 | 21 | 13 | 78 |
| 43 | | 3 | 40 | 22 | 18 | 9 | 54 |

| | | | | | | | |
|----|--|----|----|----|----|----|-----|
| 44 | | 4 | 49 | 25 | 24 | 15 | 153 |
| 45 | | 5 | 51 | 27 | 24 | 13 | 116 |
| 46 | | 6 | 54 | 30 | 24 | 9 | 60 |
| 47 | | 7 | 50 | 25 | 25 | 14 | 122 |
| 48 | | 8 | 58 | 32 | 26 | 17 | 126 |
| 49 | | 9 | 51 | 26 | 25 | 12 | 133 |
| 50 | | 10 | 53 | 30 | 23 | 11 | 74 |
| 51 | | 11 | 42 | 21 | 21 | 12 | 80 |
| 52 | | 12 | 44 | 23 | 21 | 11 | 59 |
| 53 | | 13 | 38 | 15 | 23 | 12 | 54 |
| 54 | | 14 | 44 | 24 | 20 | 12 | 143 |
| 55 | | 15 | 44 | 28 | 16 | 11 | 47 |
| 56 | | 16 | 46 | 30 | 16 | 11 | 59 |
| 57 | | 17 | 40 | 19 | 21 | 10 | 92 |
| 58 | | 18 | 44 | 25 | 19 | 11 | 64 |
| 59 | | 19 | 49 | 25 | 24 | 15 | 153 |
| 60 | | 20 | 51 | 27 | 24 | 13 | 116 |
| 61 | | 1 | 35 | 16 | 19 | 13 | 40 |
| 62 | | 2 | 47 | 24 | 23 | 16 | 62 |
| 63 | | 3 | 32 | 19 | 13 | 13 | 49 |
| 64 | | 4 | 36 | 15 | 21 | 16 | 62 |
| 65 | | 5 | 37 | 19 | 18 | 13 | 64 |
| 66 | | 6 | 36 | 20 | 16 | 19 | 63 |
| 67 | | 7 | 36 | 17 | 19 | 14 | 53 |
| 68 | | 8 | 39 | 18 | 21 | 19 | 70 |
| 69 | | 9 | 38 | 19 | 19 | 13 | 42 |
| 70 | | 10 | 40 | 24 | 16 | 17 | 43 |
| 71 | | 11 | 35 | 20 | 15 | 11 | 56 |
| 72 | | 12 | 42 | 26 | 16 | 17 | 73 |
| 73 | | 13 | 38 | 22 | 16 | 14 | 50 |
| 74 | | 14 | 35 | 17 | 18 | 12 | 58 |
| 75 | | 15 | 32 | 15 | 17 | 12 | 49 |
| 76 | | 16 | 43 | 20 | 23 | 17 | 72 |
| 77 | | 17 | 45 | 26 | 19 | 21 | 72 |
| 78 | | 18 | 38 | 16 | 22 | 12 | 48 |
| 79 | | 19 | 40 | 21 | 19 | 22 | 74 |
| 80 | | 20 | 31 | 14 | 17 | 14 | 46 |
| 81 | | 1 | 42 | 26 | 16 | 8 | 44 |
| 82 | | 2 | 40 | 19 | 21 | 13 | 78 |
| 83 | | 3 | 40 | 22 | 18 | 9 | 54 |
| 84 | | 4 | 49 | 25 | 24 | 15 | 132 |
| 85 | | 5 | 51 | 27 | 24 | 13 | 116 |
| 86 | | 6 | 54 | 30 | 24 | 9 | 60 |
| 87 | | 7 | 50 | 25 | 25 | 14 | 122 |
| 88 | | 8 | 58 | 32 | 26 | 17 | 126 |
| 89 | | 9 | 51 | 26 | 25 | 12 | 123 |
| 90 | | 10 | 53 | 30 | 23 | 11 | 74 |
| 91 | | 11 | 42 | 21 | 21 | 12 | 80 |

Artesa 2_bandeja_1

Artesa 2_bandeja_2

| | | | | | | | |
|-----|---------------------------|----|----|----|----|----|-----|
| 92 | | 12 | 44 | 23 | 21 | 11 | 59 |
| 93 | | 13 | 53 | 30 | 23 | 11 | 74 |
| 94 | | 14 | 44 | 24 | 20 | 12 | 143 |
| 95 | | 15 | 44 | 28 | 16 | 11 | 47 |
| 96 | | 16 | 46 | 30 | 16 | 11 | 59 |
| 97 | | 17 | 40 | 19 | 21 | 10 | 92 |
| 98 | | 18 | 44 | 25 | 19 | 11 | 64 |
| 99 | | 19 | 49 | 25 | 24 | 15 | 153 |
| 100 | | 20 | 44 | 24 | 20 | 12 | 111 |
| 101 | | 1 | 42 | 26 | 16 | 8 | 44 |
| 102 | | 2 | 40 | 19 | 21 | 13 | 78 |
| 103 | | 3 | 40 | 22 | 18 | 9 | 54 |
| 104 | | 4 | 49 | 25 | 24 | 15 | 143 |
| 105 | | 5 | 51 | 27 | 24 | 13 | 116 |
| 106 | | 6 | 54 | 30 | 24 | 9 | 60 |
| 107 | Artesa 2_bandeja_3 | 7 | 50 | 25 | 25 | 14 | 122 |
| 108 | | 8 | 58 | 32 | 26 | 17 | 126 |
| 109 | | 9 | 51 | 26 | 25 | 12 | 133 |
| 110 | | 10 | 53 | 30 | 23 | 13 | 91 |
| 111 | | 11 | 42 | 21 | 21 | 12 | 80 |
| 112 | | 12 | 44 | 23 | 21 | 11 | 59 |
| 113 | | 13 | 42 | 22 | 20 | 10 | 92 |
| 114 | | 14 | 44 | 24 | 20 | 12 | 143 |
| 115 | | 15 | 44 | 28 | 16 | 11 | 47 |
| 116 | | 16 | 46 | 30 | 16 | 11 | 59 |
| 117 | | 17 | 40 | 19 | 21 | 10 | 92 |
| 118 | | 18 | 44 | 25 | 19 | 11 | 64 |
| 119 | | 19 | 48 | 24 | 24 | 15 | 152 |
| 120 | | 20 | 51 | 28 | 23 | 13 | 117 |
| 121 | | 1 | 36 | 17 | 19 | 14 | 63 |
| 122 | | 2 | 39 | 18 | 21 | 19 | 70 |
| 123 | | 3 | 38 | 19 | 19 | 13 | 62 |
| 124 | | 4 | 40 | 24 | 16 | 17 | 43 |
| 125 | | 5 | 35 | 20 | 15 | 10 | 76 |
| 126 | | 6 | 54 | 30 | 24 | 14 | 60 |
| 127 | Artesa 3_bandeja_1 | 7 | 50 | 25 | 25 | 14 | 120 |
| 128 | | 8 | 58 | 32 | 26 | 17 | 125 |
| 129 | | 9 | 51 | 26 | 25 | 12 | 128 |
| 130 | | 10 | 43 | 20 | 23 | 17 | 72 |
| 131 | | 11 | 45 | 26 | 19 | 21 | 72 |
| 132 | | 12 | 38 | 16 | 22 | 12 | 48 |
| 133 | | 13 | 40 | 21 | 19 | 22 | 74 |
| 134 | | 14 | 41 | 19 | 22 | 15 | 73 |
| 135 | | 15 | 40 | 20 | 20 | 14 | 53 |
| 136 | | 16 | 39 | 18 | 21 | 19 | 70 |
| 137 | | 17 | 40 | 18 | 22 | 24 | 89 |
| 138 | | 18 | 55 | 26 | 29 | 23 | 123 |
| 139 | 19 | 35 | 16 | 19 | 15 | 75 | |

| | | | | | | | |
|-----|--|----|----|----|----|----|-----|
| 140 | | 20 | 50 | 30 | 20 | 12 | 94 |
| 141 | | 1 | 54 | 30 | 24 | 10 | 60 |
| 142 | | 2 | 50 | 25 | 25 | 14 | 122 |
| 143 | | 3 | 58 | 32 | 26 | 17 | 126 |
| 144 | | 4 | 51 | 26 | 25 | 12 | 123 |
| 145 | | 5 | 42 | 19 | 23 | 13 | 103 |
| 146 | | 6 | 54 | 28 | 26 | 13 | 73 |
| 147 | | 7 | 45 | 22 | 23 | 13 | 65 |
| 148 | | 8 | 58 | 38 | 20 | 17 | 63 |
| 149 | | 9 | 53 | 28 | 25 | 9 | 53 |
| 150 | | 10 | 45 | 23 | 22 | 10 | 44 |
| 151 | | 11 | 46 | 20 | 26 | 12 | 42 |
| 152 | | 12 | 54 | 28 | 26 | 13 | 73 |
| 153 | | 13 | 45 | 24 | 21 | 13 | 94 |
| 154 | | 14 | 50 | 26 | 24 | 12 | 106 |
| 155 | | 15 | 41 | 17 | 24 | 12 | 75 |
| 156 | | 16 | 45 | 22 | 23 | 13 | 65 |
| 157 | | 17 | 58 | 38 | 20 | 17 | 63 |
| 158 | | 18 | 54 | 28 | 26 | 13 | 73 |
| 159 | | 19 | 43 | 20 | 23 | 17 | 72 |
| 160 | | 20 | 45 | 26 | 19 | 21 | 72 |
| 161 | | 1 | 53 | 30 | 23 | 10 | 82 |
| 162 | | 2 | 45 | 24 | 21 | 11 | 52 |
| 163 | | 3 | 46 | 26 | 20 | 10 | 86 |
| 164 | | 4 | 46 | 26 | 20 | 10 | 86 |
| 165 | | 5 | 54 | 28 | 26 | 13 | 73 |
| 166 | | 6 | 45 | 24 | 21 | 13 | 94 |
| 167 | | 7 | 50 | 26 | 24 | 12 | 106 |
| 168 | | 8 | 44 | 24 | 20 | 14 | 86 |
| 169 | | 9 | 45 | 22 | 23 | 13 | 65 |
| 170 | | 10 | 58 | 38 | 20 | 17 | 63 |
| 171 | | 11 | 54 | 30 | 24 | 9 | 60 |
| 172 | | 12 | 50 | 25 | 25 | 14 | 122 |
| 173 | | 13 | 58 | 32 | 26 | 17 | 101 |
| 174 | | 14 | 51 | 26 | 25 | 12 | 123 |
| 175 | | 15 | 54 | 28 | 26 | 13 | 73 |
| 176 | | 16 | 44 | 26 | 18 | 10 | 84 |
| 177 | | 17 | 45 | 24 | 21 | 14 | 90 |
| 178 | | 18 | 45 | 25 | 20 | 12 | 78 |
| 179 | | 19 | 48 | 25 | 23 | 9 | 76 |
| 180 | | 20 | 39 | 19 | 20 | 10 | 47 |

Anexo 3: Análisis estadístico

Se muestra un resumen estadístico de las características de lechugas cultivadas en dos sistemas de producción diferentes: acuapónico e hidropónico. Los datos se resumen en términos del tamaño de la muestra (N), la media, la desviación estándar y la media de error estándar.

Tabla 12. Resultado de la media, desviación estándar y media de error estándar

| Estadísticas de grupo | | | | | |
|------------------------|-----------------------------------|-----|-------|---------------------|-------------------------|
| | Sistema de producción de lechugas | N | Media | Desviación estándar | Media de error estándar |
| Altura total (cm) | Acuaponía | 180 | 52,03 | 7,944 | ,592 |
| | Hidroponía | 180 | 45,04 | 6,878 | ,513 |
| Altura de raíz (cm) | Acuaponía | 180 | 32,31 | 7,790 | ,581 |
| | Hidroponía | 180 | 23,66 | 5,196 | ,387 |
| Altura de hojas (cm) | Acuaponía | 180 | 19,73 | 3,444 | ,257 |
| | Hidroponía | 180 | 21,39 | 3,278 | ,244 |
| Número de hojas (unid) | Acuaponía | 180 | 11,30 | 1,969 | ,147 |
| | Hidroponía | 180 | 13,38 | 3,208 | ,239 |
| Biomasa (g) | Acuaponía | 180 | 75,29 | 17,806 | 1,327 |
| | Hidroponía | 180 | 77,56 | 29,276 | 2,182 |

Fuente: Software estadístico SPSS versión 28

Se presenta a continuación, una breve descripción de los estadísticos descriptivos del cuadro arriba indicado:

a) Altura Total (cm):

- Acuaponía: Media = 52.03, Desviación Estándar = 7.944, Error Estándar = 0.592
- Hidroponía: Media = 45.04, Desviación Estándar = 6.878, Error Estándar = 0.513

La altura total en el sistema acuapónico (52.03 cm) es superior en comparación con el sistema hidropónico (45.04 cm), mostrando una diferencia clara en el crecimiento vertical de las lechugas entre los dos sistemas.

b) Altura de Raíz (cm):

- Acuaponía: Media = 32.31, Desviación Estándar = 7.790, Error Estándar = 0.581

- Hidroponía: Media = 23.66, Desviación Estándar = 5.196, Error Estándar = 0.387

La altura de las raíces en el sistema acuapónico (32.31 cm) supera significativamente a la del sistema hidropónico (23.66 cm), indicando un mayor desarrollo radicular en el sistema acuapónico.

c) Altura de Hojas (cm):

- Acuaponía: Media = 19.73, Desviación Estándar = 3.444, Error Estándar = 0.257
- Hidroponía: Media = 21.39, Desviación Estándar = 3.278, Error Estándar = 0.244

La altura de las hojas es menor en el sistema acuapónico (19.73 cm) en comparación con el sistema hidropónico (21.39 cm), sugiriendo diferencias en la distribución del crecimiento en las plantas.

d) Número de Hojas (unid):

- Acuaponía: Media = 11.30, Desviación Estándar = 1.969, Error Estándar = 0.147
- Hidroponía: Media = 13.38, Desviación Estándar = 3.208, Error Estándar = 0.239

El número de hojas en el sistema acuapónico (11.30) es menor en comparación con el sistema hidropónico (13.38), indicando una diferencia en la densidad foliar entre los sistemas.

e) Biomasa (g):

- Acuaponía: Media = 75.29, Desviación Estándar = 17.806, Error Estándar = 1.327
- Hidroponía: Media = 77.56, Desviación Estándar = 29.276, Error Estándar = 2.182

La biomasa en el sistema acuapónico (75.29 g) es comparable con la del sistema hidropónico (77.56 g), sugiriendo una similitud en la producción de biomasa entre los sistemas.

Prueba de homogeneidad de varianza

Se realizó la prueba de Levene para evaluar la igualdad de varianzas entre el sistema acuapónico e hidropónico.

Tabla 13. Resultado de la prueba de Levene realizado a cada parámetro productivo

| | | Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|---|-------|-------------------------------------|--------|------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|--|
| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | Prueba t para la igualdad de medias | | | | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior | |
| Altura total (cm) | Se asumen varianzas iguales | ,094 | ,759 | 8,930 | 358 | <.001 | 6,994 | ,783 | 5,454 | 8,535 | |
| | No se asumen varianzas iguales | | | 8,930 | 350.82 | <.001 | 6,994 | ,783 | 5,454 | 8,535 | |
| Altura raíz (cm) | Se asumen varianzas iguales | 15,122 | <.001 | 12,386 | 358 | <.001 | 8,644 | ,698 | 7,272 | 10,017 | |
| | No se asumen varianzas iguales | | | 12,386 | 311.95 | <.001 | 8,644 | ,698 | 7,271 | 10,018 | |
| Altura hojas (cm) | Se asumen varianzas iguales | ,105 | ,746 | -4,703 | 358 | <.001 | -1,667 | ,354 | -2,364 | -,970 | |
| | No se asumen varianzas iguales | | | -4,703 | 357.12 | <.001 | -1,667 | ,354 | -2,364 | -,970 | |
| Número hojas (unid) | Se asumen varianzas iguales | 30,946 | <.001 | -7,425 | 358 | <.001 | -2,083 | ,281 | -2,635 | -1,532 | |
| | No se asumen varianzas iguales | | | -7,425 | 297.06 | <.001 | -2,083 | ,281 | -2,635 | -1,531 | |
| Biomasa (g) | Se asumen varianzas iguales | 36,098 | <.001 | -,885 | 358 | ,377 | -2,261 | 2,554 | -7,284 | 2,762 | |
| | No se asumen varianzas iguales | | | -,885 | 295.5 | ,377 | -2,261 | 2,554 | -7,287 | 2,765 | |

Fuente: Software estadístico SPSS versión 28

Se presenta a continuación, una breve descripción de los estadísticos descriptivos del cuadro arriba indicado:

f) Altura total (cm)

- Hipótesis Nula (Ho): Las varianzas son iguales entre acuaponía e hidroponía.
- Resultado: $F = 0.094$, $p = 0.759$.

No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Las varianzas se asumen iguales entre acuaponía e hidroponía para la variable altura total.

g) Altura de la raíz (cm)

- Hipótesis Nula (Ho): Las varianzas no son iguales entre acuaponía e hidroponía.
- Resultado: $F = 15.122$, $p < 0.001$.

Hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula. Las varianzas no se asumen iguales entre acuaponía e hidroponía para la variable altura de raíz.

h) Altura de la hoja (cm)

- Hipótesis Nula (Ho): Las varianzas son iguales entre acuaponía e hidroponía.
- Resultado: $F = 0.105$, $p = 0.746$.

No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Las varianzas se asumen iguales entre acuaponía e hidroponía para la variable altura de hojas.

i) Número de hojas (unid)

- Hipótesis Nula (Ho): Las varianzas no son iguales entre acuaponía e hidroponía.
- Resultado: $F = 30.946$, $p < 0.005$.

Hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula. Las varianzas no se asumen iguales entre acuaponía e hidroponía para la variable número de hojas.

j) Biomasa (g)

- Hipótesis Nula (Ho): Las varianzas no son iguales entre acuaponía e hidroponía.
- Resultado: $F = 36.098$, $p < 0.001$.

Hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula. Las varianzas no se asumen iguales entre acuaponía e hidroponía para la variable biomasa.

Resultado de la prueba de homogeneidad se puede decir que para altura total y altura de hojas, se asumen varianzas iguales. Sin embargo, para altura de raíz, número de hojas y biomasa, las varianzas no se asumen iguales debido a los p-valores significativamente bajos. Estos resultados fueron fundamentales al considerar la elección de pruebas estadísticas para la comparación de medias entre los grupos.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov fue empleada para evaluar la normalidad de las muestras de los sistemas de producción de lechugas (*Lactuca sativa*), de acuaponía o hidroponía.

Tabla 14. Prueba de normalidad

| Prueba de normalidad | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------------------------------|-----|-------|----------------|-----|-------|
| Sistema de producción de lechuga: | | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro - Wilk | | |
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Altura total (cm) | Acuapónico | ,163 | 180 | <.001 | ,942 | 180 | <.001 |
| | Hidropónico | ,102 | 180 | <.001 | ,967 | 180 | <.001 |
| Altura de raíz (cm) | Acuapónico | ,162 | 180 | <.001 | ,949 | 180 | <.001 |
| | Hidropónico | ,076 | 180 | ,013 | ,971 | 180 | <.001 |
| Altura de hoja (cm) | Acuapónico | ,114 | 180 | <.001 | ,959 | 180 | <.001 |
| | Hidropónico | ,110 | 180 | <.001 | ,970 | 180 | <.001 |
| Número de hojas (unid) | Acuapónico | ,194 | 180 | <.001 | ,944 | 180 | <.001 |
| | Hidropónico | ,164 | 180 | <.001 | ,941 | 180 | <.001 |
| Biomasa (g) | Acuapónico | ,091 | 180 | ,001 | ,978 | 180 | .006 |
| | Hidropónico | ,166 | 180 | <.001 | ,915 | 180 | <.001 |

a. Corrección de significancia de Lilliefors

k) Altura Total (cm):

- Acuaponía: El estadístico de Kolmogorov-Smirnov es 0.163 con 180 grados de libertad, y el p-valor asociado es < 0.001.
- Hidroponía: El estadístico es 0.102 con 180 grados de libertad, y el p-valor es < 0.001.

En ambas condiciones de producción, el p-valor es significativamente bajo ($p < 0.05$), lo que sugiere que hay evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad. Por lo tanto, las muestras de altura total no siguen una distribución normal.

l) Altura de Raíz (cm):

- Acuaponía: El estadístico de Kolmogorov-Smirnov es 0.162 con 180 grados de libertad, y el p-valor asociado es < 0.001.
- Hidroponía: El estadístico es 0.076 con 180 grados de libertad, y el p-valor es 0.013.

En ambos sistemas, el p-valor es significativamente bajo, indicando que las muestras no siguen una distribución normal. Sin embargo, para la altura de raíz en hidroponía, aunque el p-valor es bajo, no es tan extremadamente pequeño como en otros casos.

m) Altura de Hojas (cm):

- Acuaponía: El estadístico de Kolmogorov-Smirnov es 0.114 con 180 grados de libertad, y el p-valor asociado es < 0.001 .
- Hidroponía: El estadístico es 0.110 con 180 grados de libertad, y el p-valor es < 0.001 .

Ambos sistemas muestran p-valores significativamente bajos, lo que sugiere que las muestras de Altura de Hojas no siguen una distribución normal.

n) Número de Hojas (unid):

- Acuaponía: El estadístico de Kolmogorov-Smirnov es 0.194 con 180 grados de libertad, y el p-valor asociado es < 0.001 .
- Hidroponía: El estadístico es 0.164 con 180 grados de libertad, y el p-valor es < 0.001 .

En ambos sistemas, el p-valor es significativamente bajo, lo que indica que las muestras de número de hojas no siguen una distribución normal.

o) Biomasa (g):

- Acuaponía: El estadístico de Kolmogorov-Smirnov es 0.091 con 180 grados de libertad, y el p-valor asociado es 0.001.
- Hidroponía: El estadístico es 0.166 con 180 grados de libertad, y el p-valor es < 0.001 .

Ambos sistemas presentan p-valores significativamente bajos, indicando que las muestras de biomasa no siguen una distribución normal.

La evaluación de los datos de producción de lechugas cultivadas en sistemas acuapónico e hidropónico muestra que ambos conjuntos de datos no siguen una distribución normal, ya que todos los valores "p" son menores a 0.05. Por lo tanto, se utilizó métodos de análisis no paramétricos para examinar estos datos debido a la no normalidad de sus distribuciones.

Pruebas de hipótesis entre el sistema acuapónico e hidropónico

De acuerdo a los resultados de los supuestos de Homocedasticidad (igualdad de varianzas) y de normalidad de los datos presente en el trabajo de investigación, se realizó las pruebas estadísticas de comparación de dos medias de poblaciones independientes.

Tabla 15. Resultados de los supuestos de homocedasticidad y de normalidad de los sistemas acuapónico e hidropónico

| Prueba de comparación de medias | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------|------------|
| Sistema de producción | Altura Total (cm) | | Altura de raíz (cm) | | Altura de hoja (cm) | | Número de hoja (unidad) | | Biomasa (g) | |
| | Varianzas iguales | Normalidad | Varianzas iguales | Normalidad | Varianzas iguales | Normalidad | Varianzas iguales | Normalidad | Varianzas iguales | Normalidad |
| Acuapónica | Si | No | No | No | Si | No | No | No | No | No |
| Hidroponía | | | | | | | | | | |
| Prueba estadística a usar: | Mann Whitney U | | Prueba t de Welch | | Mann Whitney U | | Prueba t de Welch | | Prueba t de Welch | |

p) Altura Total (cm):

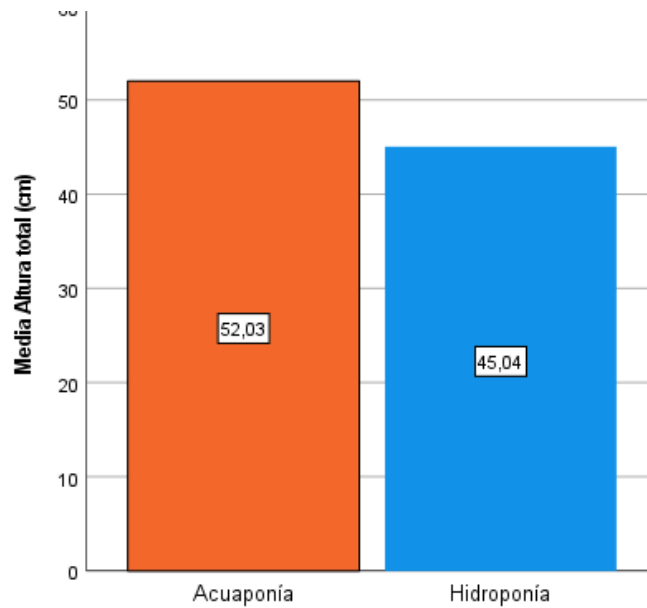
- Hipótesis Nula (Ho): No existe una diferencia significativa en la altura total (cm) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en la altura total (cm) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- $\alpha = 0.05$ (5%)

| Resumen de contraste de hipótesis | | | | |
|-----------------------------------|--|---|---------------------|----------------------------|
| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. ^{a,b} | Decisión |
| 1 | La distribución de altura total (cm) es la misma entre categorías de Sistema de producción lechugas: Acuapónico e hidropónico. | Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes | <.001 | Rechace la hipótesis nula. |

a. El nivel de significación es de .050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Figura 19. Gráfico de barras de la media de la altura total (cm) en los sistemas acuapónico e hidropónico.



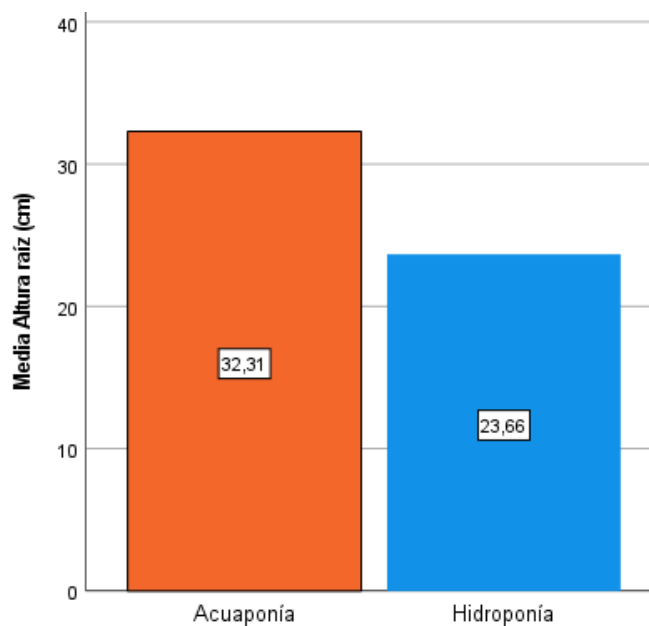
Los resultados de la prueba de Mann-Whitney U para la altura total de lechugas arrojaron un p-valor < 0.001 . Esto indica una diferencia significativa en la altura total entre los sistemas acuapónico (52.03 cm) e hidropónico (45.04 cm), sugiriendo que el cultivo acuapónico impacta significativamente en la altura total de las lechugas.

q) La altura de la raíz (cm)

- Hipótesis Nula (H_0): No existe una diferencia significativa en la altura de la raíz (cm) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- Hipótesis Alternativa (H_1): Existe una diferencia significativa en la altura de la raíz (cm) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- $\alpha = 0.05$ (5%)

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---|-------|-------------------------------------|---------|------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | Prueba t para la igualdad de medias | | | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| Altura raíz (cm) | Se asumen varianzas iguales | 15,122 | <.001 | 12,386 | 358 | <.001 | 8,644 | ,698 | 7,272 | 10,017 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | 12,386 | 311,952 | <.001 | 8,644 | ,698 | 7,271 | 10,018 |

Figura 20. Gráfico de barras de la media de la altura de raíz (cm) en los sistemas acuapónico e hidropónico.



Los resultados de la prueba t de Welch para la altura de raíz en la producción de lechugas arrojaron un p-valor < 0.001. Esto indica una diferencia significativa en la altura de raíz entre los sistemas acuapónico (32.31 cm) e hidropónico (23.66 cm), sugiriendo que el cultivo acuapónico impacta significativamente en la altura de raíz de las lechugas.

r) Altura hojas (cm)

- Hipótesis Nula (Ho): No existe una diferencia significativa en la altura de la hoja (cm) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en la altura de la hoja (cm) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los

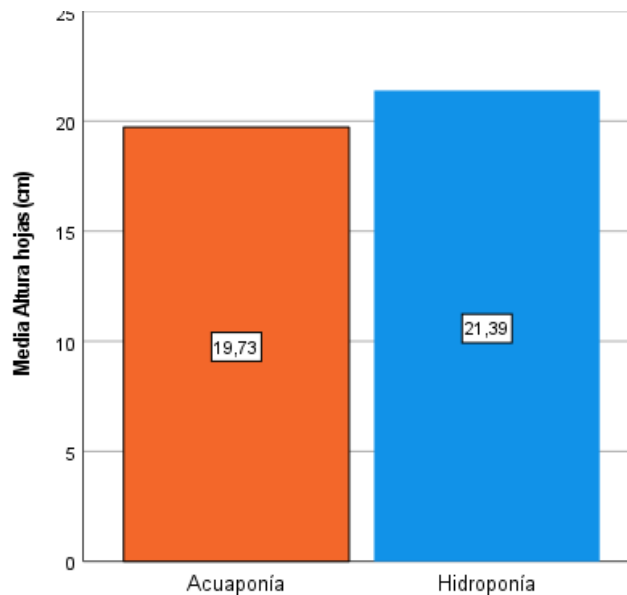
sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.

- $\alpha = 0.05$ (5%)

| Resumen de contraste de hipótesis | | | |
|--|---|---------------------|----------------------------|
| Hipótesis nula | Prueba | Sig. ^{a,b} | Decisión |
| 1 La distribución de la altura de hojas (cm) es la misma entre categorías de Sistema de producción lechugas: Acuapónico e hidropónico. | Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes | <.001 | Rechaza la hipótesis nula. |

a. El nivel de significación es de .050.
b. Se muestra la significancia asintótica.

Figura 21. Gráfico de barras de la media de la altura de la hoja (cm) en los sistemas acuapónico e hidropónico.



Los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para la altura de hojas en la producción de lechugas arrojaron un p-valor < 0.001. Esto indica una diferencia significativa en la altura de las hojas entre los sistemas acuapónico (19.73 cm) e hidropónico (21.39 cm), sugiriendo que el cultivo hidropónico impacta significativamente en la altura de las hojas de las lechugas.

s) Número hojas (unid)

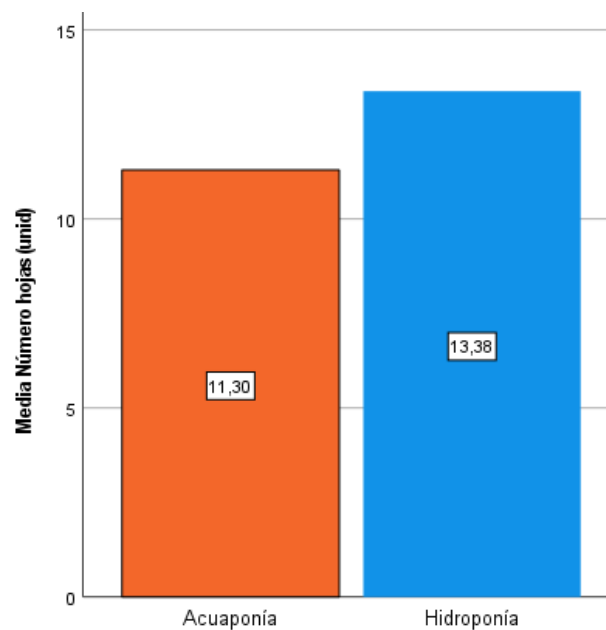
- Hipótesis Nula (Ho): No existe una diferencia significativa en el número de hojas (unid) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los

sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.

- Hipótesis Alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en el número de hojas (unid) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- $\alpha = 0.05$ (5%)

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---|-------|-------------------------------------|-------|------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|----------|
| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | Prueba t para la igualdad de medias | | | | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | |
| | | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| Número hojas (unid) | Se asumen varianzas iguales | 30,946 | <.001 | -7,425 | 358 | <.001 | -2,083 | ,281 | -2,635 | -1,532 | |
| | No se asumen varianzas iguales | | | -7,425 | 297.1 | <.001 | -2,083 | ,281 | -2,635 | -1,531 | |

Figura 22. Gráfico de barras de la media del número de hojas (unid) en los sistemas acuapónico e hidropónico.



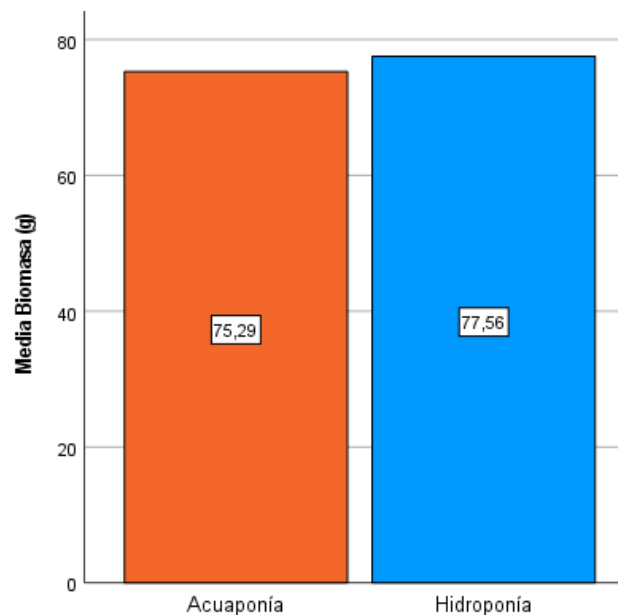
Los resultados de la prueba t de Welch para el número de hojas en la producción de lechugas arrojaron un p-valor < 0.001. Esto indica una diferencia significativa en el número de hojas entre los sistemas acuapónico (11.30) e hidropónico (13.38), sugiriendo que el cultivo hidropónico impacta significativamente en el número de hojas de las lechugas.

t) Biomasa de las lechugas (g)

- Hipótesis Nula (Ho): No existe una diferencia significativa en la biomasa (g) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en la biomasa (g) en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) entre los sistemas acuapónico e hidropónico, en el Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín.
- $\alpha = 0.05$ (5%)

| Prueba de muestras independientes | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---|-------|-------------------------------------|---------|------------------|----------------------|------------------------------|--|-------|
| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | Prueba t para la igualdad de medias | | | | | | |
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | Inferior | Superior | |
| Biomasa (g) | Se asumen varianzas iguales | 36,098 | <.001 | -,885 | 358 | ,377 | -2,261 | 2,554 | -7,284 | 2,762 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | -,885 | 295,497 | ,377 | -2,261 | 2,554 | -7,287 | 2,765 |

Figura 23. Gráfico de barras de la biomasa (g) en los sistemas acuapónico e hidropónico.



Los resultados de la prueba t de Welch para la biomasa (g) de arrojaron un p-valor de 0.377. Esto sugiere que no hay diferencia significativa en la biomasa de las lechugas cultivadas en los sistemas acuapónico (75.29 g) e hidropónico

(77.56 g). Por lo tanto, el tipo de sistema de cultivo no impacta significativamente en la biomasa de las lechugas.

Anexo 4: Fotografías

Figura 24. Lugar de estudio: Centro Piscícola El Ingenio, provincia de Huancayo - Junín



Figura 25. Ubicación geográfica del área de investigación



Figura 26. Área elegida para la instalación del sistema acuapónico e hidropónico en el Centro Piscícola El Ingenio.



Figura 27. *Instalación de mallas raschel para la unidad experimental.*

Frente:



Posterior:



Figura 28. *Instalación de paletas con grasa entomológica - trampas atrapa-insectos al sistema acuapónico e hidropónico.*

Sistema acuapónico



Sistema hidropónico



Figura 29. *Plántulas de lechuga para los sistemas acuapónicos e hidropónicos del Fundo Hidropónico Valle Verde SAC.*



Distribución de las plántulas de lechuga en los bastidores de Tecnopor.

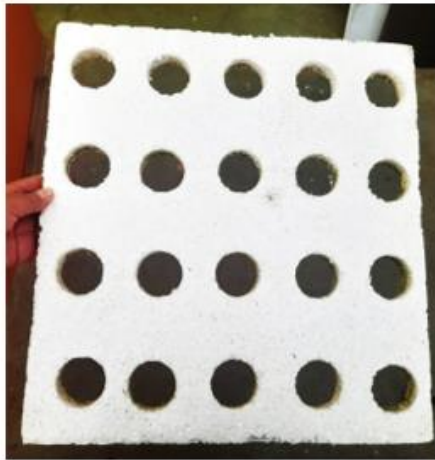


Figura 30. *Trasplante de lechuga hacia los vasitos de plástico*



Procedimiento en el sistema acuapónico

Figura 31. *Captación de agua de los estanques de producción*



Figura 32. *Limpieza y acondicionamiento de la poza de sedimentación*



Figura 33. *Instalación de abastecimiento de agua para las bandejas experimental.*



Figura 34. *Trasplante de lechuga hacia los vasitos de plástico*



Figura 35. La oxigenación se realizó mediante un flujo constante de entrada y salida de agua.



Procedimiento en el sistema hidropónico

Figura 36. *Abasteció las tres bandejas experimentales con agua de manantial.*



Figura 37. *Instalación de aireador para oxigenación de las lechugas en el sistema hidropónico.*



Figura 38. Preparación de la solución nutritiva A y B con agua de manantial para cada bandeja.



Figura 39. Trasplante de lechuga en el sistema hidropónico.

