

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

**ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTE MEDIANTE
REAPROVECHAMIENTO DE MATERIA ORGÁNICA
PARA EL CULTIVO HIDROPÓNICO EN EL
DEPARTAMENTO DE AYACUCHO 2024**

TESIS

PRESENTADA POR:

RICHARD QUISPE FERNÁNDEZ

Para optar el Grado Académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS (*Magister Scientiae*) CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE


**TACNA – PERÚ
2026**


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**Escuela de Posgrado**

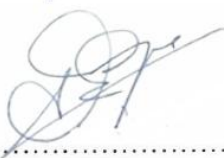
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE


**ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTE MEDIANTE REAPROVECHAMIENTO
DE MATERIA ORGÁNICA PARA EL CULTIVO HIDROPÓNICO EN EL
DEPARTAMENTO DE AYACUCHO 2024**

Tesis sustentada y aprobada el 30 de diciembre del 2025; estando el jurado calificador
integrado por:

PRESIDENTE : 
.....
Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO : 
.....
Dr. Alexander Churata Neira

MIEMBRO : 
.....
Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

ASESOR : 
.....
Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila, en mi condición de asesor acreditada con Resolución de Escuela de Posgrado N° 14378-2024– ESPG/UNJBG Tacna, 23 de agosto del 2024, del trabajo de tesis titulado: **“ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTE MEDIANTE REAPROVECHAMIENTO DE MATERIA ORGÁNICA PARA EL CULTIVO HIDROPÓNICO EN EL DEPARTAMENTO DE AYACUCHO 2024”**, presentado por el Sr. Richard Quispe Fernández, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 6%.

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y esta de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los tramites respectivos para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Tacna, 23 de octubre 2025

FIRMA ASESOR
Nombre y apellidos



.....
nombre: **Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila**
DNI: **00419682**



FIRMA TESISTA
Nombre y apellidos



.....
nombre: **Sr. Richard Quispe Fernández**
DNI: **72859815**



DEDICATORIA

A mi Dios, por su amor infinito, a mi querido Perú, a mis padres y a mi hermano Alexander, por su apoyo. Asimismo, a NMG, por su valioso apoyo durante el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la casa de estudios superiores “Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann”, por acogerme y brindarme los conocimientos, competencias en mi formación profesional para ser competitivo y al servicio del país.

A los docentes, directores del posgrado de la maestría en gestión ambiental y desarrollo sostenible, por brindarnos los conocimientos, experiencias y humanidad.

Mi agradecimiento a mi asesor Dr. Quispe Cohaila, Alberto, por su asesoramiento y acompañamiento en el desarrollo de esta investigación.

A los miembros del jurado, por su interés, motivación, críticas constructivas para mejorar y desarrollar este trabajo.

Richard Quispe Fernández

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.2. Formulación del problema.....	5
1.2.1. El problema principal.....	5
1.2.2. Problemas secundarios	5
1.3. Justificación en importancia de la investigación	6
1.3.1. Justificación ambiental.....	6
1.3.2. Justificación social	6
1.3.3. Justificación económica	6
1.3.4. Justificación técnica	7
1.4. Alcances y limitaciones.....	7
1.4.1. Alcances	7
1.4.2. Limitaciones.....	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo General.....	8
1.5.2. Objetivos Específicos.....	8

1.6.	Hipótesis.....	8
1.6.1.	Hipótesis General.....	8
1.6.2.	Hipótesis específicas	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		10
2.1.	Antecedentes del estudio.....	10
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	10
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	12
2.2.	Bases teóricas	16
2.2.1.	Concepto de biofertilizante líquido.....	16
2.2.2.	Importancia de la producción del biofertilizante con productos orgánicos .	17
2.3.	Definición de términos	18
2.3.1.	Biofertilizante	18
2.3.2.	Biodigestor	18
2.3.3.	Proceso anaerobio	18
2.3.4.	Residuos orgánicos del hogar	18
2.3.5.	Residuos de pescado	19
2.3.6.	Residuos de ganadería.....	19
2.3.7.	Cultivo hidropónico	19
2.3.8.	Sistema raíz flotante.....	19
2.3.9.	Lechuga (Lactuca sativa L.).....	20
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		21
3.1.	Tipo y diseño de investigación.....	21
3.1.1.	Tipo de investigación	21

3.1.2.	Diseño de investigación	21
3.2.	Población y/o muestra de estudio.....	21
3.3.	Acciones y actividades para la ejecución del proyecto	22
3.3.1.	Elaboración de biofertilizante de calidad.....	22
3.3.2.	Cuantificación de la generación macronutrientes y micronutrientes del biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico	23
3.3.3.	Comparación el crecimiento de Lactuca sativa, según las dosis aplicadas de biofertilizantes en el cultivo hidropónico.....	24
3.3.4.	Análisis de los parámetros microbiológicos (E. Coli y salmonella) de la lechuga producido con biofertilizante.....	25
3.4.	Tratamiento estadístico	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		27
4.1.	Elaboración de biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico	27
4.2.	Cuantificación de la generación macronutrientes del biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico	29
4.3.	Cuantificación de la generación de micronutrientes del biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico	31
4.4.	Comparación del crecimiento de Lactuca sativa, según las dosis aplicadas de biofertilizantes en el cultivo hidropónico	32
4.4.1.	Número de hojas de la lechuga	32
4.4.2.	Altura de la planta de lechuga.....	34
4.4.3.	Diámetro de la planta de la lechuga	35
4.5.	Análisis de los parámetros microbiológicos (e. Coli y salmonella) de la lechuga producido con biofertilizante.....	37

DISCUSIÓN	39
CONCLUSIÓN.....	42
RECOMENDACIÓN	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	La formulación para biofertilizantes.....	22
Tabla 2	Métodos de los análisis de los nutrientes de biofertilizantes.....	24
Tabla 3	Formulación de solución de biofertilizante para hidroponía.....	24
Tabla 4	Controles en el desarrollo de cultivo hidropónico.....	25
Tabla 5	Comparación de ingresos y salidas de los biofertilizantes	27
Tabla 6	Promedios y prueba estadístico de Kruskal-Wallis para pH, CE y sodio..	27
Tabla 7	Letras de Dunn-Bonferroni para pH, CE y sodio	28
Tabla 8	Prueba de Kruskal-Wallis para las variables macronutrientes.....	29
Tabla 9	Letras de Dunn-Bonferroni para los macronutrientes	29
Tabla 10	Prueba de Kruskal-Wallis para las variables micronutrientes	31
Tabla 11	Letras de Dunn-Bonferroni para los micronutrientes.....	31
Tabla 12	Prueba de Kruskal-Wallis sobre el número de hojas finales.....	32
Tabla 13	Prueba de Kruskal-Wallis sobre la altura final de la planta.....	34
Tabla 14	Prueba de Kruskal-Wallis sobre el diámetro final de la planta.....	35
Tabla 15	Análisis microbiológico de lechugas con biofertilizantes tipo 1	37
Tabla 16	Análisis microbiológico de lechugas con biofertilizantes tipo 2.....	37
Tabla 17	Análisis microbiológico de lechugas con biofertilizantes tipo 3.....	38
Tabla 18	Prueba de Dunn–Bonferroni para la conductividad eléctrica (CE dS m ⁻¹)	52
Tabla 19	Prueba de Dunn–Bonferroni para el nitrógeno total (N ppm).....	52
Tabla 20	Prueba de Dunn–Bonferroni para el fósforo (P ₂ O ₅ ppm)	52
Tabla 21	Prueba de Dunn–Bonferroni para el potasio (K ₂ O ppm).....	52
Tabla 22	Prueba de Dunn–Bonferroni para el calcio (CaO ppm)	53
Tabla 23	Prueba de Dunn–Bonferroni para el magnesio (MgO ppm).....	53

Tabla 24	Prueba de Dunn–Bonferroni para el sulfato (SO_4^{2-} ppm).....	53
Tabla 25	Prueba de Dunn–Bonferroni para el sodio (Na ppm).....	53
Tabla 26	Prueba de Dunn–Bonferroni para el hierro (Fe ppm).....	54
Tabla 27	Prueba de Dunn–Bonferroni para el zinc (Zn ppm)	54
Tabla 28	Prueba de Dunn–Bonferroni para el manganeso (Mn ppm).....	54
Tabla 29	Comparaciones de Dunn–Bonferroni por grupo (número de hojas)	55
Tabla 30	Comparaciones de Dunn–Bonferroni por grupo (altura final de lechuga)	56
Tabla 31	Comparaciones de Dunn–Bonferroni por grupo (diámetro final-lechuga)	57
Tabla 32	Resultado promedio del desarrollo de las lechugas.....	58
Tabla 33	Norma sanitaria para las hortalizas frescas.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Resultados fisicoquímicos de los biofertilizantes.....	28
Figura 2	Cantidad de macronutrientes por cada muestra de biofertilizante.....	30
Figura 3	Cantidad de micronutrientes por cada muestra de biofertilizante	32
Figura 4	Desarrollo de número de hojas de las lechugas hidropónica.....	33
Figura 5	Desarrollo de altura de las lechugas hidropónica	34
Figura 6	Desarrollo del diámetro de las lechugas hidropónica.....	36
Figura 7	Sistema de elaboración de biofertilizante en la investigación.....	59
Figura 8	Realización de mezcla de los insumos de biofertilizantes.....	59
Figura 9	Cosecha de biofertilizante a los 90 días	60
Figura 10	Muestra de biofertilizante en el biodigestor	60
Figura 11	Plántulas de lechugas hidropónicas	61
Figura 12	Bandejas para el sistema hidropónico de raíz flotante	61
Figura 13	Preparación de solución hidropónica del biofertilizante	62
Figura 14	Bandejas con soluciones hidropónicas	62
Figura 15	Sistema de cultivo hidropónico de las lechugas	63
Figura 16	Desarrollo de las lechugas hidropónicas	63
Figura 17	Cosecha de las lechugas hidropónicas.....	64
Figura 18	Envío de las lechugas al laboratorio microbiológico.....	64

RESUMEN

Se realizó un estudio cuyo objetivo fue elaborar y demostrar la calidad del biofertilizante obtenido por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024, y fue de tipo experimental, donde se han producido tres tipos de biofertilizantes empleando residuos sólidos orgánicos: (restos de hortalizas, tubérculos, frutas y cáscaras de huevo), (estiércol de vacuno y de cuy), melaza de caña de azúcar y restos de pescados (vísceras y escamas), los biofertilizantes se han elaborado en sistema anaerobio en un periodo de 90 días, posteriormente se han analizado en laboratorio los macronutrientes y micronutrientes contenidos en los tres tipos de biofertilizantes, por último se ha elaborado sistema hidropónica de tipo raíz flotante y se han empleado cada biofertilizante como soluciones hidropónicas a tres concentraciones: 0,158; 0,105 y 0,053, con ello se han evaluado el desarrollo de las lechugas controlando el desarrollo de número de hojas, altura de la lechuga y el diámetro de la lechuga en un periodo de 35 días, finalmente la lechuga tuvo análisis microbiológico (limitado a E. Coli y salmonella) en laboratorio de análisis. Los resultados evidencian la calidad de biofertilizante producido con residuos orgánicos; asimismo, las dosis de biofertilizantes empleadas evidenciaron el desarrollo de las lechugas hidropónicas. Con respecto a los resultados de análisis microbiológico, las lechugas hidropónicas cumplen los parámetros indicados en las normas sanitarias de alimentos. Por lo tanto, se concluye que se logró calidad del biofertilizante obtenido por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico.

Palabras claves: Residuos, anaerobio, biofertilizante, hidroponía, lechuga.

ABSTRACT

A study was carried out whose objective was to develop and demonstrate the quality of the biofertilizer obtained by the reuse of organic matter for hydroponic cultivation in the department of Ayacucho 2024, and it was experimental where three types of biofertilizers have been produced using solid organic waste: (vegetable remains, tubers, fruits and eggshells), (cow and guinea pig manure), sugarcane molasses and fish remains (viscera and scales), the biofertilizers have been prepared in an anaerobic system in a period of 90 days, subsequently the macronutrients and micronutrients contained in the three types of biofertilizers have been analyzed in the laboratory, finally a floating root type hydroponic system has been developed and each biofertilizer has been used as hydroponic solutions at three concentrations: 0,158; 0,105 and 0,053, with this the development of lettuces has been evaluated by controlling the development of number of leaves, height of the lettuce and the diameter of the lettuce in a period of 35 days, finally the lettuce had microbiological analysis (limited to E. coli and salmonella) in an analysis laboratory. The results show the quality of biofertilizer produced with organic waste, also the doses of biofertilizers used showed in the development of hydroponic lettuces, with respect to the results of microbiological analysis, hydroponic lettuces meet the parameters indicated in food health standards. Therefore, it is concluded that the quality of the biofertilizer obtained by the reuse of organic matter for hydroponic cultivation was achieved.

Keywords: Waste, anaerobe, biofertilizer, hydroponics, lettuce.

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población mundial está planteando un gran desafío para la producción de alimentos y ejerce una presión considerable sobre los recursos agrícolas. Se estima que para el año 2050, la población global alcanzará los 9,7 millones de personas (Organización de las Naciones Unidas, 2022). Esto ha llevado a un aumento en la demanda de alimentos y, por lo tanto, a la necesidad de aumentar la productividad agrícola. Sin embargo, esta intensificación conlleva serias consecuencias para el medio ambiente, como la sobreexplotación de la tierra, el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas químicos, la contaminación de las fuentes de agua y el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Fukase y Martin, 2020; De Vrachien, Schultz y Goli, 2021; Krasilnikov, Taboada y Amanulla, 2022). Al mismo tiempo, el consumo masivo de alimentos también provoca un aumento en la cantidad de residuos sólidos, especialmente los orgánicos que resultan del desperdicio de alimentos y de las actividades agrícolas. Para 2050, se prevé que la generación mundial de residuos alcance los 3,4 millones de toneladas, de las cuales el 44 % serán residuos orgánicos (Kaza et al., 2022; Cóppola, Pescio y Schamber, 2022). La gestión inadecuada de estos residuos puede causar daños al medio ambiente y a la salud. En Perú, especialmente en la región de Ayacucho, este problema se ve agravado por la mala gestión de residuos, la falta de conciencia ambiental y la escasa implementación de estrategias de economía circular (De La Cruz, 2022; Huamanga, 2021).

En este contexto, es crucial encontrar soluciones sostenibles que combinen la gestión de residuos orgánicos con la producción agrícola. Una alternativa prometedora es reutilizar materia orgánica para crear biofertilizantes, utilizando tecnologías como la digestión anaeróbica. Esta estrategia transforma residuos como restos de alimentos, estiércol animal y desechos de pescado en valiosas materias primas agrícolas, al mismo tiempo que ayuda a reducir la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero (Acuña et al., 2018).

Este estudio se centra en la provincia de Huamanga, en el departamento de Ayacucho, como un caso de análisis. La meta fue desarrollar biofertilizantes a partir de residuos orgánicos domésticos y agrícolas, que se aplicaron en el cultivo hidropónico de

Lactuca sativa (lechuga). La propuesta buscó tratar los residuos como un recurso y proponer una solución ecológica, técnica y económicamente viable que minimice el impacto negativo de la gestión inadecuada de residuos y promueva prácticas sostenibles en la agricultura local y fomentar la economía circular. El objetivo principal de este estudio es desarrollar y demostrar la calidad de los biofertilizantes obtenidos de la reutilización de materia orgánica para cultivos hidropónicos en la provincia de Ayacucho para el año 2024.

Esta investigación tiene las siguientes estructuras y se compone de cinco capítulos:

En el primer capítulo, se desarrolla la problemática de investigación, justificación e importancia de investigación, alcances y limitaciones, objetivos y la hipótesis de investigación.

En el segundo capítulo, se desarrolla el marco teórico (antecedentes, bases teóricas y definición de términos)

En el tercer capítulo, se desarrollan las metodologías de investigación.

En el cuarto capítulo, se muestran los resultados obtenidos de la investigación y la discusión de elaboración de biofertilizante mediante reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.

En el quinto capítulo, se desarrollan las conclusiones de la investigación, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos de este estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

1.1.1. Antecedentes del problema

El crecimiento de la población mundial implica mayor demanda de alimentos y a la agricultura le demanda grandes cantidades de recursos agrícolas, todo ello tendrá costos más elevados (Fukase y Martin, 2020); es así que la población mundial proyectada al año 2050 será de 9,7 millones (Organización de las Naciones Unidas, 2022); en ese sentido, para producir alimentos la agricultura exigirá mayor rendimiento a las tierras fértiles logrando la sobreexplotación y dejando suelo infértil con pocas respuestas para otras etapas de producción y otras parcelas empobrecidas con excesos de sales como consecuencia de suministrar grandes cantidades de abonos inorgánicos (De Wrachien, Schultz y Goli, 2021), la agricultura actualmente ya padece los efectos del cambio climático, la cantidad y calidad de agua para la producción se ve mermado y la degradación de la salud del suelo es crítico, donde la erosión del suelo va en aumento; estos son los efectos negativos del crecimiento de la población ya que tiene impacto directo en calidad y cantidad de los recursos naturales reflejada en la sobreexplotación de los recursos y la agricultura intensiva (Ducker, 2022).

Por ello, actualmente al existir mayor demanda de alimentos también existe mayor demanda de fertilizantes químicos, los cuales están acidificando el suelo al alterar el pH, los cuales conllevan al aumento de plagas y formación de costras; asimismo hay disminución del carbono orgánico y la reducción de población microbiana que ayuda en la fertilización del suelo, todas estas acciones conllevan a que se tenga suelo agrícola infértil, es así, si no se suministra fertilizantes químicos no hay productividad, pero como consecuencia de esta actividad hay mayor emanación de gases de efecto invernadero (GEI) (Krasilnikov, Taboada y Amanullah, 2022); la contaminación del suelo por uso excesiva y desproporcional de fertilizantes químicos inorgánicos y pesticidas impacta en la microflora, la salud humana y el ambiente, uso de estos productos químicos tiene efecto directo en el rendimiento de los cultivos afectando la seguridad alimentaria, al existir la

bioacumulación afecta directamente al consumidor final que es el humano (Bisht y Singh, 2021; Edwards, 2002) y también hay contaminación del agua y demanda excesiva de agua ya que la agricultura usa el 70 % de agua dulce (Ingrao, Strippoli, Lagioia y Huisingh, 2023).

Es importante, mencionar que al consumir mayor cantidad de alimentos también hay grandes cantidades de residuos sólidos, que requieren gestión correcta de lo contrario se convierte en contaminantes que afecta al medio ambiente, es así que se tiene proyectado la generación de 3,4 millones de toneladas de residuos sólidos hasta el año 2050, con un aumento al 70 % con respecto a niveles actuales, y se menciona que la proyección de gestión de residuos sólidos será incipiente (Kaza et al., 2022), lo más significativo de ello son los residuos sólidos orgánicos que representan el 44 % de la generación mundial de residuos sólidos, este porcentaje es de los restos de alimentos (Cóppola, Pescio y Schamber, 2022).

Es así que existe una emisión de 10 % de GEI al medio ambiente como resultado de nulo reaprovechamiento de aproximadamente 1,3 millones de toneladas de alimentos que mundialmente son desperdiciados; este porcentaje indica la gran cantidad de recursos naturales que han sido empleados para producir estos alimentos y que tienen mal manejo a nivel de desperdicios y restos de comidas (Acuña et al., 2018).

También con enfoque nacional se dice, que el Perú ha crecido económicamente en los últimos años y como consecuencia de ello trajo el rápido crecimiento del consumismo, que han venido afectando al medio ambiente debido a las malas gestiones de los residuos de los productos consumidos, de los restos de las actividades agrícolas, ganadera, extractivas de minerales y otros; contraste al crecimiento económicos no se han implementado de manera oportuna políticas claras para reducir la contaminación de los ríos, las áreas marinas y la minimización de las basuras; también se observa las respuestas lentas a la gestión del manejo de residuos sólidos donde actualmente está primando la recolección sin mayor esfuerzo para la recuperación y aplicar la economía circular; todo esto da como respuesta que solo el 55 % de residuos generados en el país lleguen a los rellenos sanitarios, y el porcentaje faltante llegan a botaderos, ríos, mar, quebradas y

muchos de ellos son quemados acción que ocasiona daño al medio natural y la salud de las personas (De La Cruz, 2022).

Asimismo, en la región de Ayacucho la gestión de residuos sólidos tanto orgánicos e inorgánicos tiende a ser deficiente, principalmente se debe a la poca o nula generación de conciencia ambiental entre entidades del estado y los ciudadanos, los residuos orgánicos no tienen gestión adecuado, como consecuencia de ello los residuos sólidos se tienden a mezclarse al momento de recolección en carros realizados por personales de las municipalidades locales y provinciales, y finalmente terminan en relleno sanitario sin ningún tipo de reaprovechamiento y el otro porcentaje de los residuos no tienen ningún tratamiento, debido a ello se refleja en calles con presencia de restos municipales, ríos contaminados, áreas verdes degradados por residuos, generando olores degradables en el medio ambiente, atrayendo moscas, roedores, perros callejeros y otros animales (Huamanga, 2021), que a su vez estos se convierten en vectores mecánicos para transmitir enfermedades a las personas (Bayona y Quintero, 2023) y otro tipo de residuos son de la agricultura, ganadería, residuos orgánicos que no tienen reaprovechamiento y/o transformación en nuevos productos (Soca y Martínez, 2021).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. El problema principal

¿Cuál será la calidad de biofertilizante obtenido por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024?

1.2.2. Problemas secundarios

¿Cuál será la calidad en la generación de macronutrientes y micronutrientes del biofertilizante para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024?

¿Cómo será el crecimiento de Lactuca sativa, según las dosis aplicadas de biofertilizantes en el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024?

¿Cuál será la calidad microbiológica (salmonella y E. Coli) en Lactuca Sativa “lechuga” producida con biofertilizantes en el sistema hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024?

1.3. Justificación en importancia de la investigación

1.3.1. Justificación ambiental

En tal sentido, este proyecto ambientalmente es viable, ya que ayudará a minimizar la generación de gases de efecto invernadero, evitar la contaminación del agua, suelo y aire a consecuencia del mal manejo de residuos sólidos orgánicos.

1.3.2. Justificación social

A nivel social, aportará a que la población vea a los residuos sólidos orgánicos como materia prima para transformar en abono líquido y producir productos agrícolas que sean adecuados para el consumo humano y medios para usar en muchas actividades del hogar y económica. La transformación de residuos orgánicos se puede comercializar y generar ingresos económicos, alentando a que las familias tiendan a ver como medio para emprender y empezar a cultivar sus alimentos en sus hogares.

1.3.3. Justificación económica

La justificación económica al transformar residuos orgánicos se pueden extraer nuevos productos, como es el caso para esta investigación de los biofertilizantes orgánicos; con ello se generan ingresos económicos y el costo del tratamiento de residuos orgánicos se compensa cuando se venden los biofertilizantes y agriculturas sostenibles que generen ingresos económicos, con la base de aplicación de biofertilizantes para esta actividad; de esta manera se logrará valorizar la gran potencialidad de recursos desaprovechados, cumplir con regulaciones ambientales, aprovechar oportunidades de mercado y promover el desarrollo económico. Estos factores combinados hacen que la producción de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos sea una opción atractiva desde una perspectiva económica.

1.3.4. Justificación técnica

La justificación técnica sólida debido a la disponibilidad de materia prima, las tecnologías de conversión establecidas, la infraestructura existente, la eficiencia del proceso de producción y la calidad del producto final. Estos aspectos respaldan la viabilidad técnica de la producción de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos y facilitan su implementación en diferentes sectores.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

La investigación se realizó en el distrito de San Juan Bautista, en la provincia de Huamanga del departamento de Ayacucho, se desarrolló en época de estiaje, el cual consistió en elaboración de biofertilizantes con residuos orgánicos y a las cuales se han añadido residuos de pescados (vísceras y escamas) en las siguientes porciones: 6,0 kg, 3,0 kg y 0,0 kg con la finalidad de obtener resultados de calidad en macronutrientes y micronutrientes; finalmente se ha producido lechugas en sistema hidropónico empleando las soluciones hidropónicas de biofertilizantes en las siguientes concentraciones: 0,158; 0,105 y 0,053 con los cuales se han evaluado el crecimiento de las plantas (diámetro de lechuga, la altura de lechuga y número de hojas de las lechugas) y por último se evaluó parámetro microbiológico (E. Coli y Salmonella spp.) en la lechuga.

1.4.2. Limitaciones

En el presente estudio se limitó a los residuos sólidos orgánicos locales de la provincia de Huamanga del departamento de Ayacucho, y con respecto a residuos de pescado se limitó a vísceras y escamas de pescado (jurel y anchoveta), con respecto a análisis en biofertilizantes se limitó a los parámetros: pH, C.E dS/m, N (ppm), P₂O₅ (ppm), K₂O (ppm), CaO (ppm), MgO (ppm), Na (ppm), SO₄²⁻ (ppm), Fe (ppm), Zn (ppm) y Mn (ppm).

Asimismo, se ha limitado al cultivo hidropónico de la planta de lechuga (variedad acephala, conocida como lechugas crespas) y el control del desarrollo (diámetro, altura y

número de hojas) en las lechugas; finalmente, se evaluó parámetros microbiológicos, limitándose a (E. Coli, salmonella).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Elaborar y demostrar la calidad del biofertilizante obtenido por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Elaborar biofertilizante de calidad por el reaprovechamiento de materia orgánica y estimar los macro y micronutrientes en el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.
- b) Evaluar la influencia de las dosis de biofertilizante en el desarrollo de Lactuca Sativa “lechuga” en el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.
- c) Analizar parámetros microbiológicos (salmonella y E. Coli) en Lactuca Sativa “lechuga” producido con biofertilizantes en el sistema hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

La calidad de biofertilizante obtenido por el reaprovechamiento de materia orgánica será óptima para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.

1.6.2. Hipótesis específicas

- a) La elaboración biofertilizantes y estimación de macronutrientes y micronutrientes serán de calidad para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.

- b) Las dosis de biofertilizante serán óptimas en el desarrollo de Lactuca Sativa “lechuga” en el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024.
- c) En el sistema hidropónico, la Lactuca Sativa “lechuga” producido con los biofertilizantes serán óptimas en la calidad microbiológica en el departamento de Ayacucho 2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Ahmad et al. (2019), en su investigación en Malasia, “Characterization of Liquid Fertilizer from Different Types of Bio-Waste Compost and its Correlation with the Compost Nutrients”, tuvo como objetivo desarrollar la correlación entre los nutrientes disponibles en fertilizantes líquidos en comparación de fertilizantes sólidos de diferentes fuentes de biorresiduos. Obteniendo como respuesta que los macronutrientes (NPK) son esenciales para las plantas; asimismo, al alto contenido de compuestos orgánicos, es primordial diluir o pretratarlos los fertilizantes orgánicos; de esa manera se evitan daños a las plantas.

Amrullah, Amin y Ali (2021) en su investigación en Malasia, “Converting husbandry waste into liquid organic fertilizer using probiotic consortiums (*Lactobacillus* sp., *Rhodopseudomonas* sp., *Actinomycetes* sp., *Streptomyces* sp.)”, cuyo fin fue obtener fertilizante orgánico líquido a partir de orina bovina, utilizando un consorcio probiótico compuesto por *Lactobacillus* sp., *Rhodopseudomonas* sp., *Actinomycetes* sp. y *Streptomyces* sp, se han evaluado las diferentes cantidades en tiempos y microorganismos en sistema de fermentación, en ello se observó la mejora de contenido con respecto al inicial, P aumentó (1,2-2,2) para un aumento en el número de microorganismos (5-25 mL), N aumentó (1-2,54 %) para un aumento del número de microorganismos (5-30 mL), y se estancó hasta 30 mL. El K aumentó (1,5-3,3 %) en incrementos de 5 a 30 mL. El pH estuvo en el rango de 8,5 y 8,3.

Chowdhury et al. (2024) en su investigación en Estados Unidos, “Evaluation of hydroponic systems for organic lettuce production in controlled environment”, evaluaron la producción de *Lactuca sativa* en sistemas hidropónicos (NFT, raíz flotante y sistema de estratos) utilizando un fertilizante orgánico líquido comercial (Espartan, Hort Americas, Fort Worth, TX, EE. UU.), en ambiente controlado. Se compararon cuatro

métodos hidropónicos: técnica de película de nutrientes (NFT), cultivo en agua profunda (DWC), sistema de balde holandés (DB) y contenedor plástico regular (RPC). Durante cuatro semanas, se controlaron número de hojas y fue ($p=0,000$) significativo entre los cuatro sistemas de cultivo; asimismo, los sistemas hidropónicos con sustratos mostraron un crecimiento superior en comparación con NFT y raíz flotante, con incrementos del 29 % al 60 % en el desarrollo de la lechuga. Se concluyó que los fertilizantes orgánicos líquidos son más adecuados para sistemas hidropónicos con sustrato.

Endoh et al. (2024) en su investigación en España, “Hydroponic Lettuce Cultivation with Organic Liquid Fertilizer: Examining Bacterial Inhibition and Phosphate Solubilization”, teniendo como objetivos disponer las mejores prácticas para el uso de fertilizantes y aislar microorganismos para examinar su efectividad en la disminución de *Pythium* sp. Y *Fusarium* sp. para solubilizar fosfato, en la producción de *Lactuca sativa* en sistemas hidropónicos utilizando fertilizantes líquidos orgánicos, destacando su potencial como alternativa sostenible ante el alza de precios de fertilizantes químicos. Se emplearon dos fertilizantes, Power Fish y POF vol. 2, evaluando su impacto en el crecimiento de la lechuga bajo condiciones controladas. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la altura de las plantas 6,7 cm (21 días): sí hubo diferencias en número de hojas P1F (Hasta 15 hojas), P1P (Hasta 25 hojas), P2F (Hasta 20 hojas), P2P (Hasta 30 hojas), influenciadas por la gestión del pH y la aplicación regular de nutrientes. Se identificaron bacterias como *Bacillus* sp. y *Xanthomonas* sp., con capacidad para inhibir hongos patógenos como *Pythium* sp. y *Fusarium* sp., favoreciendo la resistencia de la planta a enfermedades. Se concluye que los sistemas hidropónicos orgánicos pueden reducir la dependencia de fertilizantes químicos, mejorar la productividad y fortalecer la resistencia de los cultivos a factores ambientales adversos.

Rojas et al. (2023), en su investigación realizada en México, titulada “Concentración de nutrientes de dos formulaciones de fertilizantes fermentados (bioles) elaborados con insumos locales”, han instalado biodigestores tipo Bach de 19 L; el proceso se dio en 100 días y para la formulación de los biofertilizantes Biol 1: 50 % agua, 20 % pasto kikuyo y 30 % estiércol ovino; Biol 2: 50 % agua y 50 % estiércol ovino.

Obteniendo mejor resultado: Biol 1 en unidad (mg/L) se logró los siguientes resultados (0,51 N; 323,3 P; 7574,3 K; 0,63 Cu; 9,33 Fe; 5,0 Mn; 1,33 Zn) y Biol 2 en unidad (mg/L) se logró los siguientes resultados (0,27 N; 332,0 P; 5885,0 K; 0,52 Cu; 4,66 Fe; 3,0 Mn; 1,00 Zn). Llegando a la conclusión de que el Biol 1 es mejor en N y Fe respecto al Biol 2, esto se debió a la adición de pasto llamado kikuyo en la formulación del biol.

Haryanta et al. (2023), en su estudio en Indonesia, “Utilization of urban waste as liquid organic fertilizer for vegetable crops in urban farming system”, estimaron la transformación de residuos orgánicos urbanos, como vegetales, frutas, alimentos, restos de pescado y sangre de matadero, en fertilizantes líquidos orgánicos (FLO). El objetivo fue determinar el potencial de estos residuos para producir fertilizantes líquidos. Se utilizaron distintos tipos de residuos como materia prima para los FLO y se obtuvieron nutrientes esenciales como nitrógeno (N) al 0,06 %, fósforo (P) al 0,06 %, potasio (K) en 0,51 %, calcio (Ca) con 6,11ppm, magnesio (Mg) con 4,01ppm y micronutrientes, cobre (Cu) con 0,86ppm, zinc (Zn) contiene 2,90ppm, Hierro (Fe) al 0,15ppm.

Kechasov et al. (2021) en su investigación desarrollada en Noruega, titulado “Organic Waste-Based Fertilizer in Hydroponics Increases Tomato Fruit Size but Reduces Fruit Quality”, teniendo como objetivo la determinar la relación del biogas liquido con el crecimiento y producción de plantas de tomate, para ello emplearon la metodología de sistema hidropónico de raíces flotantes (NFT), obteniendo los siguientes resultados; Na^+ ($1,5 \pm 0,6$), K^+ ($0,79 \pm 0,63$ mmol/L), NH_4^+ ($0,181 \pm 0,334$ mmol/L), Mg^{2+} ($0,2 \pm 0,08$ mmol/L), Ca^{2+} ($0,42 \pm 0,11$ mmol/L), NO_2^- ($0,03 \pm 0,03$ mmol/L), NO_3^- ($1,5 \pm 1,1$ mmol/L), PO_4^{3-} ($0,28 \pm 0,18$ mmol/L), SO_4^{2-} ($0,12 \pm 0,12$ mmol/L); pH ($6,3 \pm 1,0$), conductividad eléctrica ($0,5 \pm 0,2$ ms/cm).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Palomino, Quispe y Oloya (2022) en su investigación en la región Ayacucho, titulada “Producción de biogás, biol y biomasa a partir de residuo orgánico (Azolla pinnata) e inóculos de cuy y vacuno mediante biodigestor anaerobio en el barrio Santa Ana en el departamento de Ayacucho”, realizaron un estudio donde se evaluó la producción de biogás, biofertilizante (biol) y biomasa a partir de residuos orgánicos,

utilizando como sustrato *Azolla pinnata* e inóculos procedentes de estiércol de cuy y vacuno, mediante un sistema de biodigestión anaerobia en el barrio Santa Ana en el departamento de Ayacucho. El objetivo fue analizar esta tecnología como alternativa sostenible para el tratamiento de residuos orgánicos. La investigación empleó un diseño de bloques completamente al azar, conformado por tres tratamientos con tres repeticiones cada uno: T1 = 10 kg Residuo orgánico + 6 kg de azolla sp + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno, T2 = 6 kg Residuo orgánico + 3 kg de azolla sp + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno, T3 = 4 kg Residuo orgánico + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno reincorporado 4 kilos de rumen vacuno como inóculo, donde se controló las temperaturas con un promedio de 52 °C y pH 7,4. El rendimiento se cuantificó el peso de biogás almacenado; el volumen de biogás se midió por el método del desplazamiento, y para la presión se calculó con la ley de gases ideales $PV=NRT$; para el biofertilizante y biomasa se analizaron los nutrientes en laboratorio. El tratamiento T1 presentó el mayor rendimiento: 17,33 g de biogás, 12,6 L de volumen y una presión de 2,06 atm, así como altos niveles de nutrientes: N (191,3 ppm), PO_2 (51,33 ppm), K_2O (480 ppm), Ca (2 350 000 ppm) y Mg (5 500 000 ppm). Este resultado se atribuyó a la incorporación del helecho acuático *Azolla sp.*, conocido por su capacidad de fijación de nitrógeno, lo cual favoreció el proceso de fermentación y enriqueció el producto final como biofertilizante útil para mejorar la calidad del suelo y promover cultivos orgánicos saludables.

Medina et al. (2022), en su investigación desarrollada en la región de La Libertad, titulada, “Influencia de las concentraciones del bioabono “biol” en el cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* var. *longifolia* (Asteraceae)”, realizaron un estudio sobre la influencia de diferentes concentraciones del bioabono "biol" en el crecimiento y desarrollo de *Lactuca sativa* var. *longifolia* (lechuga) en un sistema hidropónico. Su investigación tuvo como objetivo evaluar el uso del biol como alternativa biotecnológica para la fertilización de hortalizas, optimizando el aprovechamiento de residuos orgánicos. El experimento utilizó biol obtenido de la fermentación anaeróbica de estiércol vacuno durante 45 días, con distintas diluciones del biol (5 %, 10 %, 15 % y 20 %) que contenían PH (6,9), N (10,200 mg/L), P(219,10mg/L), K (1103,80 mg/L) en comparación con una solución hidropónica estándar. Los resultados demostraron que la concentración del 20 % de biol promovió un mejor crecimiento con valores superiores a los obtenidos con soluciones

hidropónicas comerciales. Se concluyó que el biol no solo optimiza el rendimiento del cultivo, sino que también representa una opción ecológica y económicamente viable para la producción agrícola. Estos hallazgos respaldan la importancia del biol como un fertilizante orgánico que reduce la dependencia de insumos químicos, promoviendo una agricultura más sostenible y eficiente.

Rosales (2023) en su investigación en la región de Amazonas, titulado “Efecto de una solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles en la productividad de *Lactuca Sativa* (lechuga) en Amazonas 2022”. Teniendo como objetivo determinar el efecto de la solución hidropónica sobre la productividad de *L. sativa*. Se formularon tres soluciones hidropónicas con biol en concentraciones del 1,0 % (T2), 2,5 % (T3) y 5,0 % (T4), complementadas con una solución comercial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), comparándolas con una solución hidropónica convencional (T1). Durante un ciclo de cultivo de 45 días en sistema NFT, se midieron parámetros como número de hojas, longitud radicular y diámetro foliar, así como pH y conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Los resultados indicaron que la mejor respuesta productiva se obtuvo con el tratamiento T4, alcanzando en promedio 18 hojas, 25,05 cm de raíz y 29,05 cm de diámetro foliar, valores comparables a los obtenidos con la solución comercial. Se concluyó que el uso de biol de aguas mieles representa una alternativa viable y sostenible para la producción hidropónica de *L. Sativa*.

Soto (2025), en su investigación realizada en Cajamarca, titulado “Evaluación fisicoquímica y cuantificación de nutrientes de un biofertilizante líquido (Biol) elaborado a partir de residuos orgánicos”, teniendo como objetivo determinar la cantidad de macronutrientes y micronutrientes de biol elaborado a partir de residuos orgánicos, obtuvo 98,78 mg/L a 180,22 mg/L de nitrógeno (N), fósforo (P) con un valor de 313,33 mg/L, potasio (K) con un valor 946,67 mg/L a 1300 mg/L. Micronutrientes como sodio (Na) con un valor de 257,76 mg/L a 364,60 mg/L y magnesio (Mg) con valores de 85,05 mg/L a 149,99 mg/L.

Silva (2024), en su investigación desarrollada en la ciudad de Pucallpa, titulada “Efecto de diferentes concentraciones de biol bovino en el crecimiento y rendimiento productivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo un sistema hidropónico de raíz flotante en

Pucallpa”, su objetivo fue evaluar el efecto del biol de bovino en el crecimiento de la lechuga, se logró con T2 (biol bovino al 5 %) un promedio en tamaño de la lechuga (26,18 cm), diámetro promedio (27,95 cm), número de hojas en promedio (32,73 hojas).

Chambi (2022), en su investigación llevada a cabo en la región de Puno, titulada “Producción hidropónica utilizando abono líquido – biol, en cultivos de acelga, repollo y lechuga en condiciones de invernadero”, con el objetivo de analizar la altura y número de hojas de la lechuga con el empleo de biol, obtuvo los siguientes resultados: en el T0 (testigo), 41,43 cm de altura, en T8:D1, 32,78 cm; y en T2:D2 31,74 cm. En cuanto T0 (testigo) se registró 18,33 hojas/planta; en T7:D1, T8:D2 y T9:D3 se registró 14,89 hojas/planta.

Pilco (2022) ha realizado un estudio en la ciudad de Puno, titulado “Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones hidropónicas en Puno-Perú”. Con la finalidad de determinar las características fenotípicas y bromatológicas de la lechuga. Donde ha aplicado sistema hidropónico para el cultivo de lechuga, empleando como T0: testigo solución nutritiva química; T1: correspondía a aplicación de biol de cuy a diferentes concentraciones (400, 300 y 200 mL/12 L); T2: correspondía a aplicación de biol de ovino a las siguientes concentraciones (400, 300 y 200 mL/12 L); T3: correspondía a aplicación de biol de vacuno a las siguientes concentraciones (400, 300 y 200 mL/12 L). Obteniendo los siguientes resultados en número de hojas: T0 tuvo 12,33 unidades; T1:11,33 unidades a (400 mL/12 L); T2: 8,67 unidades (400 mL/12 L) y T3: 6.33 unidades a (300 mL/12L), y con respecto a la altura de la lechuga: T0: 33,63 cm; T1: 17,37 cm a (400 mL/12 L); T2: 13,70 cm (400 mL/12 L) y T3: 14,70 cm a (400 mL/12 L).

Montero (2024), ha realizado investigación en la ciudad de Huncayo-Junin, titulado la investigación “Evaluación comparativa del sistema acuapónico e hidropónico en producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.) en Centro Piscícola El Ingenio-2023”.donde ha aplicado dos tipos de sistemas para la producción de lechugas, siendo el primero sistema de acuaponía se ha reaprovechado agua residual de la piscícola mediante filtración en pozo de sedimentación y el otro sistema fue hidropónico con solución química comercial; ambos sistemas fueron de tipo raíz flotante en el cultivo de lechuga.

Obteniendo los resultados: altura total de la lechuga, altura de raíz, altura de hojas, número de hojas y biomasa de lechuga; en acuaponía se logró $19,73 \pm 3,44$ cm en altura de hojas y $11,30 \pm 1,97$ en número de hojas (unidades) de la lechuga; mientras en hidroponía se logró $21,39 \pm 3,28$ cm en altura de hojas y $13,38 \pm 3,31$ en número de hojas (unidades) de la lechuga. Llegando a la conclusión de que ambos sistemas son eficientes en la producción de lechuga, pero el sistema acuapónico tiene ventajas en términos de sostenibilidad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concepto de biofertilizante líquido

Los biofertilizantes son productos biológicos que están compuestos por microorganismos vivos (hongos y/o bacterias) que favorecen mejor la nutrición, desarrollo y producción de las plantas; con estos fertilizantes biológicos podemos agregar el nivel de fertilizadas de los suelos, minimizar costos de producción, aumentar cantidad de producción y reducir la contaminación ambiental; con ello se logra la sostenibilidad agrícola. Por ello, la agricultura orgánica, familiar, urbana y a grandes escalas tiene la alternativa de solución en los biofertilizantes, porque científicamente están demostrados los beneficios que se logran en la tierra agrícola (Yurivilca, 2023).

En ese sentido el biol o biofertilizantes o llamado también bioabono se logra del proceso de digestión anaerobia, que es la descomposición de los residuos orgánicos realizados por los diferentes microorganismos en ambiente sin oxígeno, producto de ello se generan aminoácidos, amoníaco, nitrógeno, vitaminas y hormonas vegetales y otros macro y micronutrientes, todos ellos favorecen para la producción agrícola, el enraizamiento, crecimiento y fotosíntesis de las plantas; asimismo sirve para la fertilidad del suelo, aumenta la calidad y cantidad de cosechas, apoya en adquirir la resistencia a plagas y enfermedades, cambio climático, y reduce la contaminación ambiental por ello es una alternativa sostenible en comparación a los fertilizantes químicos (Gil et al., 2023).

2.2.2. importancia de la producción del biofertilizante con productos orgánicos

Sostenibilidad ambiental: El biofertilizante, también conocido como biofertilizante, es un producto elaborado a partir de materiales orgánicos como estiércol, restos de cosechas, residuos vegetales, entre otros. Al utilizar estos materiales en lugar de fertilizantes químicos sintéticos, se promueve la sostenibilidad ambiental al reducir la dependencia de recursos no renovables y minimizar la contaminación del suelo, agua y aire (Gavilan, 2021).

Mejora de la calidad del suelo: El biofertilizante es una fuente de nutrientes y microorganismos beneficiosos para el suelo. Al aplicarlo, se enriquece la calidad y fertilidad del suelo, lo que favorece el crecimiento de las plantas y mejora su resistencia frente a enfermedades y plagas. Además, el biofertilizante ayuda a mejorar la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes (Altamirano, 2020).

Reducción de residuos y reciclaje: La producción de biofertilizante se basa en el uso de residuos orgánicos, lo que contribuye a reducir la cantidad de desechos que se generan y evita su acumulación en vertederos o su quema, lo cual puede generar impactos negativos en el medio ambiente. Al reciclar estos residuos, se les da un nuevo propósito y se aprovecha su potencial como fuente de nutrientes para las plantas (Caballero, 2020).

Agricultura orgánica: Según (Morales, 2020), el biofertilizante es un elemento fundamental en la agricultura orgánica, que promueve el cultivo de alimentos sin el uso de productos químicos sintéticos. Al utilizar biofertilizante como fertilizante, se evita la aplicación de agroquímicos dañinos para la salud humana y el medio ambiente. Esto contribuye a la producción de alimentos más saludables y a la preservación de los ecosistemas agrícolas a largo plazo.

Costos y accesibilidad: La producción de biofertilizante a base de productos orgánicos puede ser más económica y accesible para los agricultores, especialmente en comparación con los fertilizantes químicos sintéticos. Los materiales orgánicos utilizados en la elaboración del biofertilizante suelen ser de bajo costo o incluso residuos disponibles localmente. Esto permite a los agricultores reducir sus gastos y hacer un uso eficiente de los recursos disponibles en su entorno (Gavilan, 2021).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Biofertilizante

El término "biofertilizante" se maneja para referirse a una mezcla orgánica líquida utilizada como fertilizante en la agricultura. El biofertilizante se obtiene a través de la fermentación de materiales orgánicos, como estiércol, restos vegetales y otros desechos biodegradables. Durante el proceso de fermentación, se producen compuestos ricos en nutrientes que pueden ser utilizados por las plantas como fuente de nutrientes (Arenas, 2021).

2.3.2. Biodigestor

Es un sistema o dispositivo diseñado para viabilizar el proceso de descomposición de materias orgánicas en ambientes anaerobios; como producto de esta actividad se generan gases que fácilmente se pueden reaprovechar como energía; en este sistema los microorganismos son los que realizan el trabajo de descomposición, integrando estos microorganismos como las arqueas, bacterias y otros (Cabos, et al., 2019).

2.3.3. Proceso anaerobio

Es el proceso de descomposición sin presencia de oxígeno, llamado ambiente anaerobia; la actividad la desarrollan los microorganismos descomponedores; la transformación ocurre de productos complejos a productos más simples, como dióxido de carbono, metano, compuestos orgánicos volátiles y subproductos no digeribles (Cabos et al., 2019).

2.3.4. Residuos orgánicos del hogar

Los residuos orgánicos del hogar, como restos de comida, cáscaras de frutas y verduras, son una fuente importante de materia orgánica y nutrientes. Estos residuos contienen una alta proporción de carbono y nitrógeno, lo que los hace adecuados para la producción de biogás y biofertilizante. Durante la fermentación anaerobia en el biodigestor, los microorganismos, principalmente bacterias y arqueas, descomponen la

materia orgánica en ausencia de oxígeno y producen biogás, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, y biofertilizante, un líquido rico en nutrientes solubles (Guzman, 2019).

2.3.5. Residuos de pescado

Según (Gómez & Lara, 2022), los residuos de pescado, como vísceras, espinas y escamas, son ricos en proteínas, lípidos y otros nutrientes valiosos. Estos residuos son fácilmente degradables por microorganismos anaerobios en el biodigestor, y la fermentación anaerobia de los residuos de pescado produce biogás y biofertilizante. Además de los nutrientes, el biofertilizante obtenido a partir de los residuos de pescado puede contener ácidos orgánicos y enzimas que pueden promover el crecimiento de las plantas y mejorar la fertilidad del suelo.

2.3.6. Residuos de ganadería.

Comprende gran variedad de desechos orgánicos de la ganadería: vacunos, caprinos, ovinos, porcinos, de aves de corral, cuyes y otros; estos residuos son ricos en nitrógeno y otros nutrientes (Cabos et al., 2019).

2.3.7. Cultivo hidropónico

Es un sistema de cultivo alternativo a lo tradicional, que busca el cuidado del medio ambiente y una visión sostenible de la generación de alimentos, este sistema no emplea directamente el suelo sino el agua para producir para ello se emplea las soluciones hidropónicas, siendo estas una dosificación requerida según las plantas; con esta técnica se producen de forma rápida y cantidades mayores y dando productos inocuos, de esta forma cuida la salud humana y salud ambiental (Albuja, Andrade, Lucano y Rodríguez, 2021).

2.3.8. Sistema raíz flotante

Este sistema hidropónico consiste en que las raíces de las plantas entran en contacto con la solución hidropónica y las plantas están durante su proceso de producción

en contacto con fertilizante y agua, siendo esta técnica de manejo rentable y fácil (Juárez et al., 2022).

2.3.9. Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La lechuga es hortaliza de hoja, teniendo gran acogida en la horticultura; se produce para mercado nacional e internacional, ya que se consume a nivel mundial, abarcando grandes variedades; actualmente es altamente producida en sistema hidropónica (Juárez et al., 2022).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El Tipo de estudio es aplicada, porque se buscó producir biofertilizantes para la aplicación en hidroponía con lechugas, siendo una alternativa sostenible en la agricultura; el tratamiento de los datos es cuantitativa, al cuantificar las respuestas.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue experimental; por ello se elaboró fertilizantes con diferentes dosis de materiales orgánicos; asimismo, se aplicó las diferentes concentraciones de biofertilizantes para el cultivo hidropónico de lechuga.

3.2. Población y/o muestra de estudio

La población estaba integrada por biofertilizantes elaboradas, siendo tres tratamientos contenidos en 70 litros cada uno con tres réplicas, y la muestra fue el mejor biofertilizante que contenía los macros y micronutrientes para su empleo en sistema hidropónica.

Por otro lado, la población de Lactuca sativa (lechuga) estaba comprendida de 3 almácigos, conteniendo cada uno de 50 plántulas de Lactuca sativa, y la muestra de estudio fue de 3 plántulas de lechuga en sistema hidropónica con 3 repeticiones, conteniendo 3 tratamientos a diferentes concentraciones de biofertilizantes (0,158; 0,105 y 0,053); posteriormente, las lechugas en etapa de cosecha se han sometido a los análisis del laboratorio en parámetros microbiológicos.

3.3. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto

3.3.1. Elaboración de biofertilizante de calidad

Como primera actividad, se diseñó y construyó los sistemas de tratamiento anaerobio, comprendiendo nueve biodigestores de capacidad de setenta litros, comprendiendo entre sus componentes principales las tapas herméticas, con tres orificios (01 para salida de gases, 01 para alimentador y 01 para recolectar el biofertilizante) y un agitador manual.

Como siguiente actividad, se procedió a la formulación de materias orgánicas reaprovechadas para la producción de biofertilizantes, que se demuestra en la siguiente Tabla 1; estos materiales orgánicos fueron del ámbito local de Huamanga-Ayacucho, residuos orgánicos (restos de hortalizas, tubérculos, frutas y cáscaras de huevo) fueron obtenidos del Mercado Central F. Vivanco de la ciudad de Huamanga-Ayacucho y residuos ganaderos (estiércol de vacuno y de cuy) se obtuvo de los granjeros del distrito Vinchos y los residuos de pescado se obtuvieron del Mercado Central F. Vivanco de Huamanga-Ayacucho, las cantidades de cada materia orgánica se muestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

La formulación para biofertilizantes

Tratamiento	Residuos orgánicos (kg)	Melaza (kg)	Residuos pescado (kg)	Estiércol (kg)	R1	R2	R3
Biof-1	25,0	2,0	6,0	6,0 vacuno			
Biof-2	25,0	2,0	3,0	6,0 cuy			
Biof-3	25,0	2,0	0,0	3,0 cuy + 3,0vacuno			

*R significa repeticiones de cada tratamiento (T).

En función a la Tabla 1, se efectuaron las formulaciones para biofertilizantes (tipo 1, tipo 2 y tipo 3), para ello primeramente se realizaron pesaje de las materias primas, posteriormente se depositaron en los biodigestores los ingredientes y a todos ellos se añadió 4,0 kilogramos de inóculos provenientes de rumen de vacuno (obtenido del Camal Carmen Alto-Ayacucho), el cual es excelentes microorganismos para el proceso de

descomposición de residuos orgánicos (Cisneros et al., 2021); ya completo todos los ingredientes fueron mezclados logrando la uniformización con la ayuda de espátula de madera, finalmente, se añadió 30 litros de agua (sin cloro) a los biodigestores de biofertilizantes.

Los biodigestores de biofertilizantes permanecieron durante los 90 días, etapa del proceso de descomposición de forma anaerobio (sin presencia de oxígeno), cumpliendo los monitoreos en el proceso; llegado a los noventa días de producción de biofertilizantes, se realizó la recolección de muestras según “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, R.J. N° 010-2016-ANA” para los análisis de nutrientes (macro y micronutrientes) de los biofertilizantes llevados a cabo en el laboratorio especializado “MULTISERVICIOS AGROLAB”.

Los resultados de laboratorio de los biofertilizantes en macro y micronutrientes fueron estudiados y se seleccionó el resultado que se asemejó a solución hidropónica inorgánica; con el biofertilizante seleccionado se realizó el cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* (lechugas), las hortalizas han tenido control en el desarrollo a nivel de número de hojas, altura de las plantas y diámetro de la lechuga; finalmente, las lechugas en etapa de cosecha fueron analizados en parámetros microbiológicos (*E. Coli* y salmonella), en el laboratorio “INSPECCIONES LABORATORIOS SAC-LIMA”.

3.3.2. Cuantificación de la generación macronutrientes y micronutrientes del biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico

Para la cuantificación de la generación macronutrientes (P,K,N,S,Mg y Ca) y micronutrientes (Zn, Mn y Fe) del biofertilizante mediante reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico, los análisis se realizaron en el laboratorio “Multiservicios Agrolab”-Ayacucho, aplicando las siguientes metodologías indicadas por (Gil et al., 2023), ver Tabla 2.

Tabla 2

Métodos de los análisis de los nutrientes de biofertilizantes

Elementos	Método
Nitrógeno	Kjeldahl
óxido fosfórico	Fósforo reactivo
óxido de potasio	Espectroscopia de absorción atómica
óxido de calcio	Método de Permanganato
óxido de magnesio	Espectroscopia de absorción atómica
sodio	Fotómetro de llama
Ion tetraoxosulfato	Método azul metileno
hierro	Espectroscopia de absorción atómica
zinc	Espectroscopia de absorción atómica
manganeso	Espectroscopia de absorción atómica

3.3.3. Comparación el crecimiento de *Lactuca sativa*, según las dosis aplicadas de biofertilizantes en el cultivo hidropónico

Proceso de germinación de las lechugas se realizó en bandejas de germinación empleando sustrato arena fina (lavada con hipoclorito al 0,5 % más agua y secado al sol), el tiempo de germinación estaba en rango de 7 días en ambiente protegido con malla rachel (Medina et al., 2022).

Posteriormente, la etapa del trasplante se realizó a sistema hidropónico de tipo raíz flotante según las especificaciones por Juárez et al. (2022), la bandeja hidropónica de raíz flotante fue de 38 litros de capacidad; las dosificaciones de soluciones nutritivas de biofertilizante estaban comprendidas tomando de referencia lo mencionado por Palacios, Granados, Soto y Flores, (2021), para mayor detalle, ver Tabla 3.

Tabla 3

Formulación de solución de biofertilizante para hidroponía

Tratamiento	Concentraciones	Biofertilizante (L)	Agua (L)
1	0,158	6,0	32,0
2	0,105	4,0	34,0
3	0,053	2,0	36,0

En la etapa del cultivo de la lechuga hidropónica con biofertilizantes, se ha oxigenado el sistema hidropónico de forma manual y realizando todos los controles fisicoquímicos a la solución hidropónica y a la planta de lechugas, de esta manera se garantizó la adsorción de los macro y micronutrientes del biofertilizante, hasta la etapa de cosecha que se logró a los 35 días.

En esta etapa de desarrollo de las lechugas se han realizado las mediciones de diámetro de plantas, de altura de planta y número de hojas, correspondiendo a (0, 10, 20, 30 y 35) días; para mayor detalle se observan en la Tabla 4.

Tabla 4

Controles en el desarrollo de cultivo hidropónico

Controles	Unidad	Descripción
Número de hojas	unidad	Se contabilizó de manera manual todas las hojas de las plantas y se consideró el promedio del número de las hojas por cada tratamiento y las réplicas.
Altura de planta	cm	Se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice de la lechuga; para ello empleó regla en centímetros, se controló el promedio de altura de la planta por cada tratamiento y las réplicas.
Diámetro de plantas	cm	Se midió el diámetro de la cabeza de las lechugas con la ayuda de regla graduada y se controló el promedio de diámetro de la planta de lechuga por cada tratamiento y las réplicas.

3.3.4. Análisis de los parámetros microbiológicos (E. Coli y salmonella) de la lechuga producido con biofertilizante

Se realizó los análisis de los parámetros microbiológicos, siendo Escherichia Coli (E. Coli) y Salmonella spp. en la lechuga hidropónica producida con biofertilizante a diferentes concentraciones descritas en la Tabla 3; Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de “INSPECCIONES LABORATORIOS SAC”-LIMA, en cumplimiento de los procedimientos de calidad sanitaria e inocuidad para bebidas y alimentos de consumo humano indicado en la Resolución Ministerial N° 519-2008/MINSA.

3.4. Tratamiento estadístico

Todo el trabajo de procesamiento y análisis de datos se realizó en lenguaje de programación Python (versión 3). Primero se organizó la base con pandas: se cargó las hojas originales, se eliminó filas “PROMEDIO” cuando correspondía y creó etiquetas claras para cada tratamiento (tipo de biofertilizante con solución: 6,0 kg de pescado, 3,0 kg y sin pescado) y para cada dosis (0,158; 0,105 y 0,053). Con NumPy se realizó operaciones numéricas sencillas (comprobaciones de valores repetidos, redondeos y cálculos intermedios) y dejó listas las tablas que luego se reportaron en el documento y en los anexos.

Debido a que en varios grupos solo había tres repeticiones, se eligió un enfoque no paramétrico, más seguro con tamaños muestrales pequeños y sin suponer normalidad. Para contrastar diferencias entre tratamientos, primero aplicó la prueba global de Kruskal-Wallis con SciPy/statsmodels (función `kruskal`), informando el estadístico H, los grados de libertad y el valor p. Cuando la comparación global resultó significativa ($p < 0,05$), realizó comparaciones múltiples post hoc con el test de Dunn y corrección de Bonferroni usando `scikit-posthocs` (función `posthoc_dunn`) para identificar exactamente qué pares diferían. Para facilitar la lectura, se asignó letras a los grupos (la misma letra indica que no hay diferencias significativas; letras distintas indican diferencias). En variables sin variabilidad (por ejemplo, cuando todos los registros tienen el mismo valor), se omitió el post hoc y lo dejó indicado.

Con los datos de crecimiento en el tiempo (tallos, diámetros y número de hojas), se realizó una comparación final del día 35, donde sí existían tres réplicas por combinación; volvió a usar Kruskal-Wallis y, si aplicaba, Dunn-Bonferroni. Las figuras descriptivas (barras, líneas e histogramas) se elaboraron con `plotly` (`plotly.express` y `plotly.graph_objects`), y las tablas de salida en formato del informe se imprimieron con `tabulate`. En todo momento trabajó con un nivel de significancia de 0,05 e informó los p ajustados cuando hubo comparaciones múltiples.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Elaboración de biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico

Tabla 5

Comparación de ingresos y salidas de los biofertilizantes

Biofertilizantes	Promedio de ingreso (L)	Promedio de Salida (L)
Biof-1	70,0	66,48
Biof-2	70,0	67,03
Biof-3	70,0	64,80

*Biof significa tipo de biofertilizante.

En función a la tabla 5, se efectuaron las formulaciones para biofertilizantes, teniendo tres tipos de tratamientos: T1 (Biof-1), T2 (Biof-2) y T3 (Biof-3), a ellos se les añadió restos de pescado; al T1 se le agregó 6,0 kg, al T2 se le agregó 3,0 kg y al T3 no se le añadió restos de pescado; los biodigestores de biofertilizantes permanecieron durante los 90 días, ingresaron todos con promedio de 70,0 L de ingredientes de biofertilizantes y se obtuvo en promedio: Biof-1 de 66,48 L, Biof-2 de 67,03 L y Biof-3 de 64,80 L de biofertilizantes procesados.

Tabla 6

Promedios y prueba estadístico de Kruskal-Wallis para pH, CE y sodio

Variable	Biof-1	Biof-2	Biof-3	P-valor
	Promedios			
pH	5,85	7,81	7,78	0,066
CE (dS m ⁻¹)	21,67	19,47	17,43	0,027
Na (ppm)	511,33	480,00	460,00	0,023

En la Tabla 6, se observa promedio de pH (Biof-1 de 5,85; Biof-2 de 7,78 y Biof-3 de 7,78), de CE (dS m⁻¹) se observan (Biof-1 de 21,67; Biof-2 de 19,47 y Biof-3 de

17,43) y de Na (ppm) se observan (Biof-1 de 511,33; Biof-2 de 480,00 y Biof-3 de 460,00), mientras la prueba de Kruskal Wallis solo muestra un cambio significativo en la conductividad y la cantidad de Sodio. Si bien el pH varió con cada solución, ese cambio no se registró como significativo.

Tabla 7

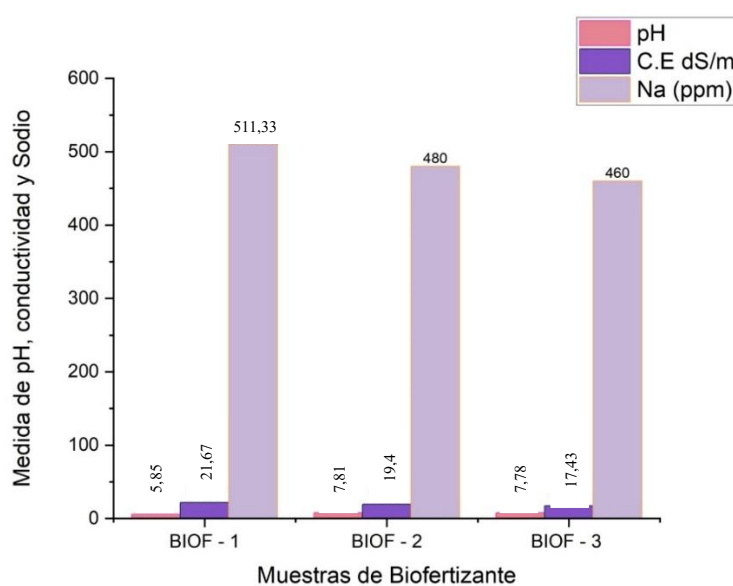
Letras de Dunn-Bonferroni para pH, CE y sodio

Variable	Con pescado 6,0 kg	Con pescado 3,0 kg	Sin pescado
pH	a	a	a
CE (dS m ⁻¹)	a	a	b
Na (ppm)	a	a	b

En la Tabla 7, el pH se mantiene estable entre tratamientos, situándose en un rango compatible con cultivos hidropónicos. Sin embargo, la conductividad eléctrica y el contenido de sodio aumentan significativamente cuando se emplean 6,0 kg de pescado; la formulación con 3,0 kg alcanza valores intermedios estadísticamente equivalentes a los de 6,0 kg. Estos incrementos reflejan la mayor carga de iones totales asociada a la materia orgánica adicionada.

Figura 1

Resultados fisicoquímicos de los biofertilizantes



En la Figura 1, se ilustran los resultados de los tres tipos de biofertilizantes en la etapa de final día 90, en relación a resultados de conductividad eléctrica, pH y sodio; el biof-1 se mostró 511,33 de Na (ppm); 21,67 en C.E (dS/m) y 5,85 en pH; el biof-2 resultó 480 de Na (ppm); 19,47 en C.E (dS/m) y 7,81 en pH; biof-3 evidenció 460 de Na (ppm), 17,43 en C.E (dS/m) y 7,78 en pH.

4.2. Cuantificación de la generación macronutrientes del biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico

Tabla 8

Prueba de Kruskal-Wallis para las variables macronutrientes

Macronutrientes	H	gl	p
N (ppm)	7,32	2	0,026
P ₂ O ₅ (ppm)	7,26	2	0,027
K ₂ O (ppm)	7,45	2	0,024
CaO (ppm)	7,32	2	0,026
MgO (ppm)	7,58	2	0,023
SO ₄ ²⁻ (ppm)	7,20	2	0,027

En la Tabla 8, se observa la prueba de Kruskal-Wallis indica que al menos una solución es significativamente distinta para cada medida de Macronutrientes (p menor a 0,05). Es entonces que se justifica el uso de la prueba Dunn para obtener mayor información.

Tabla 9

Letras de Dunn-Bonferroni para los macronutrientes

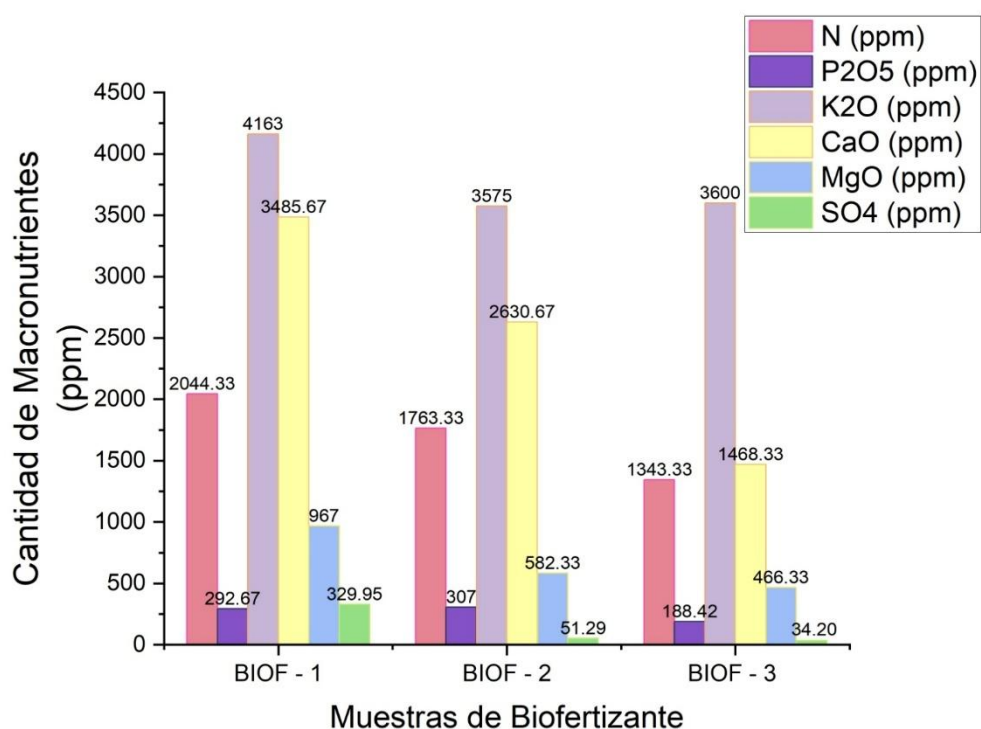
Variable	Con pescado 6,0 kg	Con pescado 3,0 kg	Sin pescado
N (ppm)	a	a	b
P ₂ O ₅ (ppm)	a	a	b
K ₂ O (ppm)	a	b	a
CaO (ppm)	a	a	b
MgO (ppm)	a	a	b
SO ₄ ²⁻ (ppm)	a	a	b

En la Tabla 9, el análisis de Dunn revela que el biofertilizante elaborado con 6,0 kg de pescado presenta las concentraciones más altas en todos los macronutrientes analizados y se diferencia significativamente del control sin pescado. La formulación con

3,0 kg de pescado muestra valores intermedios: coincide estadísticamente con la de 6,0 kg en todas las variables salvo el potasio (K_2O), donde su mediana es inferior. El tratamiento sin pescado exhibe las menores concentraciones y difiere de al menos uno de los tratamientos con pescado en cada macronutriente, confirmando la importancia del aporte proteico para enriquecer la solución. Los resultados se pueden corroborar con los Anexos, Tabla 19-24.

Figura 2

Cantidad de macronutrientes por cada muestra de biofertilizante



En la Figura 2, se ilustran los resultados de los tres tipos de biofertilizantes en la correspondiente a los macronutrientes: el biof-1 mostró 4163 de K_2O (ppm); 3485,67 en CaO (ppm); 2044,33 de N (ppm); 967 MgO (ppm); 329,95 de SO_4 (ppm) y 292,67 de P_2O_5 (ppm); el biof-2 se mostró 3575 de K_2O (ppm); 2630,67 en CaO (ppm); 1763,33 de N (ppm), 582,33 MgO (ppm), 307 de P_2O_5 (ppm) y 51,29 de SO_4 (ppm); el biof-3 se mostró 3600 de K_2O (ppm); 1468,33 en CaO (ppm); 1343,33 de N (ppm); 466,33 MgO (ppm); 188,42 de P_2O_5 (ppm) y 34,20 de SO_4 (ppm).

4.3. Cuantificación de la generación de micronutrientes del biofertilizante por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico

Tabla 10

Prueba de Kruskal-Wallis para las variables micronutrientes

Variable	H	gl	p
Fe (ppm)	7,32	2	0,026
Zn (ppm)	7,09	2	0,029
Mn (ppm)	7,38	2	0,025

En la Tabla 10, la prueba de Kruskal-Wallis indica que al menos una solución es significativamente distinta para cada medida de Micronutrientes (p menor a 0,05). Es entonces que se justifica el uso de la prueba Dunn para obtener mayor información. Notar que la cantidad de cobre se mantiene constante en cada solución.

Tabla 11

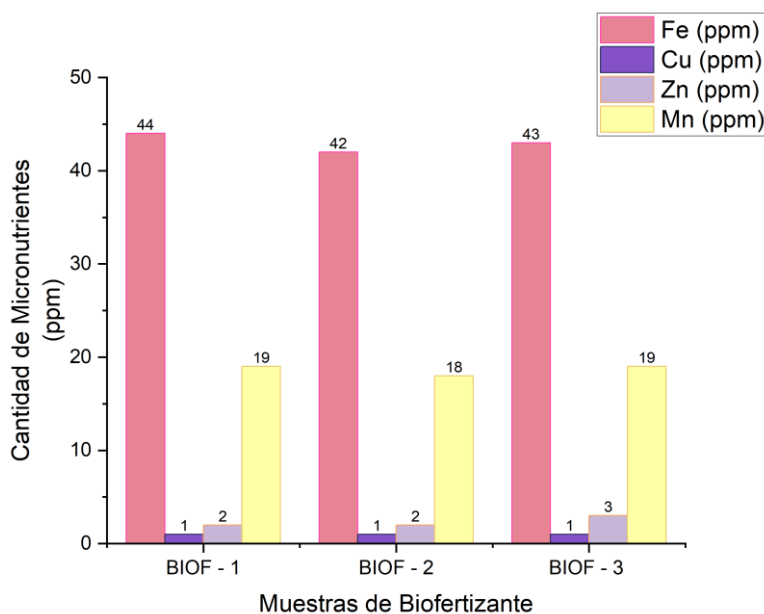
Letras de Dunn-Bonferroni para los micronutrientes

Variable	Con pescado 6 kg	Con pescado 3 kg	Sin pescado
Fe (ppm)	a	a	b
Zn (ppm)	b	a	a
Mn (ppm)	a	a	b

En la Tabla 11, los tratamientos con pescado incrementan de forma significativa las concentraciones de hierro y manganeso respecto al control, evidenciando un enriquecimiento consistente de estos micronutrientes. El zinc muestra un patrón diferente: la dosis de 6,0 kg registra la mediana más baja, diferenciándose del tratamiento con 3,0 kg, mientras que el control ocupa una posición intermedia sin diferencias significativas, ver Anexo Tabla 26-28. Este comportamiento sugiere que la disponibilidad de zinc puede verse limitada a dosis altas por mecanismos de complejación o precipitación.

Figura 3

Cantidad de micronutrientes por cada muestra de biofertilizante



En la Figura 3, se ilustran los resultados de los tres tipos de biofertilizantes en la correspondiente a los micronutrientes: el biof-1 se mostró 44 de Fe (ppm), 19 Mn (ppm), 2 de Zn (ppm), 1 de Cu (ppm); el biof-2 se mostró 42 de Fe (ppm), 18 Mn (ppm), 2 de Zn (ppm), 1 de Cu (ppm); el biof-3 se mostró 43 de Fe (ppm), 19 Mn (ppm), 3 de Zn (ppm), 1 de Cu (ppm).

4.4. Comparación del crecimiento de *Lactuca sativa*, según las dosis aplicadas de biofertilizantes en el cultivo hidropónico

4.4.1. Número de hojas de la lechuga

Tabla 12

Prueba de Kruskal-Wallis sobre el número de hojas finales

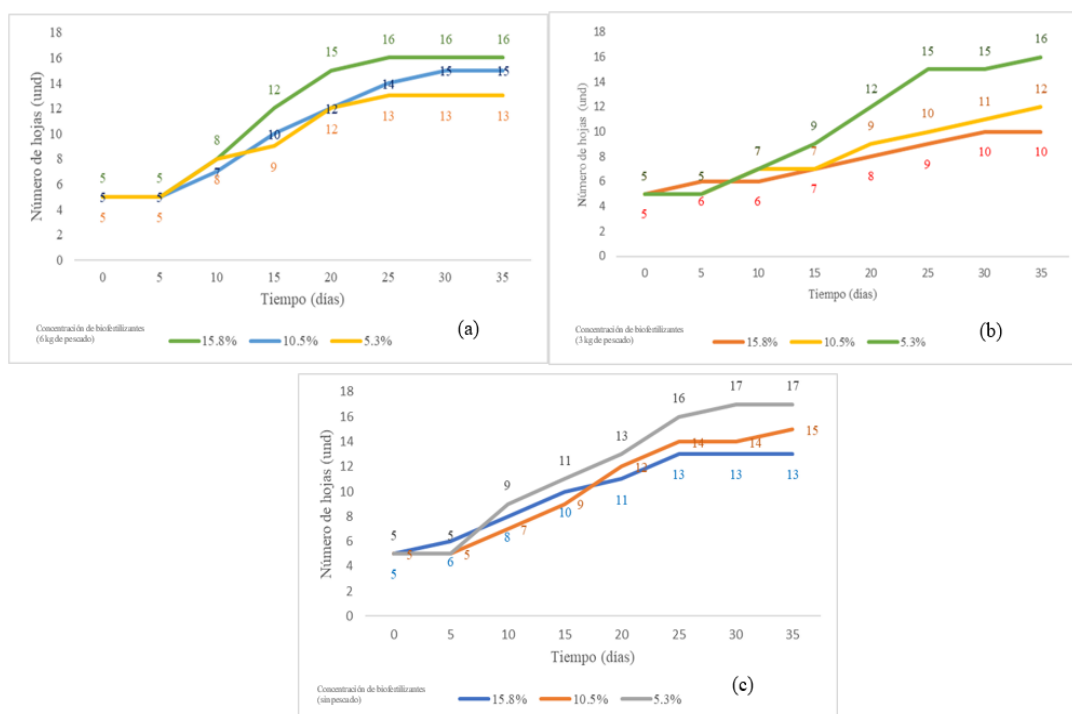
Estadístico	G1	Sig. asintótica (bilateral)
26,00	8	0,001

El contraste no paramétrico reveló diferencias significativas entre los nueve tratamientos, $\chi^2(8) = 26,00$, $p = 0,001$, Por consiguiente, al menos un grupo difiere en el

número de hojas producidas al cierre del experimento (día 35). Sin embargo, el análisis post-hoc (Tabla 12; Anexo Tabla 29) mostró que, tras la corrección de Bonferroni, ningún par concreto mantuvo diferencias, sugiriendo que la señal global obedece a variaciones pequeñas y distribuidas de manera uniforme entre tratamientos. Es decir, no existen diferencias significativas de ninguna concentración y solución.

Figura 4

Desarrollo de número de hojas de las lechugas hidropónica



En la Figura 4 se observan resultados de comparación de número de hojas de lechuga con biofertilizantes de tres tipos y a distintas concentraciones en 35 días de producción hidropónica. (a) desarrollo a lo largo del tiempo de número de hojas de lechuga con biofertilizante tipo 1, con concentración 0,158 se produjo 16 hojas de lechuga, con concentración 0,105 se produjo 15 hojas de lechuga y con concentración 0,053 se produjo 13 hojas de lechuga; (b) desarrollo a lo largo del tiempo de número de hojas de lechuga con biofertilizante tipo 2, con concentración 0,158 se produjo 10 hojas de lechuga, con concentración 0,105 se produjo 12 hojas de lechuga y con concentración 0,053 se produjo 16 hojas de lechuga; (c) desarrollo a lo largo del tiempo de número de

hojas de lechuga con biofertilizante tipo 3, con concentración 0,158 se produjo 13 hojas de lechuga, con concentración 0,105 se produjo 15 hojas de lechuga y con concentración 0,053 se produjo 17 hojas de lechuga.

4.4.2. Altura de la planta de lechuga

Tabla 13

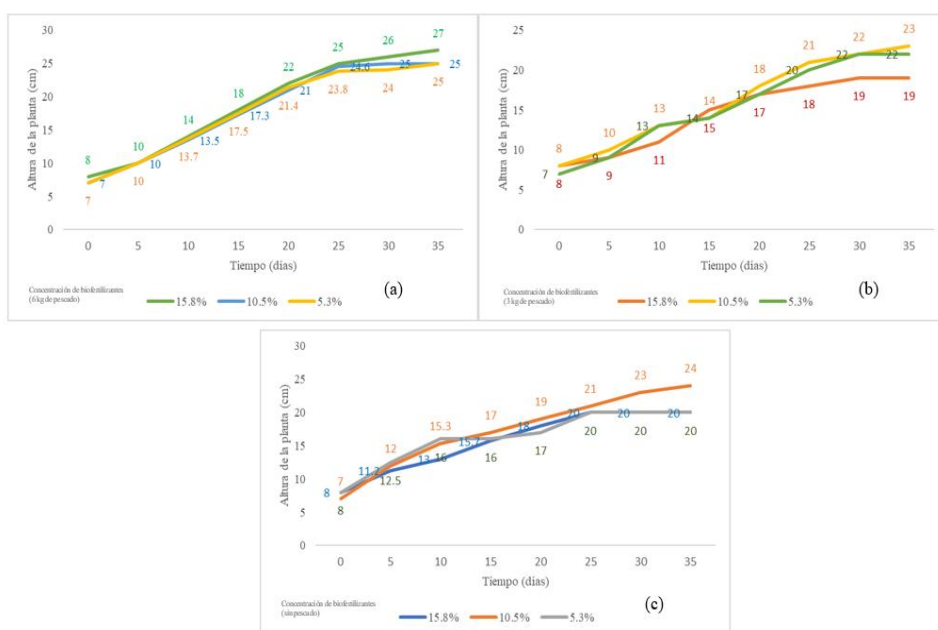
Prueba de Kruskal-Wallis sobre la altura final de la planta

Estadístico	G1	Sig. asintótica (bilateral)
25,66	8	0,001

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en altura entre los tratamientos, $\chi^2(8) = 25,66$; $p = 0,001$, El examen de comparaciones múltiples (Tabla 13; Anexo Tabla 30) indicó que la lechuga cultivada sin pescado al 0,053 alcanzó alturas mayores que varios de los demás grupos, lo que sugiere un efecto positivo del menor nivel de nutrientes animales sobre el crecimiento vertical cuando la concentración del biofertilizante es baja.

Figura 5

Desarrollo de altura de las lechugas hidropónica



En la Figura 5, se observan resultados de comparación de las alturas de las lechugas con biofertilizantes diferentes y a distintas concentraciones. (a) desarrollo a lo largo del tiempo de las alturas de las lechugas con biofertilizante tipo 1, con concentración 0,158 creció 27 cm de altura de la lechuga, con concentraciones de 0,105 y 0,053 crecieron 25 cm de altura de la lechuga; (b) desarrollo a lo largo del tiempo de las alturas de las lechugas con biofertilizante tipo 2, con concentración 0,158 creció 19 cm de altura de la lechuga, con concentración de 0,105 creció 23 cm de altura de la lechuga y con concentración de 0,053 creció 22 cm de altura de la lechuga; (c) desarrollo a lo largo del tiempo de las alturas de las lechugas con biofertilizante tipo 3, con concentraciones de 0,105 creció 24 cm de altura de la lechuga y con concentraciones de 0,158 y 0,053 crecieron 20 cm de altura de la lechuga hidropónica.

4.4.3. Diámetro de la planta de la lechuga

Tabla 14

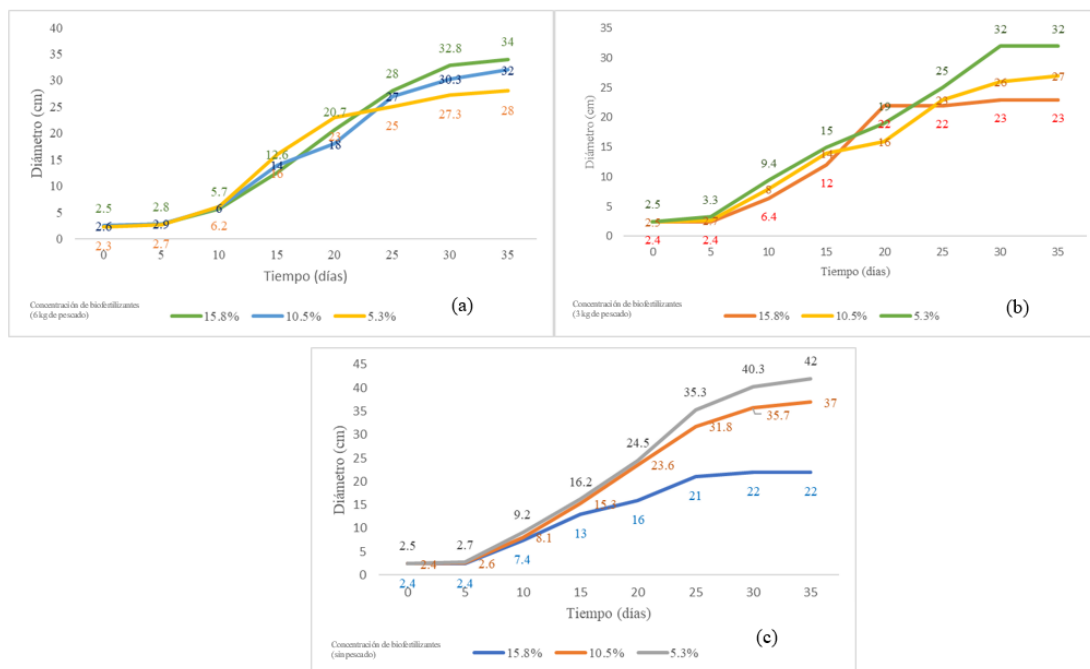
Prueba de Kruskal-Wallis sobre el diámetro final de la planta

Estadístico	G1	Sig. asintótica (bilateral)
25,52	8	0,001

El diámetro mostró diferencias globales significativas entre tratamientos, Estadístico (8) = 25,52; $p = 0,001$, Las comparaciones pareadas (Tabla 14; Anexo Tabla 31) identificaron un único contraste significativo: la solución con 3 kg de pescado al 0,158 produjo un cogollo más ancho que la solución con 6 kg de pescado a la misma concentración. Así, reducir la carga de pescado en la dosis alta del biofertilizante favoreció el engrosamiento de la lechuga, mientras que las demás combinaciones no difirieron entre sí.

Figura 6

Desarrollo del diámetro de las lechugas hidropónica



En la Figura 6, se observan resultados de comparación de diámetros de las lechugas con biofertilizantes diferentes y a distintas concentraciones. (a) desarrollo a lo largo del tiempo del diámetro de las lechugas con biofertilizante tipo 1 con concentración: 0,158 se obtuvo 34 cm de diámetro de la lechuga, con concentraciones de 0,105 se logró 32 cm de diámetro de la lechuga y con 0,053 se logró 28 cm diámetro de la lechuga; (b) desarrollo a lo largo del tiempo del diámetro de las lechugas con biofertilizante tipo 2, con concentración 0,158 se obtuvo 23 cm de diámetro de la lechuga, con concentraciones de 0,105 se logró 27 cm de diámetro de la lechuga y con 0,053 se logró 32 cm diámetro de la lechuga; (c) desarrollo a lo largo del tiempo del diámetro de las lechugas con biofertilizante tipo 3, con concentración 0,158 se obtuvo 22 cm de diámetro de la lechuga, con concentraciones de 0,105 se logró 37 cm de diámetro de la lechuga y con 0,053 se logró 42 cm diámetro de la lechuga.

4.5. Análisis de los parámetros microbiológicos (e. Coli y salmonella) de la lechuga producido con biofertilizante

Tabla 15

Análisis microbiológico de lechugas con biofertilizantes tipo 1

Ensayos	Unidades	Biof. 0,158	Biof. 0,105	Biof. 0,053
Numeración de Escherichia coli	NMP/g	23	93	9,2
Detección de Salmonella spp	Salmonella spp/25g	No detectado	No detectado	No detectado

En la Tabla 15 se observan resultados de análisis microbiológico de lechugas producidas con biofertilizantes tipo 1 que contenía 6 kg de residuos de pescados se ha obtenido los siguientes resultados de numeración de Escherichia Coli con biofertilizante a concentración de 0,158 se logró 23 NMP/g, a concentración de 0,105 se logró 93 NMP/g y a concentración de 0,053 se logró 9,2 NMP/g, mientras tanto con respecto al parámetro microbiológicos Salmonella SPP no se ha detectado en los análisis de las lechugas hidropónicas.

Tabla 16

Análisis microbiológico de lechugas con biofertilizantes tipo 2

Ensayos	Unidades	Biof. 0,158	Biof. 0,105	Biof. 0,053
Numeración de Escherichia coli	NMP/g	0,36	0,92	0,73
Detección de Salmonella spp	Salmonella spp/25g	No detectado	No detectado	No detectado

En la Tabla 16 se observan resultados de análisis microbiológico de lechugas producidas con biofertilizantes tipo 2 que contenía 3 kg de residuos de pescados se ha obtenido los siguientes resultados de numeración de Escherichia Coli con biofertilizante a concentración de 0,158 se logró 0,36 NMP/g, a concentración de 0,105 se logró 0,92 NMP/g y a concentración de 0,053 se logró 0,73 NMP/g, mientras tanto con respecto al parámetro microbiológicos Salmonella SPP no se ha detectado en las concentración utilizadas.

Tabla 17

Análisis microbiológico de lechugas con biofertilizantes tipo 3

Ensayos	Unidades	Biof. 0,158	Biof. 0,105	Biof. 0,053
Numeración de Escherichia coli	NMP/g	0,36	0,0	0,0
Detección de Salmonella spp	Salmonella spp/25g	No detectado	No detectado	No detectado

En la Tabla 17 se observan resultados de análisis microbiológico de lechugas producidas con biofertilizantes tipo 3 que no contenía residuos de pescados se ha obtenido los siguientes resultados de numeración de Escherichia Coli con biofertilizante a concentración de 0,158 se logró 0,36 NMP/g, a concentración de 0,105 se logró 0,0 NMP/g y a concentración de 0,053 se logró 0,0 NMP/g, mientras tanto con respecto al parámetro microbiológicos Salmonella SPP no se ha detectado en las concentración utilizadas.

DISCUSIÓN

Con el objetivo de elaborar biofertilizante de calidad y estimar los macro y micronutrientes en el cultivo hidropónico, los resultados obtenidos en el primer Biof-1 se obtuvo N (2044,33 ppm), P₂O₅ (292,67 ppm), K₂O (4163ppm), CaO (3485,67ppm), MgO (967 ppm), SO₄ (329,95 ppm), en Biof-2 se obtuvo N (1763,33ppm), P₂O₅ (307 ppm), K₂O (3575ppm), CaO (2630,67ppm), MgO (582,33ppm), SO₄ (51,29ppm), en el Biof-3 presento N (1343,33ppm), P₂O₅ (188,42 ppm), K₂O (3600ppm), CaO (1468,33ppm), MgO (466,33ppm), SO₄ (34,20 ppm). En cuanto a los micronutrientes, en el Biof-1 se obtuvo Fe (44ppm), Cu (1ppm), Zn (2ppm), Mn (19ppm), en el Biof-2 se detectó Fe (42ppm), Cu (1ppm), Zn (2ppm), Mn (18ppm), en el Biof-3 se visualizó Fe (43ppm), Cu (1ppm), Zn (3ppm), Mn (19ppm). Esto quiere decir que el Biof-1 muestra altos valores de macro y micronutrientes a comparación de Biof-2 Y Biof-3. Estos resultados son respaldados por Haryanta et al. (2023), en el biofertilizante que desarrolló, se observan micro y macronutrientes con alto valor, que se traduce en buena calidad de biol. En esa línea se encuentra Palomino et al. (2022), que en su experimento detectó altos niveles de micro y macronutrientes; el biofertilizante con esos parámetros mejora la calidad del cultivo. Asimismo, Rojas et al. (2023), han demostrado que en la elaboración de biofertilizantes solo empleando estiércoles de animales, los resultados de nutrientes son menores y mejora agregando pasto cortado; también Medina et al. (2022) resalta que la importancia del biofertilizante radica en el rendimiento del cultivo, de igual forma que es una opción ecológica y económica los biofertilizantes. Comparando los resultados obtenidos en esta investigación, indicamos que los macronutrientes y micronutrientes son excelentes y aún mejores en macronutrientes al añadir 6,0 kg de restos de pescado, siendo una excelente alternativa a los fertilizantes sintéticos para la producción agrícola.

Con el objetivo de evaluar la influencia de la dosis de biofertilizante en el desarrollo de la Lactuca Sativa “lechuga”, los resultados reflejaron en el número de hojas de la lechuga Biof-1 con concentración de 0,158 (16 unidades); al 0,105 (15 unidades), al 0,053 (13 unidades); Biof-2 con concentración de 0,158 (10 unidades); 0,105 (12 unidades); 0,053 (16 unidades); Biof-3 en concentración 0,158 (13 unidades); 0,105 (15 unidades); 0,053 (17 unidades). En la altura de la planta de lechuga, el Biof-1 con

concentración de 0,158 (27cm); 0,105 (25cm); 0,053 (25cm); Biof-2 con concentración al 0,158 (19cm); 0,105 (23cm); 0,053 (22cm) y el Biof-3 con concentración al 0,158 (20cm); 0,105 (24cm); 0,053 (20cm). Con respecto al diámetro de la lechuga en el Biof-1 con concentración de 0,158 (34cm); 0,105 (32cm); 0,053 (28cm); Biof-2 con concentración de 0,158 (23cm); 0,105 (27cm); 0,053 (32cm); Biof-3 con concentración de 0,158 (22cm); 0,105 (37cm); 0,053 (42cm). Esto quiere decir que sí existen diferencias significativas globales entre las pruebas ($p < 0,05$) en cuanto a número de hojas, altura y diámetro de las lechugas. Los mejores resultados en desarrollo de las lechugas se encontraron con biof-1 (a concentración de 0,158 de biofertilizante); alcanzó 16 hojas, 33,97 cm de altura y 26,97cm de diámetro de la lechuga, y con biof-3 (a concentración de 0,053 de biofertilizante) resultó 17 hojas y 41,97 cm de altura de la planta de lechuga. En ese sentido, los investigadores han encontrado diferentes resultados; Endoh et al. (2024) indica que con biofertilizante líquido se puede encontrar hasta 22,5 unidades de hojas de lechuga en promedio. Asimismo, Rosales (2023) indica que en promedio se alcanzó 18 hojas con el uso del biol en la producción de lechuga; también, Chambi (2022) reafirma que al emplear biofertilizantes líquidos orgánicos, en promedio se obtuvo 14,89 hojas. Adicionalmente. Silva (2024) indica que en su experimento en producción de lechuga con biol obtuvo un promedio 32,73 hojas; acotando Pilco (2022) ha encontrado número de hojas de lechuga con aplicación de diferentes bioles: con T0 (testigo solución nutritiva química): 12,33 und; T1:11,33 und a (con biol de cuy a 400 mL/12 L); T2: 8,67 und (biol de ovino con 400 mL/12 L) y T3: 6,33 und a (biol de vacuno con 300 mL/12L) y finalmente, Montero (2024) encontró en acuaponía $11,30 \pm 1,97$ en número de hojas (unid) de la lechuga; mientras en hidroponía se logró $13,38 \pm 3,31$ en número de hojas (unid) de la lechuga. Asimismo, con respecto a la altura de la planta de lechuga, Pilco (2022), ha encontrado con aplicación de diferentes bioles: T0 (solución nutritiva químico): 33,63 cm; T1: 17,37 cm (biol de cuy a 400 mL/12 L); T2: 13,70 cm (biol de ovino a 400 mL/12 L) y T3: 14,70 cm a (biol de vacuno a 400 mL/12 L). Finalmente, Rosales (2023) obtuvo 29,05 cm de diámetro foliar de lechuga. Comparando nuestros resultados obtenidos con diferentes respuestas de investigadores en el desarrolla de las plantas de lechuga observamos resultados cercanas o similares y también al comparar con solución nutritiva química; con ello indicamos que la lechuga producida con biofertilizantes ha sido de calidad, finalmente considerar lo dicho por Chowdhury et al.

(2024) que indican que el uso de fertilizantes orgánicos líquidos genera un crecimiento superior en comparación con otras; tal como demostramos con las diferentes concentraciones y tipos de biofertilizantes.

Con el objetivo de analizar parámetros microbiológicos (salmonella y E. Coli) en *Lactuca Sativa* “lechuga” producido con biofertilizantes en el sistema hidropónico, los resultados arrojaron en la detección *Echerechia Coli* (E. Coli) con Biof-1 a concentración de 0,158 se obtuvo 23 NMP/g; a 0,105 se detectó 93 NMP/g y a 0,053 se detectó 9,2 NMP/g de E. Coli; mientras en Biof-2 a concentración de 0,158 se obtuvo 0,36 NMP/g, a 0,105 se detectó 0,92 NMP/g y a 0,053 se detectó 0,73 NMP/g de E. Coli y finalmente en Biof-3 a concentración de 0,158 se obtuvo 0,36 NMP/g, y a concentraciones de biofertilizantes de 0,105 y 0,053 se obtuvo resultados de 0,0 NMP/g de E. Coli; con respecto a los resultados de *Salmonella spp/25g* no se han detectado en ninguna de las muestras analizadas. Comparando con la Normativa sanitaria peruana (MINSa, 2008), los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran por debajo del Límite máximo Permisible (LMP) de E. Coli y *salmonella spp/25g*, asimismo indicar que las lechugas no han sido desinfectadas y lavadas, por ende, es muy importante realizar el lavado y desinfección correcto con productos seguros para garantizar la inocuidad del alimento tal como sugieren los investigadores en sus estudios (Zaman et al., 2024). También los resultados obtenidos son respaldados por Mickos et al (2025), que en su investigación detectaron niveles permisibles de *salmonella* y E. Coli en cultivo hidropónico (sistema de recirculación), lo que hace seguro su producción, pues se reduce el riesgo de contraer enfermedades por ingesta de alimentos. Analizando estos resultados, podemos afirmar que el cultivo de lechuga a partir del biofertilizante orgánico líquido es de calidad y es apto para el consumo humano.

CONCLUSIONES

1. Se ha elaborado y demostrado la calidad del biofertilizante obtenido por el reaprovechamiento de materia orgánica para el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024; es óptimo y viable.
2. Se han elaborado tres tipos de biofertilizante de calidad por el reaprovechamiento de materia orgánica y estimado los macro y micronutrientes en el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024, logrando con Biof-1 (con 6,00 kg de restos de pescado) se obtuvo N (2044,33 ppm), P₂O₅ (292,67 ppm), K₂O (4163ppm), CaO (3485,67ppm), MgO (967 ppm), SO₄ (329,946ppm), Fe (44ppm), Cu (1ppm), Zn (2ppm) y Mn (19ppm).
3. Se ha evaluado la influencia de las dosis de biofertilizante en el desarrollo de Lactuca Sativa “lechuga” en el cultivo hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024, demostrando que con biof-1 (a concentración de 0,158 de biofertilizante) alcanzó 16 hojas, 33,97 cm de altura y 26,97cm de diámetro de la lechuga y con biof-3 (a concentración de 0,053 de biofertilizante) resultó 17 hojas y 41,97 cm de altura de la planta de lechuga.
4. Se han analizado parámetros microbiológicos (salmonella y E. Coli) en Lactuca Sativa “lechuga” producida con biofertilizantes en el sistema hidropónico en el departamento de Ayacucho 2024. En E. Coli se encontró valores mínimos de 0,00 NMP/g y valores máximos de 93,00 NMP/g y en Salmonella 0,00 spp/25g, cumpliendo las normativas sanitarias en alimentos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda fomentar la elaboración y uso de biofertilizantes producidos con residuos orgánicos en agricultura orgánica familiar.
2. Se recomienda realizar estudios adicionales para encontrar la dosis óptima de absorción de macro y micronutrientes por las plantas para maximizar el rendimiento productivo.
3. Se recomienda la oxigenación constante de la solución hidropónica con biofertilizantes y poder probar en sistemas hidropónicos como en NFT y en sustratos.
4. Se recomienda monitoreo de parámetros microbiológicos tanto en biofertilizantes y soluciones hidropónicas como en el producto final, a fin de garantizar la seguridad alimentaria en cumplimiento de las normativas sanitarias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, D., Domper, A., Eguillor, P., González, C. & Zacarías I. (2018). *Manual de pérdidas y desperdicios de alimentos*. Primera edición. Inta Universidad de Chile - Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.
- Ahmad, N., Lee, C., Sarmidi, M., Klemeš, J., & Zhang, Z. (2019). Characterization of Liquid Fertilizer from Different Types of Bio-Waste Compost and its Correlation with the Compost Nutrients. *Chemical Engineering Transactions*, 72, 253-258. <https://doi.org/10.3303/CET1972043>
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C., & Rodríguez, M. (2021). Comparison of the advantages of hydroponic systems as agricultural alternatives in urban areas. *Minerva*, 2(4), 45-54. <https://doi.org/10.47460/minerva.v2i4.26>
- Altamirano, D. (2020). La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (Coffea arabica) VAR. CATIMOR en el anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018. *Universidad Continental*, 43-45.
- Amrullah, S., Amin, M., & Ali, M. (2021). Converting husbandry waste into liquid organic fertilizer using probiotic consortiums (Lactobacillus sp., Rhodopseudomonas sp., Actinomycetes sp., Streptomyces sp.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679(1), Article 012001, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/679/1/012001>
- Arenas, M. (2021). Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz. *Universidad de Barcelona*, 14-16.
- Bayona, M., & Quintero, S. (2023). Campylobacter jejuni, una problemática actual en salud pública. *Revista Medicina*. 45 (3),142. Doi: <https://doi.org/10.56050/01205498.2274>
- Bisht, N., & Singh, P. (2021). Excessive and Disproportionate Use of Chemicals Cause Soil Contamination and Nutritional Stress. *IntechOpen*. Doi: [10.5772/intechopen.94593](https://doi.org/10.5772/intechopen.94593)

- Caballero, C. (2020). El reciclaje en la optimización del manejo de residuos sólidos domiciliarios, a través de la promoción de la participación ciudadana del Distrito de Llata, Provincia de Huamalíes, Región Huánuco, 2019. *UNDAC*, 15-19.
- Cabos, J., Bardales, C., León, C., & Gil, L. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*, 26(3), 1165-1176. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26321>
- Chambi, M. (2022). *Producción hidropónica utilizando abono líquido – biol, en cultivos de acelga, repollo y lechuga en condiciones de invernadero*. [Tesis de Título profesional, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19290>
- Chowdhury, M., Samarakoon, U.C., & Altland, J. (2024). Evaluation of hydroponic systems for organic lettuce production in controlled environment. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1401089. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1401089>
- Cisneros, S., Veana, F., Arjona, M. A., Álvarez, C., & Pérez, S. (2021). Optimización de las variables del proceso de digestión anaerobia de lactosuero en la producción de biogás. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 307–318. <https://doi.org/10.20937/RICA.53879>
- Cóppola, Javier, Pescio, F., & Schamber, P. (2022). Análisis de manejo de residuos sólidos urbanos y elaboración de aboneras para huertas traspatio en San Andrés de Giles (Bs. As.). *Revista de investigaciones agropecuarias*, 48(1), 90-99. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142022000100090&lng=es&tlng=es.
- De La Cruz, H. (2022). Gestión de residuos sólidos y su incidencia en educación ambiental en una institución educativa del Perú. *Ciencia Latina*. 6, 4-1224. Doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2657
- De Wrachien, D., Schultz, B., & Goli, M. (2021). Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A

- worldwide view. *Irrigation and Drainage*. 70, 981–995.
<https://doi.org/10.1002/ird.2597>
- Ducker, J. (2022, October 28). *The Impacts of a Growing Population on Agriculture*. *AZoLifeSciences*. <https://www.azolifesciences.com/article/The-Impacts-of-a-Growing-Population-on-Agriculture.aspx>.
- Edwards, C. (2002) Assessing the Effects of Environmental Pollutants on Soil Organisms, Communities, Processes and Ecosystems. *European Journal of Soil Biofertilizanteogy*, 38, 225-231, [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01150-0](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01150-0)
- Endoh, T., Takagaki, M., Suwitchayanon, P., Chanseetis, C., & Lu, N. (2024). Hydroponic Lettuce Cultivation with Organic Liquid Fertilizer: Examining Bacterial Inhibition and Phosphate Solubilization. *Crops*, 4(4), 502--513.
<https://doi.org/10.3390/crops4040036>
- Fukase, E., & Martin, W. (2020). Economic growth, convergence, and world food demand and supply. *World Development*. 132, 104954.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104954>.
- Gavilán, G. (2021). Plan de sostenibilidad ambiental y su influencia en la sustentabilidad ambiental de la escuela de formación profesional de administración - UNDAC. *Universidad Nacional Federico Villareal*, 25-27.
- Gil, L., Leiva, F., Lezama, M., Bardales, C., & León, C. (2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Revista Alfa*, 7(20), 336–345.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- Gómez, G., & Lara, L. (2022). Categorización de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado. *Ingeniantes 2022*, Año 9 No. 1 Vol. 1, 5-7.
- Guzmán, A. (2019). Manejo de los residuos orgánicos y su relación con el comportamiento de compra del consumidor del megacentro comercial “Mi Mercado” del distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa 2018. *Universidad Tecnológica del Perú*, 40-45.
- Haryanta, D., Tojibatus, T., Thohiron, M., & Sri, F. (2023). Utilization of urban waste as liquid organic fertilizer for vegetable crops in urban farming systems. *Horizon*,

10, 120-128. <https://horizonepublishing.com/journals/index.php/PST/article/view/2028/1885>

Huamanga (2021). Reporte de acumulación de basura. Ayacucho. Recuperado el 2023 de abril de 2023, de <https://munihuamanga.gob.pe/participacion-ciudadana-y-gestion-de-residuos-solidos/>

Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisingh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8), 18507. Doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18507.

Juárez, C., Bugarín, R., Alejo, G., Aguilar, J., Peña, G., Palemón, F., & Aburto, C. (2022). Concentración de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema de raíz flotante. *Interciencia*, 47(6), 225-231,

Kaza, S., Yao, L., Perinaz, B., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. Washington, DC: World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/30317>

Kechasov, D., Verheul, M., Paponov, M., Panosyan, A., & Paponov, I. (2021). Organic Waste-Based Fertilizer in Hydroponics Increases Tomato Fruit Size but Reduces Fruit Quality. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-20. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.680030/full>

Krasilnikov, P., Taboada, M., & Amanullah. (2022). Fertilizer Use, Soil Health and Agricultural Sustainability. *Agriculture*, 12(4), 462. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12040462>

Medina, K., Leiva, F., Rodríguez, Á., Gil, L., Bardales, C., & León, C. (2022). Influence of concentrations of bio-fertilizer “biol” in the hydroponic cultivation of *Lactuca sativa* var. *longifolia* (Asteraceae). *Arnaldoa*, 29, 137-148. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v29n1/2413-3299-arnal-29-01-137.pdf>

- Mickos, V., Blanchard, C., Pizzo, J., Kitchens, S., Price, S., Wells, D., & Rodrigues, C. (2025). Controlling Salmonella enterica in Water-recirculating Systems for Lettuce Production Using a Bacteriophage Cocktail. *HortScience*, 60(8), 1319–1325. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI118643-25>
- Ministerio de Salud. (2008). Resolución Ministerial N°591-2008. Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Recuperado de https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/alimentos/RM591MINSANORMA.pdf.
- Montero, D. (2024). *Evaluación comparativa del sistema acuapónico e hidropónico en producción de lechugas (Lactuca sativa L.) en Centro Piscícola El Ingenio-2023*. [Tesis de maestría, Universidad Continental]. Repositorio institucional de la Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16131>
- Morales, R. (2020). Agricultura Orgánica. *Repositorio. UAAAN*, 35-37.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU-Habitat). (15 de noviembre de 2022). Ya somos 8 mil millones de personas. Recuperado el 29 de agosto de 2025, de <https://onu-habitat.org/index.php/ya-somos-8-mil-millones-de-personas>
- Palacios, A., Granados, A., Soto, M., & Flores, E. (2021). Composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana. *Tecnociencia Chihuahua*, 14(3), 1-17. Doi: <https://doi.org/10.54167/tch.v14i3.751>
- Palomino, E., Quispe, J., & Oloya, N. (2022). *Producción de biogás, biol y biomasa a partir de residuo orgánico (Azolla pinnata) e inóculos de cuy y vacuno mediante biodigestor anaerobio en el barrio Santa Ana en el departamento de Ayacucho*. [Tesis de Título profesional, Universidad Peruana Unión]. Repositorio institucional de la Universidad Peruana Unión.

<https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b7d56e8b-266b-4405-bb72-38708d594b56/content>

Pilco, J. (2022). *Evaluación del cultivo de la lechuga (Lactuca sativa L.) bajo condiciones hidropónicas en Puno-Perú*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18461>

Rojas, B., Hernández, M., Rodríguez, N., & Linares, A. (2023). Concentración de nutrientes de dos formulaciones de fertilizantes fermentados (bioles) elaborados con insumos locales. *Terra Latinoamericana*, 41, e1658. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1658>

Rosales, R. (2023). *Efecto de una solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles en la productividad de Lactuca sativa (lechuga) en Amazonas 2022*. [Tesis de Título profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b750a650-ea9f-4d06-a09f-858a0abbda24/content>

Silva, E. (2024). *Efecto de diferentes concentraciones de biol bovino en el crecimiento y rendimiento productivo de lechuga (Lactuca sativa L.) bajo un sistema hidropónico de raíz flotante en Pucallpa*. [Tesis de Título profesional, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ucayali. <https://apirepositorio.unu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ceb237a4-098d-48f0-8661-9f7cba6edb50/content>

Soca, A., & Martínez, P. (2021). *Gestión Integral de Residuos Sólidos y Sostenibilidad Ambiental en la Municipalidad Provincial de Huamanga, Ayacucho-2020* [Tesis pregrado de la Universidad Peruana de los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2855>

Soto, N. (2025). *Evaluación fisicoquímica y cuantificación de nutrientes de un biofertilizante líquido (Biol) elaborado a partir de residuos orgánicos*. [Tesis de

Título profesional, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. <https://repositorio.unach.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3f2494dd-231b-41b2-b7d8-b8067c0a5b75/content>

Yurivilca, E. (2023). Elaboración de biofertilizante a partir del efluente de Tarwi (*Lupinus mutabilis*) proveniente del proceso de desamargado mediante fermentación láctica. [*Tesis de biólogo, Universidad Nacional Agraria La Molina*]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5603>

Zaman, S., Aziz, A., Siddique, M., Khaleque, M., & Bari, M. (2024). Use of Non-Chlorine Sanitizers in Improving Quality and Safety of Marketed Fresh Salad Vegetables. *Processes*, 12(5), 1011, <https://doi.org/10.3390/pr12051011>

ANEXOS

ANEXO 1:

Tabla 18Prueba de Dunn–Bonferroni para la conductividad eléctrica (CE dS m⁻¹)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,533684	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,533684	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,021146	True

Tabla 19

Prueba de Dunn–Bonferroni para el nitrógeno total (N ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,528202	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,528202	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,020434	True

Tabla 20Prueba de Dunn–Bonferroni para el fósforo (P₂O₅ ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,533684	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,021146	True
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,533684	False

Tabla 21Prueba de Dunn–Bonferroni para el potasio (K₂O ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,019049	True
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,517159	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,517159	False

Tabla 22

Prueba de Dunn–Bonferroni para el calcio (CaO ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,528202	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,528202	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,020434	True

Tabla 23

Prueba de Dunn–Bonferroni para el magnesio (MgO ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,506006	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,506006	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,017716	True

Tabla 24Prueba de Dunn–Bonferroni para el sulfato (SO₄²⁻ ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,539137	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,539137	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,021871	True

Tabla 25

Prueba de Dunn–Bonferroni para el sodio (Na ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,511596	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,511596	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,018376	True

Tabla 26

Prueba de Dunn–Bonferroni para el hierro (Fe ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,528202	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,528202	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,020434	True

Tabla 27

Prueba de Dunn–Bonferroni para el zinc (Zn ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,025653	True
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,282793	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	1,000000	False

Tabla 28

Prueba de Dunn–Bonferroni para el manganeso (Mn ppm)

Grupo 1	Grupo 2	P ajustada	Significancia
Con pescado 3 kg	Con pescado 6 kg	0,522694	False
Con pescado 3 kg	Sin pescado	0,522694	False
Con pescado 6 kg	Sin pescado	0,019735	True

Variables sin diferencias detectadaspH (Kruskal $p = 0,066$) – todos los pares no significativos.

Cu ppm – sin variabilidad, comparaciones omitidas.

Tabla 29

Comparaciones de Dunn–Bonferroni por grupo (número de hojas)

Grupo 1	Grupo 2	p ajustada	Significativa ($p < 0,05$)
T1 6 kg – 0,105	T1 6 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T1 6 kg – 0,05.3	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T1 6 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,105	0,342788	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,158	0,078590	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,053	0,342788	No
T2 3 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,053	0,342788	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	0,034827	Sí
T2 3 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,053	0,078590	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	0,005848	Sí
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T3 0 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T3 0 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T3 0 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	0,342788	No

Nota. p ajustada = valor de p con corrección de Bonferroni. “Significativa” indica si la diferencia se mantiene con $\alpha = 0,05$.

Tabla 30

Comparaciones de Dunn–Bonferroni por grupo (altura final de lechuga)

Grupo 1	Grupo 2	p ajustada	Significativa (p < 0,05)
T1 6 kg – 0,105	T1 6 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T1 6 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T1 6 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,158	0,730452	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,158	0,192627	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,053	0,730452	No
T2 3 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,105	0,730452	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	0,192627	No
T2 3 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,105	0,192627	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	0,041647	Sí
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T3 0 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	0,041647	Sí
T3 0 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T3 0 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	0,007359	Sí

Nota. p ajustada = p-valor corregido mediante Bonferroni. Las celdas corresponden a comparaciones significativas (p < 0,05) después de la corrección.

Tabla 31

Comparaciones de Dunn–Bonferroni por grupo (diámetro final-lechuga)

Grupo 1	Grupo 2	p ajustada	Significativa (p < 0,05)
T1 6 kg – 0,105	T1 6 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T1 6 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,158	0,070273	No
T1 6 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	0,726304	No
T1 6 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	0,475707	No
T1 6 kg – 0,158	T1 6 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,158	0,007260	Sí
T1 6 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,053	0,726304	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,158	0,117183	No
T1 6 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	0,070273	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,158	0,117183	No
T1 6 kg – 0,053	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T1 6 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,053	0,726304	No
T2 3 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T2 3 kg – 0,158	T2 3 kg – 0,053	1,000000	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,105	0,726304	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,105	1,000000	No
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T2 3 kg – 0,053	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T3 0 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,158	1,000000	No
T3 0 kg – 0,105	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No
T3 0 kg – 0,158	T3 0 kg – 0,053	1,000000	No

Nota. p ajustada = p-valor corregido mediante Bonferroni. Las celdas corresponden a comparaciones significativas (p < 0,05) después de la corrección.

Tabla 32

Resultado promedio del desarrollo de las lechugas

Tipo de biofertilizante	Concentraciones	Número hojas (unidad)	Altura planta (cm)	Diámetro de planta (cm)
Biof-1	0,158	16,00	33,97	26,97
	0,105	15,00	31,97	24,97
	0,053	13,00	28,00	24,93
Biof-2	0,158	10,00	22,97	18,93
	0,105	12,00	26,97	22,93
	0,053	16,00	31,93	22,00
Biof-3	0,158	13,00	21,93	19,97
	0,105	15,00	36,97	23,97
	0,053	17,00	41,97	19,93

Tabla 33

Norma sanitaria para las hortalizas frescas.

XIV. Frutas, hortalizas, frutos secos y otros vegetales						
XIV.1 Frutas y hortalizas frescas (sin ningún tratamiento)						
Agente microbiano	categoría	clase	n	c	Límite por	
					g	M
Escherichia Coli	5	3	5	2	10 ²	10 ³
Salmonella ssp	10	2	5	0	Ausencia/25 g

n: Número de unidades de muestras seleccionadas al azar de un lote, que se analizan para satisfacer los requerimientos de un determinado plan de muestras

c: Número máximo permitido de unidades de muestras razonables en un plan de muestreo de 2 clases o número máximo de unidades de muestras que puede contener un número de microorganismos.

Fuente: Ministerio de Salud. RM N° 591-2008/MINSA.

ANEXO 2: EVIDENCIAS DEL DESARROLLO DE TESIS

Figura 7

Sistema de elaboración de biofertilizante en la investigación.



Figura 8

Realización de mezcla de los insumos de biofertilizantes



Figura 9

Cosecha de biofertilizante a los 90 días



Figura 10

Muestra de biofertilizante en el biodigestor



Figura 11

Plántulas de lechugas hidropónicas



Figura 12

Bandejas para el sistema hidropónico de raíz flotante



Figura 13

Preparación de solución hidropónica del biofertilizante

**Figura 14**

Bandejas con soluciones hidropónicas



Figura 15

Sistema de cultivo hidropónico de las lechugas

**Figura 16**

Desarrollo de las lechugas hidropónicas



Figura 17

Cosecha de las lechugas hidropónicas



Figura 18

Envío de las lechugas al laboratorio microbiológico



ANEXO 3: EVIDENCIAS DEL PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO EN EL PROGRAMA PYTHON

Código usado en Python para el procesamiento estadístico.

```

import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.stats import kruskal
import scikit_posthocs as sp

# -----
# Filtrado inicial
df = df_detallado[df_detallado["Muestra"] != "PROMEDIO"]
|
variables = [
    "pH", "CE_dS_m",
    "N_ppm", "P205_ppm", "K20_ppm", "CaO_ppm", "MgO_ppm", "SO4_ppm",
    "Na_ppm", "Fe_ppm", "Cu_ppm", "Zn_ppm", "Mn_ppm"
]

resultados_kw, dunn_todos, letras_dunn = {}, {}, {}

for var in variables:
    # ----- 0) Comprobar variabilidad global -----
    datos_var = df[var].dropna().values
    if np.allclose(datos_var, datos_var[0]): # todos iguales
        resultados_kw[var] = {"H": np.nan, "p": np.nan,
                              "nota": "Sin variabilidad (todos los valores idénticos)"}
        letras_dunn[var] = {g: 'a' for g in df["Grupo"].unique()}
        continue # pasa a la siguiente variable

# ----- 1) Kruskal-Wallis -----
grupos = df["Grupo"].unique()
datos_por_grupo = [df.loc[df["Grupo"] == g, var].dropna() for g in grupos]

try:
    H, p_kw = kruskal(*datos_por_grupo)
except ValueError as e: # p.ej. todos los números idénticos
    resultados_kw[var] = {"H": np.nan, "p": np.nan,
                          "nota": str(e)}
    letras_dunn[var] = {g: 'a' for g in grupos}
    continue

resultados_kw[var] = {"H": H, "p": p_kw}

# ----- 2) Post-hoc (Dunn) -----
if p_kw < 0.05:
    dunn_mat = sp.posthoc_dunn(df, val_col=var, group_col='Grupo',
                              p_adjjust='bonferroni')

    tabla_dunn = (
        dunn_mat
        .stack()
        .reset_index()
        .rename(columns={'level_0': 'Grupo1', 'level_1': 'Grupo2', 0: 'p_adj'})
        .query('Grupo1 < Grupo2')
        .assign(reject=lambda d: d.p_adj < 0.05)
    )
    dunn_todos[var] = tabla_dunn

```

```

# Asignar Letras
asignaciones = {}
medianas = df.groupby("Grupo")[var].median().sort_values(ascending=False)
for g in medianas.index:
    letra = 'a'
    while any(
        tabla_dunn.query(
            "(Grupo1 == @g and Grupo2 == @g2 or Grupo1 == @g2 and Grupo2 == @g)"
        ).reject.any()
        for g2, l in asignaciones.items() if l == letra
    ):
        letra = chr(ord(letra) + 1)
    asignaciones[g] = letra
letras_dunn[var] = asignaciones
else:
    letras_dunn[var] = {g: 'a' for g in grupos}

```

```

# ----- Impresión -----
for var in variables:
    print(f"\n{' '*40}\nVariable: {var}")
    info = resultados_kw[var]
    if np.isnan(info.get("p", np.nan)):
        print(info["nota"])
    else:
        print(f"H = {info['H']:.4f} | p = {info['p']:.4f}")
    print("Letras significativas (Dunn):")
    for g, letra in letras_dunn[var].items():
        print(f" - {g}: {letra}")

print("\n\n" + "*" * 80)
print("ANEXO: RESULTADOS COMPLETOS DEL TEST DE DUNN")
print(" " * 80)
for var, tabla in dunn_todos.items():
    print(f"\n>>> {var}")
    print(tabla.to_string(index=False))

```

```

# -----
# 0) LIBRERÍAS
# -----
import pandas as pd
from scipy.stats import kruskal
import scikit_posthocs as sp # pip install scikit-posthocs

# -----
# 1) DATOS
# -----

df = df_total_final.copy()

# Combina solución y dosis para obtener los 9 grupos
df["Grupo"] = (
    df["Solucion"] + "_"
    + df["Dosis"].astype(str).str.replace(".", "_") # ej. T1_6kg_15_8
)

variables = ["Num_Hojas", "Altura_cm", "Diametro_cm"]

kw_res, dunn_tablas, letras = {}, {}, {}

```

```

# -----
# 2) FUNCIÓN PARA ASIGNAR LETRAS (compact Letter display)
# -----
def compact_letters(tabla_dunn, serie_med):
    asign = {}
    orden = serie_med.sort_values().index
    letra = "a"
    for g in orden:
        asign[g] = letra
        for g2, l in asign.items():
            if l == letra and g2 != g:
                sig = tabla_dunn.query(
                    "(Grupo1 == @g and Grupo2 == @g2) or (Grupo1 == @g2 and Grupo2 == @g)"
                )["reject"].values[0]
                if sig:
                    # hay diferencia → cambia de Letra
                    letra = chr(ord(letra) + 1)
                    break
    return asign

# -----
# 3) BUCLE PRINCIPAL
# -----
for var in variables:
    # 3.1 Kruskal-Wallis global (9 grupos)
    grupos = [df.loc[df["Grupo"] == g, var] for g in df["Grupo"].unique()]
    H, p_kw = kruskal(*grupos)
    kw_res[var] = {"H": H, "p": p_kw}

# -----
# 3) BUCLE PRINCIPAL
# -----
for var in variables:
    # 3.1 Kruskal-Wallis global (9 grupos)
    grupos = [df.loc[df["Grupo"] == g, var] for g in df["Grupo"].unique()]
    H, p_kw = kruskal(*grupos)
    kw_res[var] = {"H": H, "p": p_kw}

    # 3.2 Dunn-Bonferroni si p < .05
    if p_kw < 0.05:
        dunn = sp.posthoc_dunn(df, val_col=var, group_col="Grupo",
                              p_adjust="bonferroni")

        dunn_df = (
            dunn.stack()
            .reset_index()
            .rename(columns={"level_0": "Grupo1",
                            "level_1": "Grupo2", 0: "p_adj"})
            .query("Grupo1 < Grupo2")
            .assign(reject=lambda d: d.p_adj < 0.05)
        )
        dunn_tablas[var] = dunn_df
        letras[var] = compact_letters(dunn_df, df.groupby("Grupo")[var].median())
    else:
        dunn_tablas[var] = pd.DataFrame()
        letras[var] = {g: "a" for g in df["Grupo"].unique()}

```

```

# -----
# 4) IMPRESIÓN DE RESULTADOS
# -----
for var in variables:
    print(f"\n{' '*70}\nVariable: {var}")

    # Kruskal-Wallis
    print(f"Kruskal-Wallis global: H = {kw_res[var]['H']:.4f} "
          f"p = {kw_res[var]['p']:.5f}")

    # Letras de Dunn
    if kw_res[var]['p'] < 0.05:
        print("\nLetras significativas (Dunn-Bonferroni):")
        for g, l in letras[var].items():
            print(f" {g:15s}: {l}")
    else:
        print("\nNo se detectaron diferencias globales; Dunn no se aplica.")

# -----
# 5) ANEXO - Tablas completas de Dunn
# -----
print("\n\n" + "="*80)
print("ANEXO - Comparaciones múltiples (Dunn-Bonferroni)")
print("="*80)

for var, tabla in dunn_tablas.items():
    if not tabla.empty:
        print(f"\n>>> {var}")
        print(tabla.to_string(index=False))
    else:
        print(f"\n>>> {var} - sin pares con diferencia significativa")

```