

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**EFFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BIOFERTILIZANTE A
BASE DE LACTOSUERO EN EL RENDIMIENTO DE FORRAJE HIDROPÓNICO
DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN CAJAMARCA, 2024**

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:
WILSON MEDINA BUENO

Asesor:
Dr. EDIN ALVA PLASENCIA


CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Wilson Medina Bueno
DNI: N° 47080274
Escuela Profesional/Unidad UNC:
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
2. Asesor:
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BIOFERTILIZANTE A BASE DE LACTOSUERO EN EL RENDIMIENTO DE FORRAJE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN CAJAMARCA, 2024"
6. Fecha de evaluación: 20/09/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
9. Código Documento: oid: 3117:501305953
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/11/2025

<small>Firma y/o Sello Emisor Constancia</small>
 <hr style="border: none; border-top: 1px dashed black;"/> Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia DNI: 26620894

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veintiséis días del mes de agosto del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 340-2025-FCA-UNC, de fecha 16 de junio del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BIOFERTILIZANTE A BASE DE LACTOSUERO EN EL RENDIMIENTO DE FORRAJE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum Vulgare* L.) EN CAJAMARCA, 2024"**, realizada por el Bachiller **WILSON MEDINA BUENO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las diecisiete horas y tres minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciocho (18); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las dieciocho horas y dos minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Isidro Rimarachin Cabrera
PRESIDENTE

Dr. Wilfredo Poma Rojas
SECRETARIO

Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
ASESOR

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre que ha sabido formarme con buenos hábitos y valores lo cual me ayudado a cumplir mis metas trazadas.

A mi padre que con su empeño y entusiasmo por la vida supo educar a 7 hijos quienes también me han apoyado emocionalmente en el cumplimiento de mis metas.

También dedico a mi esposa Nelsy Bustamante y mi hijo Dylan y a un hijo que pronto vere su rostro que son mi motivo para nunca rendirme

Wilson Medina Bueno

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradecido de DIOS quien me ha protegido siempre

A mi asesor Edin E. Alva Placencia por darse tiempo y apoyar a los estudiantes que solicitan su asesoramiento y su vasta experiencia

Al Ing. Víctor E. Torrel Pajares, cuya valiosa guía, consejos fundamentales y sincera amistad dejaron una huella imborrable a lo largo de mi formación profesional; su legado y enseñanzas siguen siendo una inspiración constante.

Al Ing. Juan Vásquez por apoyarme en la institución donde trabaja para realizar mi trabajo experimental

Wilson Medina Bueno

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CÁPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CÁPITULO II.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. <i>Hidroponía forrajera</i>	9
a. Ventajas de la hidroponía frente a la agricultura convencional	10
b. Especies forrajeras más usadas en hidroponía (cebada y otros cereales)	11
c. Manejo, soluciones nutritivas, condiciones ambientales	12
2.2.2. <i>Lactosuero</i>	13
a. Características químicas y nutricionales	13
b. Usos potenciales como biofertilizante en agricultura	15
c. Efectos sobre procesos fisiológicos de las plantas	16
d. Evidencia de incremento de rendimientos en especies cultivadas	17
2.2.3. <i>Biofertilizantes</i>	17
a. Uso de residuos orgánicos como fuente de biofertilizantes	18
b. Mecanismos de acción y aporte nutricional de biofertilizantes a los cultivos	19
2.2.4. <i>Forrajes en el Perú</i>	20
a. Importancia económica y en seguridad alimentaria	21
b. Situación actual de los forrajes en Perú	22
2.2.5. <i>Cultivo de cebada</i>	23
2.3. Definición de términos.....	24

CÁPITULO III.....	26
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Ubicación	26
3.2. Materiales.....	28
3.2.1. <i>Material experimental</i>	28
3.2.2. <i>Materiales para preparar el biofertilizante</i>	28
3.2.3. <i>Insumos para preparar 200 litros de biofertilizante</i>	28
3.2.4. <i>Otros Insumos</i>	28
3.2.5. <i>Equipos</i>	28
3.2.6. <i>Otros Materiales</i>	29
3.2.7. <i>Otros equipos</i>	29
3.3. Metodología	29
3.3.1. <i>Variables</i>	29
a. Variable independiente	29
b. Variable dependiente	29
3.3.2. <i>Diseño experimental, arreglos de los tratamientos</i>	30
a. Diseño experimental	30
b. Arreglos de los tratamientos.....	30
3.3.3. <i>Procedimiento</i>	31
a. Adquisición de semilla de cebada	31
b. Selección de semillas	32
c. Desinfección de semilla	32
d. Desinfección de bandejas.....	32
e. Imbibición de semillas	33
f. Pregerminado.....	33
g. Distribución de semillas germinadas en las bandejas.....	33
h. Cubrimiento con plástico negro	33
i. Aplicación de tratamientos.....	34
3.3.4. <i>Evaluaciones</i>	34
a. Altura de planta	34
b. Grosor de raíces.....	34
c. Rendimiento de materia fresca.....	35
d. Rendimiento de materia seca.....	35
e. Análisis de laboratorio del biofertilizante de lactosuero.....	36

CÁPITULO IV	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Rendimiento de materia fresca	37
4.2. Rendimiento de materia seca.....	40
4.3. Altura de planta de cebada	43
4.4. Grosor de raíces de cebada.....	46
CÁPITULO V	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Recomendaciones	49
CÁPITULO VI	51
BIBLIOGRAFÍA	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Compuestos nutritivos presentes en el lactosuero.	14
Tabla 2 Tratamientos en estudio.	31
Tabla 3 Resultados del análisis de laboratorio del biofertilizante de lactosuero de leche.	36
Tabla 4 Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de materia fresca.	37
Tabla 5 Prueba de Tukey para el rendimiento de materia fresca (kg) por efecto del biofertilizante de lactosuero.....	38
Tabla 6 Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de materia seca.	40
Tabla 7 Prueba de Tukey para el rendimiento de materia seca (%) por efecto del biofertilizante de lactosuero.	41
Tabla 8 Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta (cm).	43
Tabla 9 Prueba de Tukey para para la altura de planta (cm) por efecto del biofertilizante de lactosuero.....	44
Tabla 10 Análisis de varianza (ANOVA) para el grosor de disposición de raíces.....	46
Tabla 11 Prueba de Tukey para el grosor de disposición de raíces por efecto del biofertilizante de lactosuero.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del experimento.....	27
Figura 2 Distribución de los tratamientos en el campo experimental.....	31
Figura 3 Rendimiento de materia fresca (kg) por del biofertilizante de lactosuero.	39
Figura 4 Rendimiento de materia seca (%) por efecto del biofertilizante de lactosuero.	42
Figura 5 Altura de planta (cm) en cada tratamiento por efecto del biofertilizante de lactosuero.	45
Figura 6 Grosor de raíces (cm) en cada tratamiento por efecto del biofertilizante de lactosuero.	48
Figura 7 Resultados de análisis nutricional del biofertilizante lactosuero.	65
Figura 8 Resultados de análisis microbiológico del biofertilizante lactosuero.	66
Figura 9 Pesado de semilla.....	67
Figura 10 Medición del hipoclorito de sodio.....	67
Figura 11 Preparación de la solución de agua e hipoclorito de sodio.....	67
Figura 12 Desinfección de semillas.	68
Figura 13 Proceso de pregerminación.....	68
Figura 14 Germinación de forraje hidropónico.	68
Figura 15 Crecimiento y desarrollo del forraje hidropónico.	69
Figura 16 Determinación de la materia seca.	69

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el distrito de Cajamarca con el objetivo de determinar el efecto de diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero en el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Cajamarca. El estudio empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con seis tratamientos y tres repeticiones, aplicando concentraciones de biofertilizante del 1% al 5%, además de un control sin aplicación; se evaluaron el rendimiento de materia fresca y seca, la altura de la planta y el grosor de las raíces. Los resultados indicaron que el tratamiento T5 (5% de concentración) mostró los mejores resultados en todas las variables: 1.5 kg de materia fresca, 37% de materia seca, 16.3 cm de altura de planta y 4.5 cm de grosor de raíces. Los tratamientos T4 (4%) y T3 (3%) también mostraron resultados positivos, formando parte del grupo estadístico A en la mayoría de las variables. Los tratamientos T2 y T1 mostraron resultados moderados, ubicándose generalmente en el grupo estadístico AB. El tratamiento testigo (sin biofertilizante) consistentemente mostró los valores más bajos: 1.2 kg de materia fresca, 29% de materia seca, 13.3 cm de altura y 3.2 cm de grosor de raíces. En conclusión, el uso de biofertilizante a base de lactosuero demostró ser una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento y desarrollo del forraje hidropónico de cebada, confirmando la viabilidad técnica de esta práctica agrícola en las condiciones ambientales de Cajamarca.

Palabras clave: Forraje hidropónico, Cebada, Biofertilizante, Lactosuero

ABSTRACT

The present study was conducted in the district of Cajamarca with the objective of determining the effect of different concentrations of whey-based biofertilizer on the yield of hydroponic barley (*Hordeum vulgare* L.) forage in Cajamarca. The study employed a Completely Randomized Design (CRD) with six treatments and three replications, applying concentrations of biofertilizer from 1% to 5%, plus a control without application; fresh and dry matter yield, plant height and root thickness were evaluated. The results indicated that the T5 treatment (5% concentration) showed the best results in all variables: 1.5 kg fresh matter, 37% dry matter, 16.3 cm plant height and 4.5 cm root thickness. Treatments T4 (4%) and T3 (3%) also showed positive results, being part of statistical group A in most variables. The treatments T2 and T1 showed moderate results, generally falling into statistical group AB. The control treatment (without biofertilizer) consistently showed the lowest values: 1.2 kg fresh matter, 29% dry matter, 13.3 cm height and 3.2 cm root thickness. In conclusion, the use of whey-based biofertilizer proved to be an effective strategy to improve the yield and development of hydroponic barley forage, confirming the technical feasibility of this agricultural practice in the environmental conditions of Cajamarca.

Key words: Hydroponic forage, Barley, Biofertilizer, Whey, Lactoserum

CÁPITULO I

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda mundial de alimentos ejerce presión sobre la agricultura para incrementar la productividad de manera sostenible. Se estima que la población mundial alcanzará 9700 millones para 2050, requiriendo un aumento de 50% en la disponibilidad de alimento; esta compleja situación es aún más crítica considerando los efectos adversos del cambio climático y degradación de recursos productivos como suelo y agua (Calleja, 2021).

En el Perú, la demanda por forrajes es alta, destinándose el 63 % de la producción pecuaria nacional a la alimentación animal (Jiménez, 2022). Sin embargo, en los últimos años la disponibilidad de forraje ha disminuido 17 % en la última década por factores adversos como sequías, heladas, reducción de áreas de cultivo, el cambio climático y limitaciones de suelo (Magrin, 2015). Ante esta situación, los sistemas hidropónicos con forrajes surgen como alternativa sostenible.

En este contexto, la producción pecuaria reviste especial importancia por su rol estratégico en la seguridad alimentaria; se proyecta que para 2050 el consumo global de carne aumentará 14.5%, mientras que la de leche crecería en 21 %; en el Perú, durante el 2021 la demanda nacional de carne vacuna y leche se incrementó 12.7 % y 6.3 % respectivamente frente al 2020 (Ramírez, 2022).

Sin embargo, en las últimas décadas la disponibilidad de forraje para alimentación animal ha disminuido considerablemente a nivel global y local, siendo uno de los principales cuellos de botella (Núñez y Guerrero, 2021). Entre 2009 y 2020 la producción de forraje en Perú se redujo de 12 a 10 millones de toneladas, representando un déficit de 17%; esta escasez

se debe a factores como menor área de cultivo forrajero por competencia con otros usos, cambio climático y degradación de praderas por sobrepastoreo (Infoagro, 2022).

Ante este escenario desafiante, los sistemas hidropónicos para producción intensiva de forrajes constituyen una alternativa prometedora, siendo altamente eficientes en el uso de espacio y reduciendo enormemente la cantidad de agua por unidad de biomasa generada; sin embargo, garantizar una nutrición balanceada y rentable a través de fertilizantes de calidad es clave para su viabilidad, especialmente a pequeña y mediana escala (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], s. f).

En este contexto, la presente investigación resulta relevante al explorar el potencial de los biofertilizantes a base de lactosuero como una alternativa sostenible y económica para la fertilización de cultivos hidropónicos forrajeros (Florez, et al., 2021). El lactosuero es un subproducto líquido rico en proteínas, vitaminas y minerales que se obtiene en grandes volúmenes durante la elaboración de quesos y otros derivados lácteos (Chacón et al., 2017). Se estima que en el 2021 se produjeron 4.7 millones de toneladas métricas de suero a nivel mundial, representando entre el 80-90 % del volumen de leche utilizado en procesamiento; usualmente es considerado un residuo y su eliminación resulta costosa para las industrias (Huertas, 2009).

La región Cajamarca, por su importancia lechera, genera alrededor de 250 toneladas métricas de lactosuero cada año; investigaciones previas confirman su potencial fertilizante, dada la presencia de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes (Luna, 2013). No obstante, no existen estudios del efecto específico de este biofertilizante en el cultivo hidropónico de cebada con fines forrajeros bajo condiciones locales, siendo este un importante vacío de información.

Por tanto, el presente estudio experimental resulta innovador y relevante, ya que permitirá generar nueva evidencia científica sobre el efecto de diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero de quesería en la producción de biomasa hidropónica de

cebada con fines forrajeros. Los resultados proveerán información técnica de utilidad práctica para estandarizar protocolos eficientes de uso de este residuo lácteo como componente de soluciones nutritivas, reduciendo costos en la fertilización de sistemas forrajeros hidropónicos a pequeña y mediana escala (Chacón et al., 2017).

Así mismo, la investigación brindará estrategias concretas para impulsar una producción más sostenible en la región Cajamarca, tanto desde la perspectiva ambiental al promover la bioeconomía circular aprovechando un subproducto actualmente desaprovechado, como en la contribución a la seguridad alimentaria regional al proporcionar alternativas para aumentar la disponibilidad de alimento animal de calidad para ganado vacuno, ovino y otros de importancia económica en la zona.

1.1. Descripción del problema

La creciente demanda mundial por alimentos ejerce gran presión sobre la agricultura para incrementar la productividad, al mismo tiempo que se enfrentan desafíos como el cambio climático, la degradación de suelos y la competencia por recursos como tierra y agua; se requieren con urgencia alternativas sostenibles y eficientes.

A nivel mundial, la producción de forrajes hidropónicos ha ido en aumento debido a sus ventajas en el uso eficiente del agua y espacio, independizándose de las condiciones edafoclimáticas; se estima que el mercado de los cultivos hidropónicos, incluyendo los forrajes, crecerá un 12.5 % de 2022 a 2027; sin embargo, el acceso a fertilizantes de alta calidad representa un limitante en varios países (Agrotendencia. Tv., 2022).

En América Latina, el uso de biofertilizantes está expandiéndose como alternativa sostenible. Un estudio en 2021 reportó incrementos de 20 a 30% en rendimientos de maíz con biofertilizantes en Brasil (Dufey y Stange, 2011). En Ecuador, biofertilizantes con lactosuero aumentaron un 46 % la producción de alfalfa hidropónica (Alejandra, 2023). No obstante, se

requieren más investigaciones para validar su efectividad en diversos cultivos forrajeros en la región.

La región Cajamarca contribuye fuertemente a la oferta nacional de cultivos forrajeros como cebada y avena; pero aquí también la productividad está estancada, el rendimiento promedio de cebada es menos de 2 toneladas por hectárea, muy por debajo de su potencial. La deficiente fertilidad de suelos y costos de fertilizantes sintéticos importados son limitantes significativas (Núñez, 2019).

Ante este contexto, la presente investigación resulta altamente relevante al explorar el uso de biofertilizantes de bajo costo elaborados localmente a partir de lactosuero, un residuo abundante en Cajamarca; determinar su efectividad para incrementar la producción de forraje hidropónico de cebada generaría un importante impacto ambiental, económico y social en la región y el país.

1.1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de las diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero en el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum Vulgare* L.) en Cajamarca, 2024?

1.2. Justificación

La investigación propuesta surge como respuesta a una urgente necesidad práctica y económica dentro del ámbito agrícola de la región de Cajamarca en el año 2024. En este contexto, caracterizado por una disponibilidad limitada de recursos hídricos y suelos fértiles, se vislumbra la implementación de técnicas innovadoras como el cultivo hidropónico y el uso de biofertilizantes como vías prometedoras para impulsar la productividad agrícola de manera sostenible y rentable. La combinación de estos enfoques ofrece la posibilidad de superar los

desafíos inherentes a la escasez de recursos, al mismo tiempo que abre nuevas perspectivas para la producción agrícola en entornos adversos.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio se plantea con el objetivo de establecer relaciones causa-efecto entre diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero y la producción de forraje de cebada en un ambiente hidropónico; para ello, se empleará un diseño experimental riguroso que garantice la obtención de resultados confiables y reproducibles; se contempla la medición detallada de variables clave, como el crecimiento vegetal, la calidad nutricional del forraje y la eficiencia en el uso de recursos, utilizando técnicas analíticas y estadísticas avanzadas para el análisis de datos y la interpretación de resultados (Florez, 2021).

En el plano social, esta investigación no solo busca generar conocimiento científico, sino también impactar de manera positiva en la comunidad agrícola de Cajamarca; al ofrecer a los agricultores una alternativa viable para mejorar la productividad y rentabilidad de sus cultivos, se promueve el desarrollo agrícola sostenible en la región. Además, al reducir la dependencia de los fertilizantes químicos y minimizar el impacto negativo en los recursos naturales, se fomenta la adopción de prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente, contribuyendo así a la preservación de los ecosistemas locales y a la mitigación del cambio climático (Ecozap, 2023).

Desde una perspectiva teórica, la investigación busca expandir el conocimiento científico en el campo de la agronomía y la biotecnología aplicada. Al explorar el uso de biofertilizantes a base de lactosuero en cultivos hidropónicos, se pretende obtener información valiosa sobre su efectividad y sus potenciales beneficios en términos de rendimiento y calidad del cultivo de cebada; además, al profundizar en la comprensión de los procesos fisiológicos y metabólicos implicados en la interacción entre el biofertilizante y la planta, se enriquece el

acervo de conocimientos científicos disponibles, sentando las bases para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo agrícola (Grageda, 2012).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero en el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de las concentraciones de biofertilizante en el crecimiento y rendimiento de biomasa fresca y seca del forraje hidropónico de cebada.

Comparar la eficiencia de las concentraciones de biofertilizante de lactosuero con un tratamiento testigo sin fuente de nutrientes.

Determinar la mejor concentración de biofertilizante de suero de leche para obtención de mayor producción de forraje hidropónico.

1.4. Hipótesis

Las diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero tienen un efecto positivo en el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Cajamarca.

CÁPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Paredes et al. (2023) en su estudio “*Interacción grupal universitaria en la producción de forraje verde hidropónico de Cebada*”. En Chimborazo, Ecuador. Con el objetivo de evaluar el efecto de los diferentes niveles de bioestimulante natural sobre la producción de forraje hidropónico verde de cebada en el tiempo de cosecha de 9 y 15 días después de la germinación. Los datos se analizaron con un diseño completamente al azar con 7 repeticiones para detectar diferencias entre medias se utilizó la prueba de rango múltiples de Tukey. Los resultados indicaron que el mejor tratamiento fue el tercero con una altura media de 6.37 cm a los 9 días y similar al segundo, y diferente al primero ($p < 0.05$), posteriormente no existieron diferencias significativas para las alturas medias de los tres tratamientos.

Coveña (2021) en su investigación “*Desarrollo de forraje verde de cebada (hordeum vulgare L.) en condiciones hidropónicas*”. Guayaquil, Ecuador. Con el objetivo de determinar el mejor efecto agronómico de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) usando cuatro frecuencias de riego y dos dosis de fertilizante. Esta investigación utilizó un diseño bifactorial $2 \times 4 + 1$, nueve tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron cuatro frecuencias de riego y dos fertilizantes, para T1 (2riegos/día-40ml biol), T2 (3riegos/días-40ml biol), T3 (4riegos/día-40 ml biol), T4 (5riegos/día-40 ml biol), T5 (2riegos/día-12ml Solución-nutritiva), T6 (3riegos/día-12ml-solución nutritiva), T7 (4riegos/día-12ml solución nutritiva), T8 (5riegos/día-12ml solución nutritiva), T9 (5riegos/día-testigo). Se utilizaron bandejas para FVH (0,133m²). El mejor resultado de altura de planta y número de hoja, lo obtuvo T8. En rendimiento de peso húmedo, el mejor tratamiento fue T9 y el mayor porcentaje de materia

seca lo obtuvo T1. Mientras tanto, T4 obtuvo mayor porcentaje de fibra, el T9 mayor porcentaje de proteína y el T8 mayor porcentaje de humedad.

Inga (2020) estudiando el “*Efecto de la aplicación de bioestimulantes en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) cultivar centenario bajo condiciones de invernadero*”. En Huaraz, Perú. Con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de bioestimulantes en la producción de forraje verde hidropónico de cebada cultivar centenario bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron los siguientes tratamientos: Quitosano (1.5 L/200 L), aminoácidos (0.5 L/200 L), Ácidos húmicos (1.5 L/200 L), extracto de algas marinas (0.5 L/200 L) y testigo; las variables evaluadas fueron: altura de la planta, largo de raíz, contenido de materia seca, cenizas, proteína total, rendimiento de forraje verde y rentabilidad. Los resultados mostraron que la aplicación foliar de los diferentes bioestimulantes no genera efectos diferentes significativos en la altura de planta, largo de raíz, contenido de materia seca, cenizas y rendimiento del forraje verde hidropónico; sin embargo, los bioestimulantes si provocan diferencias estadísticas significativas en el contenido de proteína total, siendo las algas marinas el bioestimulantes que genera un mayor contenido de proteína con un valor global de 14.24 %; semejantemente, las algas marinas han logrado un mayor contenido de materia seca global con 10.363 %.

Ríos (2023) indagando la “*Respuesta de diferentes concentraciones de biol bovino en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.)*”. En Pucallpa, Perú. Con el objetivo de determinar la respuesta de diferentes concentraciones de biol bovino sobre la composición química y producción. Se probaron 5 concentraciones de biol bovino: 0%, 25%, 50 %, 75 % y 100 %; se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, para determinar su porcentaje y producción de materia fresca, de materia seca y altura de planta). Se instalaron 20 bandejas con semilla de maíz (*Zea mays* L.). Los resultados indicaron diferencias altamente significativas para la fuente de variación de

concentraciones de biol bovino, para las variables estudiadas. Las pruebas de Tukey demostraron que a medida que se incrementa la concentración de biol bovino, también aumenta el porcentaje de materia seca, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de proteína cruda, producción de materia fresca, producción de materia seca, producción de materia orgánica, producción de proteína cruda y altura de planta en condiciones de manejo del experimento. Se concluye que, la concentración de 100 % de biol bovino presenta los mejores resultados en cuanto a producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Hidroponía forrajera

La hidroponía forrajera es una técnica de producción de cultivos para alimentación animal sin necesidad de suelo, utilizando soluciones nutritivas bajo condiciones controladas; las plantas crecen solo con el suministro de todos los elementos esenciales para su desarrollo a través de riego con solución nutritiva (FAO, 2001).

Esta tecnología presenta múltiples ventajas frente a los métodos tradicionales de cultivo en suelo; permite obtener una alta productividad de biomasa verde forrajera en espacios reducidos, con rendimientos 10 a 20 veces mayores por metro cuadrado que en campo abierto; asimismo, el suministro de agua y nutrientes es más eficiente, con ahorros superiores al 90 % de agua versus la agricultura convencional (Smart Fodder Farms, 2023).

Diversas especies forrajeras pueden ser cultivadas con éxito de forma hidropónica, siendo los más comunes cereales como cebada, avena, trigo y maíz forrajero, también leguminosas como alfalfa; la composición nutricional del forraje hidropónico es balanceada y en algunos casos superior al de cultivos tradicionales (Paipa et al., 2020).

El manejo de estos sistemas requiere controlar condiciones como temperatura, humedad relativa, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto en la solución nutritiva; un aprovisionamiento adecuado y equilibrado de macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes es indispensable para garantizar altos rendimientos de la biomasa forrajera (Avalos, 2021).

a. Ventajas de la hidroponía frente a la agricultura convencional

Las ventajas de la hidroponía en comparación con la agricultura convencional son significativas y bien documentadas; en primer lugar, se destaca el uso altamente eficiente del agua, donde los sistemas hidropónicos pueden reducir hasta un 90% el consumo de agua en comparación con los métodos tradicionales de cultivo; esta eficiencia se debe a la capacidad de recirculación del agua en sistemas cerrados, minimizando así las pérdidas por evaporación y percolación (Iberdrola, 2021).

Además, la hidroponía permite un mayor rendimiento por unidad de superficie; al controlar meticulosamente los nutrientes y las condiciones ambientales, los agricultores pueden obtener cosechas más abundantes en un espacio reducido en comparación con el cultivo en suelo; esta característica es especialmente importante en áreas donde el espacio agrícola es limitado o costoso (Flores, 2023).

El crecimiento acelerado de las plantas es otra ventaja notable de la hidroponía; al suministrar directamente los nutrientes a las raíces de las plantas a través de una solución nutritiva, se elimina la necesidad de que las plantas busquen nutrientes en el suelo; como resultado, las plantas tienden a crecer más rápido y a alcanzar la madurez de manera más eficiente en sistemas hidropónicos (Agrotendencia, 2022).

Otra ventaja clave es la reducción de enfermedades y plagas, al eliminar el suelo como sustrato de cultivo, se reduce significativamente la probabilidad de que las plantas sean afectadas por enfermedades del suelo y plagas comunes en la agricultura convencional; esto

puede resultar en una disminución de la necesidad de utilizar pesticidas y fungicidas, lo que a su vez puede conducir a una producción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Hidroponía, 2017).

b. Especies forrajeras más usadas en hidroponía (cebada y otros cereales)

Entre las especies más empleadas como forrajes hidropónicos destacan varios cereales de alto valor nutritivo como cebada, avena, maíz, trigo y sorgo; la cebada tiene la ventaja de ser un cereal de rápido crecimiento en condiciones hidropónicas, acumulando altos niveles de proteína en sus primeras etapas vegetativas; su periodo productivo fluctúa entre 14-21 días dependiendo de factores ambientales (Agronegocios, 2022).

El maíz forrajero es excelente por su elevada productividad de materia verde por área de cultivo; posee alto contenido energético por su concentración de carbohidratos solubles; el periodo de aprovechamiento es de 2 a 2.5 meses desde la siembra hasta la espiga ideal para ensilaje (Martínez, 2021).

Por su parte, el trigo y la avena forrajera tienen un alto valor nutritivo como alimento para rumiantes, con niveles de proteína que pueden superar 22 % en promedio; su ciclo oscila entre 130 a 150 días, pero pueden cosecharse cortes parciales (Collao, 2022).

Estudios recientes evidencian el alto potencial del sorgo forrajero en hidroponía; posee eficiencia fotosintética superior al maíz, con altos rendimientos de biomasa, proteína, energía digestible y contenido de azúcares; su ciclo de cultivo fluctúa entre 4-5 meses (Sedano, 2021).

En general, estos cereales forrajeros cultivados hidropónicamente destacan por su valor nutricional, producción intensiva de biomasa verde rica en proteínas, y versatilidad para suministrarse como forraje fresco o conservado; constituyen una alternativa viable para mejorar la alimentación animal (Mejía y Reyes, 2020).

c. Manejo, soluciones nutritivas, condiciones ambientales

El manejo en la hidroponía implica la gestión cuidadosa de diversos aspectos para asegurar el crecimiento óptimo de las plantas. Esto incluye la preparación y mantenimiento de soluciones nutritivas, el control de las condiciones ambientales y la monitorización del crecimiento de las plantas (Barros, 2021).

Las soluciones nutritivas, estas son mezclas específicas de nutrientes disueltos en agua, diseñadas para proporcionar a las plantas todo lo que necesitan para crecer de manera saludable; los nutrientes principales incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, así como micronutrientes como hierro, calcio y magnesio (Infoagro, 2024). El manejo adecuado de las soluciones nutritivas implica mantener los niveles de nutrientes en la solución dentro de rangos óptimos para cada etapa de crecimiento de la planta, lo que puede requerir ajustes periódicos para compensar la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Santos y Ríos, 2016).

En cuanto a las condiciones ambientales, es importante controlar factores como la temperatura, la humedad y la iluminación para garantizar un crecimiento óptimo de las plantas en un sistema hidropónico; la temperatura del agua y del aire debe mantenerse dentro de rangos específicos para cada tipo de planta, generalmente entre 18-25 °C para la mayoría de las especies (Caiche, 2024).

La humedad relativa también es importante, ya que niveles demasiado altos pueden aumentar el riesgo de enfermedades fúngicas, mientras que niveles bajos pueden provocar estrés hídrico en las plantas; además, proporcionar la iluminación adecuada es esencial para el crecimiento de las plantas en sistemas hidropónicos, asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de luz para la fotosíntesis (Alonso, 2023).

2.2.2. Lactosuero

El lactosuero es un subproducto líquido que se obtiene durante la producción de queso, y es rico en nutrientes beneficiosos para el crecimiento de las plantas; este subproducto, que a menudo se considera un residuo en la industria láctea, puede ser utilizado como una fuente económica y sostenible de nutrientes para el cultivo de plantas en sistemas hidropónicos (Ramírez, 2024).

El lactosuero contiene una variedad de compuestos nutritivos, incluyendo carbohidratos (principalmente lactosa), proteínas, vitaminas y minerales; estos nutrientes pueden ser fácilmente absorbidos por las plantas y utilizados para promover su crecimiento y desarrollo saludable; además, el lactosuero tiene propiedades que pueden beneficiar el suelo y mejorar su estructura, lo que lo convierte en una opción atractiva como biofertilizante en la agricultura (Patz, 2019).

El uso de lactosuero en sistemas hidropónicos puede proporcionar varios beneficios, incluyendo un suministro constante de nutrientes para las plantas, mejoras en la estructura y fertilidad del suelo, y la reducción de la dependencia de fertilizantes químicos. Además, el uso de lactosuero puede ayudar a reducir los residuos en la industria láctea al proporcionar una salida útil para un subproducto que de otro modo sería desechado (Rodríguez, 2012).

a. Características químicas y nutricionales

El lactosuero, también denominado suero de leche, es el subproducto de la elaboración del queso y otros derivados lácteos; está constituido fundamentalmente por la fracción líquida que se segrega de la cuajada; posee un elevado contenido de sólidos totales, que pueden superar el 95% de la fracción acuosa de la leche (Cujigualpa, 2022).

Es considerado un residuo muy rico en compuestos de alto valor nutritivo y funcional, principalmente de tipo proteico, enzimático y vitamínico; la proteína en el lactosuero,

denominada proteína sérica, representa cerca del 50 % del total de su fracción nitrogenada, constituida por formas solubles como la β -lactoglobulina, la α -lactoalbúmina, inmunoglobulinas, fracciones de seroalbúmina bovina y lactoferrina (Arteaga, 2015).

También es un sustrato muy completo en componentes bioactivos esenciales para diversas funciones del organismo, aportando vitaminas hidrosolubles como riboflavina, tiamina, ácido pantoténico, biotina, niacina y ácido fólico; así como minerales como calcio, fósforo, sodio, magnesio y zinc (López y Suárez, 2021).

Dada su composición química única, el lactosuero tiene la cualidad de servir como fuente magnífica de péptidos bioactivos, lípidos polares, ácidos orgánicos, elementos inorgánicos y otros compuestos de relevancia biológica; por tanto, representa un residuo orgánico de alto potencial nutricional y con múltiples aplicaciones a partir de su aprovechamiento (Chacón et al., 2017).

Tabla 1

Compuestos nutritivos presentes en el lactosuero.

Compuesto Nutritivo	Cantidad por cada 100 ml
Lactosa	4 – 5 gramos
Proteínas	0.5 – 1 gramos
Calcio	150 – 200 miligramos
Potasio	90 – 120 miligramos
Fosforo	70 – 90 miligramos
Magnesio	10 – 15 miligramos
Vitaminas (B1, B2, B6)	Cantidades traza
Ácido láctico	0.5 – 1 gramos
Sodio	50 – 70 miligramos

Nota. La tabla indica los compuestos nutritivos por cada 100 ml presentes en el lactosuero (Chacón et al., 2017).

b. Usos potenciales como biofertilizante en agricultura

El lactosuero posee una serie de usos potenciales como biofertilizante en la agricultura, debido a su rica composición en nutrientes y compuestos beneficiosos para el suelo; esta sustancia puede ser aprovechada para diversos fines agrícolas, ofreciendo una alternativa sostenible y efectiva para mejorar la productividad de los cultivos (Garay y Grajales, 2023).

El lactosuero proporciona una valiosa fuente de nutrientes para las plantas, incluyendo nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; estos elementos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y su aplicación puede contribuir a suplir las necesidades nutricionales de las plantas durante su ciclo de crecimiento (Rodríguez, 2012).

Además, el lactosuero puede desempeñar un papel importante en la mejora de la estructura del suelo; al aumentar el contenido de materia orgánica y promover la formación de agregados, ayuda a crear un suelo más fértil y saludable, con una mejor retención de agua y nutrientes, así como una mayor actividad microbiana (Parra, 2009).

Otro beneficio del lactosuero es su capacidad para estimular la actividad microbiana en el suelo; al proporcionar un sustrato rico en nutrientes para microorganismos beneficiosos, como bacterias y hongos, ayuda a descomponer la materia orgánica y liberar nutrientes disponibles para las plantas, lo que puede mejorar la disponibilidad de nutrientes y la salud del suelo a largo plazo (Maza, 2023).

Asimismo, se ha observado que el lactosuero posee propiedades antimicrobianas que pueden ayudar a controlar patógenos del suelo, reduciendo así la necesidad de pesticidas y fungicidas químicos en la agricultura; esto contribuye a promover prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Sanguineto, 2023).

c. Efectos sobre procesos fisiológicos de las plantas

Los efectos del lactosuero sobre los procesos fisiológicos de las plantas pueden ser diversos y significativos, influyendo en su crecimiento, desarrollo y respuesta a factores ambientales; esta sustancia puede afectar varios aspectos del metabolismo vegetal, lo que puede traducirse en beneficios para la salud y el rendimiento de los cultivos (Celdrán, 2023).

El lactosuero actúa como un estimulante del crecimiento vegetal, promoviendo la elongación de las raíces y el desarrollo de la masa vegetativa; esto puede conducir a un aumento en la biomasa de la planta y una mayor producción de follaje, contribuyendo así a un crecimiento más vigoroso y robusto de las plantas (Alcantara, 2019).

Además, el lactosuero mejora la absorción de nutrientes por parte de las plantas al proporcionar una fuente adicional de nutrientes biodisponibles; esta mejora en la absorción de nutrientes puede ser especialmente beneficiosa en suelos pobres en nutrientes o en condiciones de estrés ambiental, donde las plantas pueden tener dificultades para obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo (Mazorra y Moreno, 2019).

Otro efecto importante del lactosuero es su capacidad para aumentar la resistencia de las plantas al estrés abiótico, como la sequía, la salinidad o las altas temperaturas; se ha observado que el lactosuero puede ayudar a las plantas a tolerar mejor estas condiciones adversas, posiblemente a través de su influencia en la regulación osmótica, la protección antioxidante y la activación de mecanismos de defensa (Méndez y Vallejo, 2019).

Además, se ha sugerido que el lactosuero puede estimular la floración y fructificación de las plantas al proporcionar los nutrientes y factores de crecimiento necesarios para estos procesos, esto puede resultar en un aumento en la producción de flores y frutos, así como en una mejora en su calidad, lo que a su vez puede tener un impacto positivo en el rendimiento de los cultivos (Parra, 2009).

d. Evidencia de incremento de rendimientos en especies cultivadas

Fertilización con suero en maíz resultó en aumentos de 20-30% en rendimiento de grano en diferentes ensayos en la India. Atribuible a múltiples mecanismos fisiológicos promotores del crecimiento vegetal (Álvarez et al., 2009).

Forraje verde hidropónico de trigo incrementó su productividad de biomasa fresca en 15% adicional aplicando biofertilizante de suero de leche (Sánchez et al., 2013).

2.2.3. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos que contienen microorganismos vivos o sustancias activas producto de su metabolismo, que se aplican sobre semillas, plantas o suelo con el objetivo de incrementar la fertilidad biológica del sustrato; actúan como suplementos nutricionales para los cultivos, aportando o facilitando la asimilación de elementos importantes como nitrógeno, fósforo y otros minerales (Florez et al. 2021).

Entre los tipos de microorganismos presentes en los biofertilizantes más comunes están las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB), los hongos formadores de micorrizas (AMF) y las fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium*, que convierten el nitrógeno atmosférico en forma asimilable para las plantas (Zamudio, s. f.).

Otras fuentes biofertilizantes lo constituyen extractos y residuos orgánicos ricos en nutrientes como algas marinas, humus de lombriz, estiércoles, residuos de cosecha, sueros lácteos u otros desechos agroindustriales; todos estos materiales orgánicos aportan elementos nutritivos tras su biodegradación y/o bioconversión mediada por microorganismos edáficos (Research, 2023).

Los beneficios de los biofertilizantes son múltiples; mejoran propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo o sustrato, incrementan tolerancia de las plantas a factores de estrés, estimulan procesos metabólicos y fisiológicos que potencian crecimiento y

productividad de los cultivos; además, poseen ventajas frente a fertilizantes sintéticos al ser menos costosos, renovables y más amigables con el ambiente (Probelte, 2019).

a. Uso de residuos orgánicos como fuente de biofertilizantes

El uso de residuos orgánicos como fuente de biofertilizantes presenta una significativa relevancia tanto desde una perspectiva económica como ambiental; estos residuos, que de otra manera podrían ser considerados desechos, se convierten en recursos valiosos que benefician a agricultores y al medio ambiente por igual; desde un punto de vista económico, esta práctica puede reducir los costos de fertilización al disminuir la dependencia de fertilizantes químicos costosos; aprovechar los residuos locales disponibles puede mejorar la rentabilidad de los agricultores al reducir los gastos en insumos agrícolas (Marín, 2019).

Además, el proceso de transformación de residuos orgánicos en biofertilizantes puede generar ingresos adicionales para empresas y comunidades locales; por ejemplo, las plantas de compostaje pueden convertir residuos orgánicos en productos comercializables, como compost y extractos líquidos, que pueden venderse a agricultores y jardineros; esto no solo crea nuevas oportunidades de ingresos, sino que también promueve la valorización de subproductos que de otro modo serían desechados (Reyes, 2023).

Desde una perspectiva ambiental, el uso de residuos orgánicos como biofertilizantes contribuye al reciclaje de nutrientes en los sistemas agrícolas; en lugar de desechar los nutrientes contenidos en los residuos orgánicos, se reciclan y se devuelven al suelo, donde pueden ser utilizados por las plantas para su crecimiento y desarrollo; esto ayuda a preservar la calidad del suelo y los recursos hídricos al tiempo que reduce la contaminación del suelo y el agua con residuos químicos (Crespo, 2019).

Además, esta práctica agrícola sostenible contribuye a la reducción de la huella de carbono al tener una menor emisión de gases de efecto invernadero en comparación con los

fertilizantes químicos; al reducir la necesidad de productos químicos sintéticos y los procesos energéticamente intensivos asociados con su fabricación, se puede mitigar el cambio climático y proteger la salud humana y el medio ambiente (Ideas Verdes, 2024).

b. Mecanismos de acción y aporte nutricional de biofertilizantes a los cultivos

Los biofertilizantes derivados de residuos orgánicos ejercen sus efectos en los cultivos a través de diversos mecanismos de acción, al tiempo que proporcionan un valioso aporte nutricional; estos biofertilizantes actúan como una fuente biodisponible de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, los cuales son fácilmente asimilables por las plantas; además, promueven la actividad microbiana beneficiosa en el suelo, lo que contribuye a la descomposición de la materia orgánica y la liberación gradual de nutrientes, mejorando así su disponibilidad para las plantas (Grageda, 2012).

Uno de los mecanismos clave de acción de estos biofertilizantes es su capacidad para estimular el crecimiento radicular y el desarrollo vegetativo de las plantas; los compuestos orgánicos presentes en estos fertilizantes pueden favorecer la ramificación y elongación de las raíces, lo que aumenta la superficie de absorción de nutrientes y agua, mejorando la eficiencia en la captación de estos recursos vitales por parte de las plantas (Lemus et al., 2021).

Además, estos biofertilizantes contribuyen a mejorar la estructura del suelo al aumentar su contenido de materia orgánica y promover la formación de agregados; esto favorece la porosidad del suelo, la retención de agua y nutrientes, y la circulación de aire, creando un ambiente propicio para el desarrollo radicular y el crecimiento saludable de las plantas (Sánchez, 2023).

En cuanto al aporte nutricional, los biofertilizantes derivados de residuos orgánicos proporcionan una amplia gama de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; estos incluyen nitrógeno para el desarrollo vegetativo, fósforo para la formación de raíces y flores, potasio para la resistencia al estrés y la calidad de los frutos, y micronutrientes

como hierro, zinc y manganeso, que son necesarios en cantidades menores, pero igualmente importantes para diversas funciones fisiológicas de las plantas (Restrepo et al., 2017).

2.2.4. *Forrajes en el Perú*

En el contexto peruano, los forrajes desempeñan un papel esencial en la actividad ganadera y agrícola, siendo vitales para la alimentación del ganado y el desarrollo de la producción pecuaria en distintas zonas del país; estos cultivos destinados a la alimentación animal son fundamentales tanto para la ganadería de carne como para la producción láctea, contribuyendo significativamente al sustento de estas industrias (Christopher, 2018).

Una amplia variedad de especies de forrajes se cultiva en diversas regiones del Perú, adaptándose a las condiciones climáticas y edafológicas específicas de cada área. Entre los forrajes más comunes se encuentran los pastos como la pangola, la estrella, el *Brachiaria* y el kikuyo, así como las leguminosas forrajeras como la alfalfa, el trébol blanco, el trébol rojo y la soya forrajera (MINAGRI, s. f.).

En las zonas de sierra y puna, se cultivan forrajes adaptados a las bajas temperaturas y altitudes elevadas, como la quinua, la cebada forrajera, la alfalfa y el yacón; mientras tanto, en la selva peruana, se desarrollan forrajes tropicales como el king grass, el pasto elefante, la caña de azúcar y la yuca forrajera, adaptados al clima cálido y húmedo de la región (Agraria, s. f.).

La relevancia de los forrajes en el Perú radica en su contribución fundamental a la alimentación del ganado, ya sea en sistemas de producción intensiva o extensiva; además, estos cultivos desempeñan un papel crucial en la conservación del suelo y la biodiversidad, así como en el mantenimiento de los ecosistemas naturales en diversas áreas del país (Perulactea, s. f.).

El país enfoca esfuerzos en el desarrollo e investigación de nuevas variedades de forrajes y prácticas de manejo que mejoren la productividad y sostenibilidad de la ganadería,

aprovechando eficientemente los recursos disponibles en diferentes regiones del territorio peruano (INIA, s. f.).

a. Importancia económica y en seguridad alimentaria

En el contexto peruano, los forrajes desempeñan un papel de vital importancia tanto en el ámbito económico como en la seguridad alimentaria del país; desde una perspectiva económica, los forrajes representan una fuente crucial de ingresos para los productores ganaderos y agrícolas, así como para la industria agroalimentaria en general; estos cultivos proporcionan la materia prima necesaria para la producción de carne, leche y otros productos pecuarios, que constituyen una parte importante de la economía peruana (Tafur, 2009).

La ganadería, que depende en gran medida de los forrajes para la alimentación del ganado, es una actividad económica significativa en muchas regiones del Perú; la producción de carne y leche contribuye considerablemente al producto interno bruto (PIB) del país y genera empleo e ingresos para un gran número de personas en áreas rurales. Además, los forrajes también son importantes para otras actividades económicas relacionadas, como la producción de fibra animal (lana, cuero) y el agroturismo (Gutiérrez, et al. 2010).

Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, los forrajes desempeñan un papel crucial al garantizar la disponibilidad de alimentos nutritivos para el ganado, que a su vez proporciona proteínas de alta calidad para el consumo humano; el acceso a una alimentación adecuada para el ganado es fundamental para mantener la salud y el rendimiento de los animales, lo que a su vez contribuye a la disponibilidad de productos lácteos, carne y otros productos de origen animal para la población (Gamboa, 2021).

Además, los forrajes permiten diversificar la dieta del ganado, lo que puede contribuir a una mayor resiliencia frente a eventos climáticos adversos y a la variabilidad en la disponibilidad de alimentos; esto es especialmente importante en áreas rurales y comunidades

vulnerables, donde la seguridad alimentaria puede estar amenazada por factores como la sequía, las inundaciones o la pérdida de cultivos (Nicholls, 2015).

b. Situación actual de los forrajes en Perú

La situación actual de los forrajes en el Perú muestra una diversidad de aspectos tanto favorables como desafiantes en términos de disponibilidad y limitaciones; se observa una amplia gama de especies adaptadas a distintos climas y regiones geográficas, lo que proporciona una oferta diversificada para los productores ganaderos en todo el país; además, existen esfuerzos continuos de investigación y desarrollo dirigidos por instituciones gubernamentales, universidades y entidades privadas para mejorar la calidad y productividad de los forrajes, lo que refleja un compromiso con la mejora del sector (Pokorny et al., 2010).

Sin embargo, la escasez de agua se presenta como un desafío importante en muchas regiones, especialmente en la costa y zonas áridas de la sierra peruana; esta limitación puede afectar negativamente la producción y calidad de los forrajes, junto con la degradación del suelo, otro desafío significativo que enfrenta la producción forrajera; la erosión, la compactación del suelo y la pérdida de materia orgánica son problemas comunes que reducen la productividad de los cultivos y pueden comprometer su capacidad para nutrir adecuadamente al ganado (Ortiz y Villaverde, 2023).

Además, el manejo inadecuado de los cultivos forrajeros es un obstáculo que se enfrenta en algunas áreas, lo que incluye prácticas como la sobreexplotación de pastizales y el uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas; esta falta de conocimiento y aplicación adecuada de prácticas agrícolas puede impactar negativamente la salud del suelo y la calidad de los forrajes; asimismo, la competencia con otros cultivos agrícolas por tierras y recursos puede limitar la disponibilidad y elevar los precios de los forrajes, lo que dificulta el acceso de los productores ganaderos a alimentos de calidad para su ganado (Ramirez, 2023).

2.2.5. Cultivo de cebada

En el contexto peruano, el cultivo de cebada ha experimentado variaciones tanto en su superficie cultivada como en su rendimiento, lo que ha impactado en la producción total del país; durante el año 2022 – 2023, se registró una superficie cultivada de cebada para grano de 85,715 hectáreas y 16,754 hectáreas de cebada forrajera; la producción total fue de alrededor de 225,488 toneladas de cebada en grano y 453,743 toneladas de cebada forrajera durante el mismo período; la cebada es uno de los cereales más versátiles que se conocen, y su adaptación a diferentes climas contribuye a su evolución genética (MINAGRI, 2023).

El rendimiento promedio del cultivo de cebada se ha situado en alrededor de 1.13 toneladas por hectárea para cebada en grano y de 16 – 20 toneladas por hectárea de cebada forraje en los últimos años; sin embargo, este rendimiento puede verse influenciado por una serie de factores, como las condiciones climáticas, las prácticas de manejo agrícola y la disponibilidad de tecnología adecuada (Pinedo et al., 2020).

Las regiones más destacadas por su producción de cebada incluyen La Libertad, Arequipa, Cajamarca, Ayacucho y Puno, entre otras; estas regiones cuentan con condiciones agroclimáticas propicias y una infraestructura agrícola desarrollada que favorece el cultivo exitoso de este cereal; sin embargo, es importante tener en cuenta que el rendimiento del cultivo puede ser vulnerable a eventos climáticos extremos, enfermedades y plagas, lo que puede influir en la producción final de cebada en el país (Llacsá et al., 2020).

2.3. Definición de términos

Hidroponía

Sistema de cultivo sin suelo que utiliza soluciones nutritivas para proveer a las plantas de agua y nutrientes esenciales; en el caso de forrajes hidropónicos, permite una producción intensiva de biomasa verde de alta calidad en espacios reducidos y condiciones controladas (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], s. f).

Lactosuero

Subproducto líquido resultante de la elaboración de quesos y otros derivados lácteos; rico en proteínas, lactosa, vitaminas y minerales; representa un residuo agroindustrial de alto potencial para su revalorización como biofertilizante (Chacón et al., 2017).

Biofertilizante

Producto que contiene microorganismos benéficos o sustancias derivadas de su actividad metabólica, que al ser aplicados a semillas, plantas o suelo incrementan la disponibilidad de nutrientes y promueven el crecimiento vegetal. Constituyen una alternativa sostenible frente a fertilizantes químicos sintéticos (Corrales, 2017).

Cebada forrajera

Especie de cereal ampliamente utilizada para la alimentación animal debido a su rápido crecimiento, alta productividad y excelente valor nutricional; se adapta muy bien a sistemas hidropónicos, donde puede alcanzar elevados rendimientos de biomasa verde en cortos periodos (Veterinaria Digital, 2019).

Solución nutritiva

Mezcla acuosa que contiene todos los elementos esenciales disueltos (macronutrientes y micronutrientes) requeridos para el crecimiento óptimo de las plantas en hidroponía; su adecuada formulación y manejo son claves para maximizar el rendimiento y calidad nutricional de los cultivos hidropónicos (AEFA, s. f.).

Residuo orgánico

Material biodegradable que resulta de procesos industriales o agrícolas, como el suero lácteo, que puede tener un impacto ambiental si no se gestiona adecuadamente (Pascual, 2018).

Eutrofización

Proceso por el cual un cuerpo de agua se enriquece con nutrientes, como los presentes en el suero lácteo, lo que puede conducir a un crecimiento excesivo de algas y a la pérdida de oxígeno en el agua (Cruzito, 2019).

Gestión ambiental

Conjunto de prácticas y políticas destinadas a minimizar el impacto negativo de las actividades humanas en el medio ambiente, incluida la gestión adecuada de residuos como el suero lácteo (Castro, 2024).

CÁPITULO III

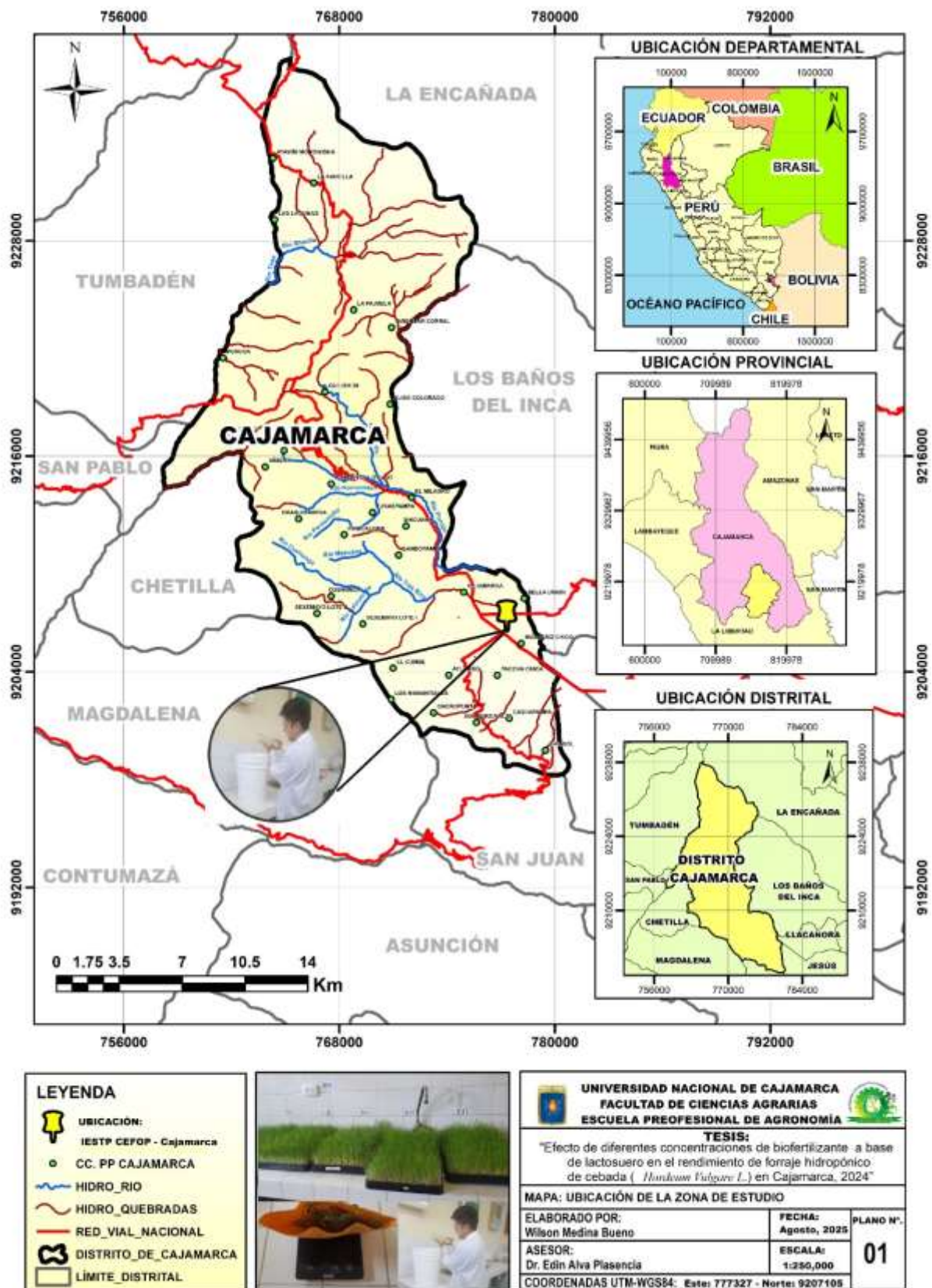
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El trabajo experimental se llevó a cabo en el laboratorio del IESTP CEFOP-Cajamarca. En este espacio, se realizó la germinación de *Hordeum vulgare L.* utilizando bandejas hidropónicas; el laboratorio se encuentra ubicado en el Km 3.5 de la carretera Cajamarca - Baños del Inca, a una altitud de 2681 metros; las coordenadas UTM correspondieron a 9207115mN y 777330mE en el valle de Cajamarca, en el Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; este entorno proporcionó un contexto ideal para realizar investigaciones relacionadas con la germinación de plantas y su adaptación a las condiciones de altitud.

Figura 1

Ubicación del experimento.



3.2. Materiales

3.2.1. *Material experimental*

Semillas de Cebada (*Hordeum vulgare* L.),

Biofertilizante

3.2.2. *Materiales para preparar el biofertilizante*

1 tanque de plástico de 200 L

1 botella descartables de 3 L

1 metro de manguera transparente de 5/8"

3.2.3. *Insumos para preparar 200 litros de biofertilizante*

150 litros de suero

20 kilogramos de Alfalfa

20 kilogramos de melaza

40 litros de agua

100 gramos de levadura

3.2.4. *Otros Insumos*

Hipoclorito de sodio

3.2.5. *Equipos*

Balanza digital

Estufa

3.2.6. *Otros Materiales*

Bandejas

Etiquetas

Frascos asperjadoras de 1 litro

Bolsas de cartón

Reglas

Baldes

Plástico negro

3.2.7. *Otros equipos*

Computadora

Calculadora

3.3. Metodología

3.3.1. *Variables*

a. Variable independiente

Biofertilizante de lactosuero

b. Variable dependiente

Rendimiento de forraje hidropónico

3.3.2. *Diseño experimental, arreglos de los tratamientos*

a. Diseño experimental

El enfoque estadístico seleccionado para analizar el impacto del biofertilizante a base de lactosuero en el rendimiento del cultivo hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) fue el Diseño Completamente al Azar (DCA) simple, con tres repeticiones. Esta metodología se eligió con el objetivo de garantizar la imparcialidad en la distribución de los tratamientos y permitir una evaluación precisa de los efectos del biofertilizante en el rendimiento del cultivo. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Son las observaciones obtenidas la j -ésima vez que se repite el experimento, con el tratamiento i -ésimo.

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento i (de los tratamientos)

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental que se presenta al efectuar la j -ésima observación del i -ésimo tratamiento.

b. Arreglos de los tratamientos

Los tratamientos estuvieron representados por la aplicación de diferentes dosis de biofertilizante de lactosuero a las semillas de cebada (*Hordeum vulgare L.*) dispuestas en bandejas hidropónicas. La distribución de los tratamientos se realizó en un Diseño Completamente al Azar (DCA).

Tabla 2

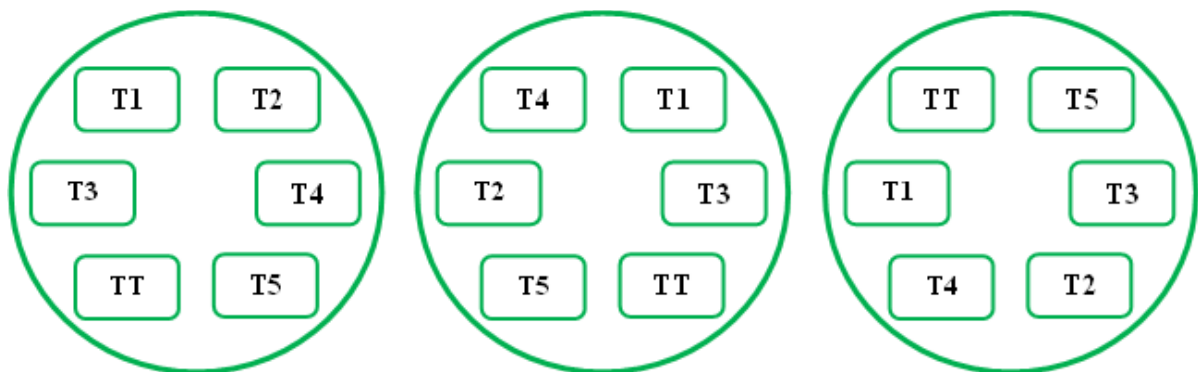
Tratamientos en estudio.

Número	Tratamientos	Dosis
1	T1	10 ml de biofertilizante / 1 L de H ₂ O
2	T2	20 ml de biofertilizante / 1 L de H ₂ O
3	T3	30 ml de biofertilizante / 1 L de H ₂ O
4	T4	40 ml de biofertilizante / 1 L de H ₂ O
5	T5	50 ml de biofertilizante / 1 L de H ₂ O
6	Testigo	Sin dosis de biofertilizante

Nota: La tabla describe 5 tratamientos (T1 a T5) con diferentes dosis de biofertilizante (10 a 50 ml L de agua) y un testigo sin biofertilizante.

Figura 2

Distribución de los tratamientos en el campo experimental.



3.3.3. Procedimiento

a. Adquisición de semilla de cebada

Para asegurar un cultivo hidropónico próspero, se utilizó la compra de semillas de cebada provenientes de proveedores confiables o empresas especializadas en agricultura que garantizaron su calidad y pureza; fue fundamental que las semillas estuvieran adaptadas a las

condiciones locales de cultivo en Cajamarca, lo que significó que debían ser capaces de soportar las condiciones climáticas de la región.

b. Selección de semillas

Durante la selección de las semillas, se examinaron minuciosamente para descartar aquellas que presentaban signos de daños, deformidades, enfermedades o impurezas; se priorizaron las semillas de tamaño uniforme y coloración adecuada, lo que indicó su viabilidad y calidad.

c. Desinfección de semilla

Para llevar a cabo la desinfección de las semillas seleccionadas, se sumergieron en una solución desinfectante con una concentración específica de hipoclorito de sodio, que varió entre el 0,5 % y el 2 % según las recomendaciones estándar para la desinfección de semillas en agricultura; este porcentaje de hipoclorito de sodio se diluyó adecuadamente en agua para obtener la concentración deseada antes de sumergir las semillas en la solución; el tiempo de exposición de las semillas a esta solución desinfectante osciló entre 10 y 30 minutos; una vez completado el proceso de desinfección, las semillas se enjuagaron con agua limpia para eliminar cualquier residuo de la solución desinfectante.

d. Desinfección de bandejas

Las bandejas fueron limpiadas minuciosamente para eliminar residuos orgánicos y suciedad; luego, se preparó una solución desinfectante con detergente e hipoclorito de sodio, cuya concentración, entre 0.5 % y 2 %, se ajustó según las recomendaciones para cultivos hidropónicos; las bandejas se sumergieron en esta solución durante un tiempo específico para eliminar patógenos y microorganismos. Posteriormente, se enjuagaron con agua limpia y se

dejaron secar completamente antes de la siembra, asegurando un entorno libre de patógenos y adecuado para las plántulas.

e. Imbibición de semillas

Las semillas desinfectadas se colocaron en un recipiente con agua durante 24 horas para permitir la absorción de humedad y la imbibición; este proceso estimuló el inicio de la germinación al ablandar la cubierta de la semilla y activar los procesos metabólicos internos necesarios para su desarrollo inicial.

f. Pregerminado

Después de la imbibición, las semillas se colocaron en un recipiente oscuro por 48 horas y se mantuvieron en condiciones óptimas de temperatura y humedad para facilitar la germinación; durante este período, se monitoreó de cerca el progreso de la germinación y se proporcionó ventilación adecuada para prevenir la acumulación de humedad y evitar problemas como la pudrición de las semillas.

g. Distribución de semillas germinadas en las bandejas

Una vez que las semillas germinaron y desarrollaron raíces iniciales, se distribuyeron de manera uniforme en las bandejas de cultivo hidropónico, asegurando una densidad de siembra adecuada (600 gramos por bandeja) para evitar la competencia entre las plántulas y promover un crecimiento saludable.

h. Cubrimiento con plástico negro

Las bandejas de cultivo hidropónico se cubrieron por 72 horas con plástico negro o material opaco para crear un ambiente oscuro y promover el alargamiento de los tallos y el

desarrollo de raíces fuertes; este método simuló condiciones de crecimiento subterráneo y minimizó la exposición a la luz, ayudando a prevenir problemas como la elongación excesiva de los tallos o el amarilleo de las plántulas.

i. Aplicación de tratamientos

Los tratamientos establecidos en el diseño experimental fueron aplicados según lo previsto; la solución de biofertilizante de lactosuero se roció una vez al día por la mañana utilizando asperjadoras de 625 ml, conforme a cada tratamiento; por la tarde, únicamente se aplicó agua sin cloro; tanto las aplicaciones del fertilizante como las de agua se realizaron siguiendo el método recomendado; este procedimiento se llevó a cabo durante 15 días después de distribuir las semillas en las bandejas, con el fin de garantizar la efectividad y seguridad de los tratamientos para el cultivo, tal como se estableció en el diseño experimental.

3.3.4. Evaluaciones.

a. Altura de planta.

Se procedió a medir la altura de cada bandeja, tomando en cuenta la distancia desde el cuello hasta la parte más alta de la planta; esta medición se llevó a cabo durante el período de cosecha, específicamente entre los 15 y 30 días después de la siembra; para ello, se empleó una regla estándar de 30 centímetros como instrumento de medición; este procedimiento permitió obtener datos precisos sobre el crecimiento de las plantas y su desarrollo en el sistema hidropónico de cultivo de cebada.

b. Grosor de raíces.

Se llevó a cabo la medición del grosor de la disposición de raíces en cada bandeja, comenzando desde el fondo de esta hasta el punto donde el tallo de la planta comienza en el

cuello: esta medición se realizó en dos momentos distintos: a los 15 y 30 días previos a la cosecha; para esta evaluación, se empleó una regla estándar de 30 centímetros como instrumento de medición; este procedimiento permitió obtener datos precisos sobre el desarrollo de las raíces en el cultivo hidropónico de cebada, facilitando la evaluación del crecimiento de las plantas en diferentes etapas del ciclo de cultivo.

c. Rendimiento de materia fresca.

La evaluación del rendimiento de la materia fresca se llevó a cabo una vez que el cultivo fue cosechado, 21 días después de establecer el experimento; para medir esta variable, se utilizó una balanza digital, lo que permitió obtener un registro preciso del peso de la materia verde producida en cada tratamiento; este procedimiento de medición se realizó de manera sistemática, asegurando que cada tratamiento fuera evaluado con precisión para obtener datos confiables sobre el rendimiento del cultivo en respuesta a los diferentes tratamientos aplicados.

d. Rendimiento de materia seca.

Una vez completada la medición del peso del follaje verde, se tomaron muestras de 100 gramos de cada tratamiento, las cuales fueron llevadas a una estufa a una temperatura constante de 105 grados Celsius por un período de 24 horas, durante tres días consecutivos (72 horas en total); posteriormente, las muestras fueron pesadas nuevamente para determinar su peso seco; para calcular la cantidad de materia seca presente en las muestras, se aplicó la fórmula correspondiente según el procedimiento establecido.

$$MS = \frac{PS}{PV} \times 100$$

Donde:

MS: materia seca

PS: Peso seco

PV: Peso verde

e. Análisis de laboratorio del biofertilizante de lactosuero.

Tabla 3

Resultados del análisis de laboratorio del biofertilizante de lactosuero de leche.

pH	CE (dS/m)	Solidos totales g/L	M.O. en solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L
5.5	16.35	84.20	4.6	1861.63	184.92	3837.50	1677.50	195.00
Na Total mg/L	Cu Total mg/L	Mn Total mg/L	Fe Total mg/L	Zn Total mg/L	B Total mg/L			
650.00	0.24	1.24	24.00	1.16	0.75			

El análisis del biofertilizante de lactosuero revela características importantes para su uso como abono orgánico. El pH registrado es de 5.5, lo que indica que está en el rango óptimo para biofertilizantes. La conductividad eléctrica (CE) es alta, con un valor de 16.35 dS/m, lo que se diluyó adecuadamente antes de su aplicación; en cuanto a los nutrientes, el biofertilizante presenta un contenido significativo de nitrógeno total (1861.63 mg/L), superando el mínimo requerido para abonos orgánicos, así como niveles adecuados de fósforo total (184.92 mg/L); el potasio total es especialmente elevado (3837.50 mg/L), lo que podría causar desequilibrios nutricionales si no se maneja con cuidado; los elementos secundarios como calcio (1677.50 mg/L) y magnesio (195 mg/L) se encuentran en concentraciones moderadas, mientras que el sodio total (650 mg/L) contribuye a la alta salinidad detectada; en cuanto a los micronutrientes, los niveles de hierro (24 mg/L) y boro (0.75 mg/L) son adecuados, aunque el zinc (1.16 mg/L) está ligeramente por debajo de los valores óptimos para fertilizantes orgánicos, y el cobre (0.24 mg/L) y manganeso (1.24 mg/L) presentan concentraciones aceptables.

CÁPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de materia fresca

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el Rendimiento de materia fresca indica que los tratamientos con diferentes concentraciones de biofertilizante tienen un efecto significativo, con un p-valor de 0.0063; esto indica que las distintas concentraciones de biofertilizante influyen en el rendimiento de materia fresca de la cebada hidropónica; en cambio, las repeticiones no tienen un efecto significativo (p-valor = 0.1026), indicando que las diferencias entre repeticiones no influyen en el rendimiento de materia fresca.

El coeficiente de variación (CV) es de 4.61 %, el cual indica una variabilidad moderada en los resultados de la materia fresca en las diferentes repeticiones dentro de cada tratamiento; además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de materia fresca.

Tabla 4

Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de materia fresca.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repeticiones	0.0219	2	0.011	2.8832	0.1026
Tratamientos	0.1228	5	0.0246	6.4526	0.0063
Error	0.0381	10	0.0038		
Total	0.1828	17			

CV = 4.61 %

El análisis de los resultados de la Prueba de Tukey para el rendimiento de materia fresca (Tabla 4 y Figura 3), en función de las diferentes concentraciones de biofertilizante a base de

lactosuero, revela que el tratamiento T5 resultó en el mayor rendimiento del forraje hidropónico de cebada, con un valor promedio de 1.5 kg, conformando el grupo estadístico A.

Los tratamientos T4 y T3, ambos con 1.4 kg, así como el T2 con 1.3 kg, se ubicaron en una posición intermedia, conformando el grupo estadístico AB; esto indica que estas concentraciones de biofertilizante también promovieron una producción favorable de biomasa fresca, aunque no tan pronunciada como el tratamiento superior.

Los tratamientos T1 y el testigo, con valores de 1.3 kg y 1.2 kg respectivamente, registraron los menores rendimientos de materia fresca, ubicándose en el grupo estadístico B; esta diferencia respecto al tratamiento con mayor concentración (T5) demuestra el efecto positivo del biofertilizante a base de lactosuero sobre la producción de biomasa fresca del forraje hidropónico de cebada.

La aplicación del biofertilizante influyó favorablemente en la producción de materia fresca, siendo la concentración más alta (5 %) la que generó los mejores resultados en términos de rendimiento del forraje hidropónico de cebada bajo las condiciones experimentales establecidas en Cajamarca.

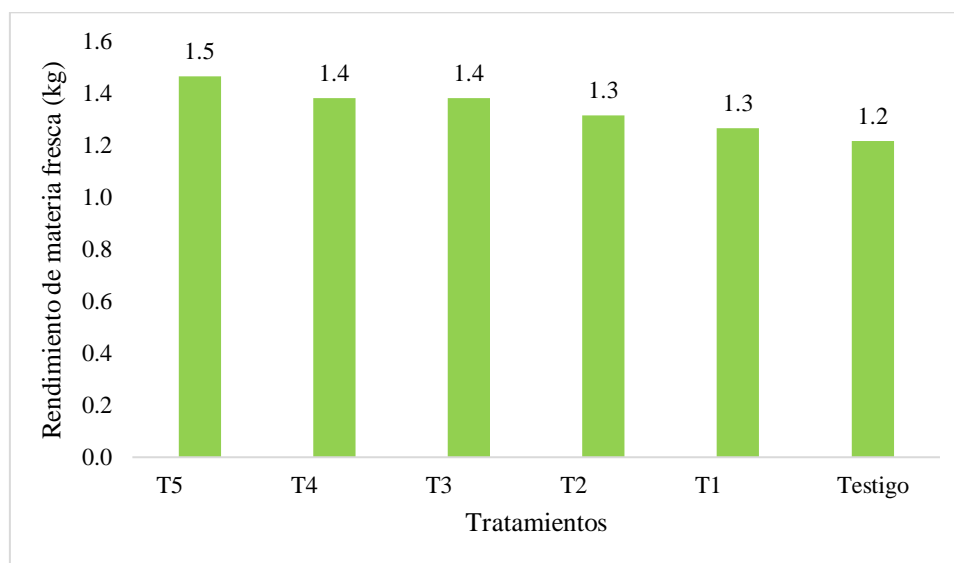
Tabla 5

Prueba de Tukey para el rendimiento de materia fresca (kg) por efecto del biofertilizante de lactosuero.

Tratamientos	Materia fresca (Kg)	Agrupación
T5	1.5	A
T4	1.4	AB
T3	1.4	AB
T2	1.3	AB
T1	1.3	B
Testigo	1.2	B

Figura 3

Rendimiento de materia fresca (kg) por del biofertilizante de lactosuero.



Estos resultados guardan relación con lo reportado por Ríos (2023), quien encontró diferencias altamente significativas en la producción de materia fresca en forraje hidropónico de maíz, observando que el tratamiento con 100% de concentración de biol bovino generó los mejores resultados; en ambos casos, se evidencia una tendencia donde las mayores concentraciones de biofertilizantes orgánicos conducen a una mayor producción de biomasa fresca. De manera similar, Coveña (2021) obtuvo los mejores resultados en peso húmedo con el tratamiento T9 que incluía la mayor frecuencia de riego, lo que sugiere que una mayor disponibilidad de nutrientes ya sea por concentración del biofertilizante o frecuencia de aplicación, favorece la producción de materia fresca.

Los resultados evidencian que las diferentes concentraciones de biofertilizante favorecieron el rendimiento de materia fresca de la cebada hidropónica; este hallazgo se alinea con lo indicado por Avalos (2021), quien destaca que la hidroponía forrajera permite optimizar el suministro de nutrientes, promoviendo un crecimiento acelerado en condiciones controladas. Además, el lactosuero, al contener macronutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio (Rodríguez, 2012), facilita la absorción de estos elementos y mejora el desarrollo de la

biomasa vegetal. Asimismo, Celdrán (2023) señala que el lactosuero puede actuar como un bioestimulante vegetal, mejorando la fisiología de las plantas y aumentando su eficiencia en el uso de los recursos.

4.2. Rendimiento de materia seca

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el rendimiento de materia seca indica que los tratamientos con diferentes concentraciones de biofertilizante tienen un efecto significativo, con un p-valor de 0.0021; esto indica que las concentraciones de biofertilizante influyen en el rendimiento de materia seca de la cebada hidropónica; en cambio, las repeticiones no presentan un efecto significativo (p-valor = 0.2649), indicando que las diferencias entre repeticiones no afectan de manera importante el rendimiento de materia seca.

El coeficiente de variación (CV) es de 4.55 %, el cual indica una variabilidad moderada en los resultados de la materia seca en las diferentes repeticiones dentro de cada tratamiento; además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de materia seca.

Tabla 6

Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de materia seca.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repeticiones	7	2	3.5	1.5217	0.2649
Tratamientos	100	5	20	8.6957	0.0021
Error	23	10	2.3		
Total	130	17			

CV = 4.55 %

El análisis de los resultados de la Prueba de Tukey para el rendimiento de materia seca (Tabla 6 y Figura 4), en función de las diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero, revela que el tratamiento T5 resultó en el mayor rendimiento del forraje hidropónico

de cebada, con un valor promedio de 37.0 %, seguido estadísticamente por los tratamientos T4 y T3, ambos con 34.0 %, conformando los tres el grupo estadístico A sin diferencias significativas entre sí.

Los tratamientos T1 y T2, ambos con 33.0 %, se ubicaron en una posición intermedia, conformando el grupo estadístico AB; esto indica que estas concentraciones intermedias de biofertilizante también promovieron una producción favorable de materia seca, aunque no tan pronunciada como los tratamientos superiores.

El tratamiento testigo registró el menor rendimiento de materia seca con 29.0 %, ubicándose en el grupo estadístico B; esta diferencia respecto a los tratamientos con mayores concentraciones evidencia el efecto positivo del biofertilizante a base de lactosuero sobre la producción de materia seca del forraje hidropónico de cebada.

La aplicación del biofertilizante influyó favorablemente en la producción de materia seca, siendo las concentraciones más altas (5 %, 4 % y 3 %) las que generaron los mejores resultados en términos de rendimiento del forraje hidropónico de cebada bajo las condiciones experimentales establecidas en Cajamarca.

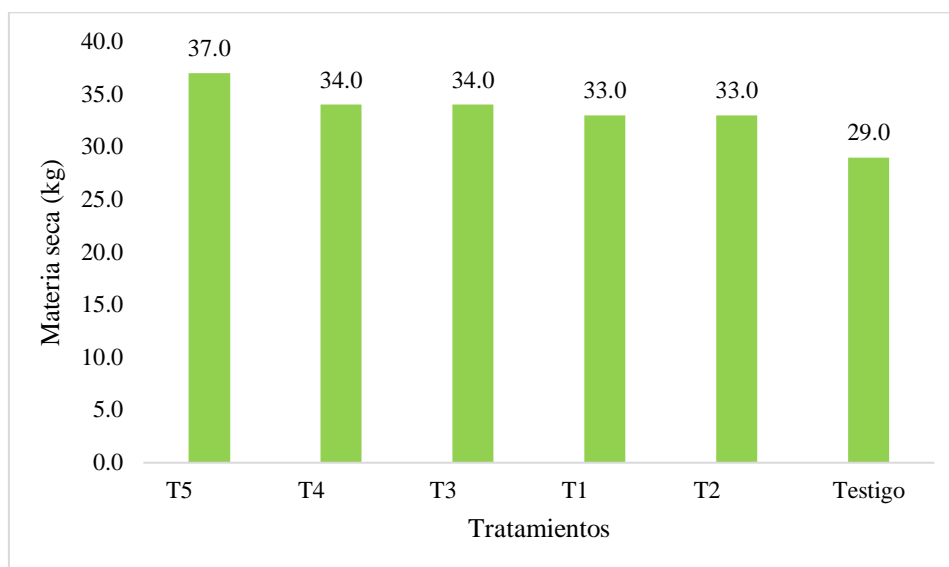
Tabla 7

Prueba de Tukey para el rendimiento de materia seca (%) por efecto del biofertilizante de lactosuero.

Tratamientos	Materia seca (%)	Agrupación
T5	37.0	A
T4	34.0	A
T3	34.0	A
T1	33.0	AB
T2	33.0	AB
Testigo	29.0	B

Figura 4

Rendimiento de materia seca (%) por efecto del biofertilizante de lactosuero.



Estos resultados difieren de los encontrados por Inga (2020), quien no observó diferencias significativas en el contenido de materia seca al aplicar diferentes bioestimulantes en forraje hidropónico de cebada, reportando un contenido de materia seca global de 10.363% con el uso de algas marinas como bioestimulante. Esta notable diferencia en los porcentajes (37.0% vs 10.363%) podría atribuirse tanto a la naturaleza y composición específica del biofertilizante utilizado como a las condiciones ambientales de cada experimento. Por otro lado, Coveña (2021) encontró que el mayor porcentaje de materia seca se obtuvo con el tratamiento T1 (2 riegos/día con 40ml de biol), lo que sugiere que la concentración y frecuencia de aplicación del biofertilizante pueden influir en la acumulación de materia seca.

La aplicación del biofertilizante influyó en el contenido de materia seca de la cebada hidropónica, lo que coincide con estudios previos como los de Sánchez et al. (2013), quienes reportaron un incremento significativo en la biomasa de trigo hidropónico tras la aplicación de biofertilizantes derivados del lactosuero. Además, Celdrán (2023) resalta que el uso de este subproducto lácteo mejora la absorción de nutrientes, facilitando un mejor desarrollo de la planta y favoreciendo su metabolismo. Maza (2023) también destaca que la interacción entre

los microorganismos presentes en los biofertilizantes y la rizosfera contribuye a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes.

4.3. Altura de planta de cebada

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la altura de planta muestra que los tratamientos con diferentes concentraciones de biofertilizante tienen un efecto significativo, con un p-valor de 0.0182; esto indica que las diferentes concentraciones de biofertilizante influyen en la altura del forraje hidropónico de cebada; en cambio, las repeticiones no tienen un efecto significativo (p-valor es 0.5997) indicando que las diferencias entre repeticiones no influyen en la altura de las plantas.

El coeficiente de variación (CV) es de 5.64 %, el cual indica una variabilidad moderada en los resultados de la altura de planta en las diferentes repeticiones dentro de cada tratamiento; además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la altura de planta.

Tabla 8

Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta (cm).

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repeticiones	0.7778	2	0.3889	0.5385	0.5997
Tratamientos	16.9444	5	3.3889	4.6923	0.0182
Error	7.2222	10	0.7222		
Total	24.9444	17			

CV = 5.64 %

El análisis de los resultados de la Prueba de Tukey para la altura de planta (Tabla 8 y Figura 5), en función de las diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero, revela que el tratamiento T5 resultó en la mayor altura del forraje hidropónico de cebada, con un valor promedio de 16.3 cm, seguido estadísticamente por el T4 con 16.0 cm, conformando

ambos el grupo estadístico A sin diferencias significativas entre sí; esto indica que las concentraciones más altas de biofertilizante a base de lactosuero tuvieron un efecto positivo sobre la altura de las plantas.

Los tratamientos intermedios T3 y T2, ambos con 15.0 cm de altura, así como el T1 con 14.7 cm, se ubicaron en una posición intermedia, conformando el grupo estadístico AB; esto indica que estas concentraciones de biofertilizante también promovieron un crecimiento favorable del forraje, aunque no tan pronunciado como los tratamientos superiores.

El tratamiento testigo, sin aplicación de biofertilizante, registró la menor altura con 13.3 cm, ubicándose en el grupo estadístico B; esta diferencia respecto a los tratamientos con mayores concentraciones demuestra el efecto positivo del biofertilizante a base de lactosuero sobre el crecimiento vertical del forraje hidropónico de cebada.

Los resultados indican que las concentraciones más altas de biofertilizante (4 % y 5 %) tuvieron un efecto positivo significativo sobre el crecimiento en altura de las plantas de cebada en comparación con el tratamiento testigo; se observa una tendencia donde la altura de la planta incrementa a medida que aumenta la concentración del biofertilizante, aunque las diferencias no son siempre estadísticamente significativas entre concentraciones.

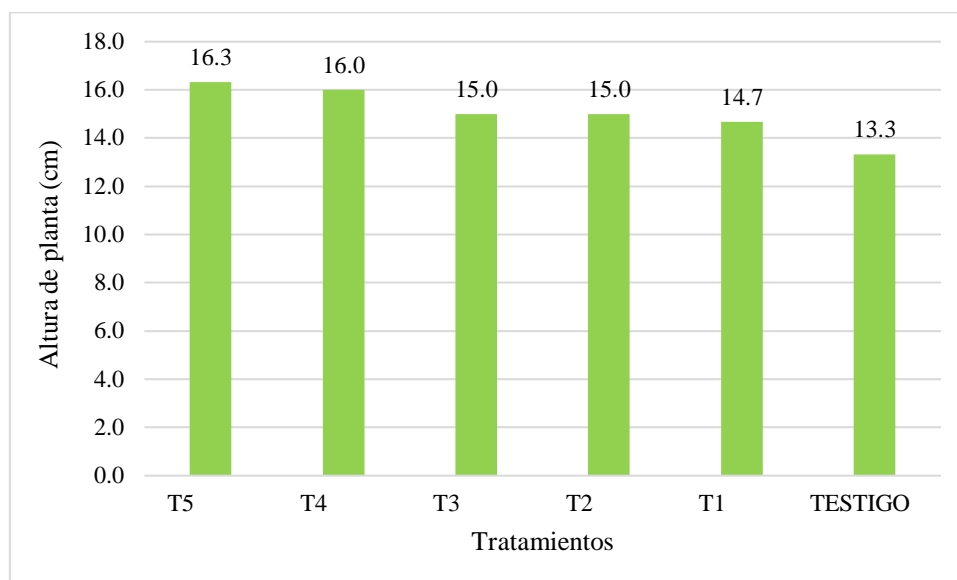
Tabla 9

Prueba de Tukey para la altura de planta (cm) por efecto del biofertilizante de lactosuero.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Agrupación
T5	16.3	A
T4	16.0	A
T3	15.0	AB
T2	15.0	AB
T1	14.7	AB
Testigo	13.3	B

Figura 5

Altura de planta (cm) en cada tratamiento por efecto del biofertilizante de lactosuero.



Estos resultados superan significativamente a los reportados por Paredes et al. (2023), quienes obtuvieron una altura media de 6,37 cm a los 9 días utilizando bioestimulantes naturales en forraje hidropónico de cebada. Esta diferencia notable podría atribuirse tanto a las distintas condiciones ambientales entre Ecuador y Cajamarca, como a la efectividad específica del biofertilizante a base de lactosuero. Por su parte, Inga (2020) no encontró diferencias significativas en la altura de planta al aplicar diferentes bioestimulantes (quitosano, aminoácidos, ácidos húmicos y extracto de algas marinas), lo que contrasta con nuestros resultados y sugiere que el lactosuero podría tener propiedades particulares, que favorecen el crecimiento vertical de las plantas.

El biofertilizante favoreció el crecimiento en altura de la cebada hidropónica, lo que coincide con lo descrito por Alcántara (2019), quien indica que el lactosuero mejora la disponibilidad de nutrientes y promueve el desarrollo radicular y vegetativo. Además, el incremento en la altura de la planta puede relacionarse con el efecto estimulante del lactosuero sobre la actividad microbiana en la solución nutritiva, tal como lo mencionan Maza (2023) y

Grageda (2012). De esta manera, se confirma que el uso de biofertilizantes derivados del lactosuero potencia el crecimiento vegetal y contribuye al desarrollo estructural de las plantas.

4.4. Grosor de raíces de cebada

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el grosor de raíces indica que los tratamientos con diferentes concentraciones de biofertilizante tienen un efecto significativo, con un p-valor de 0.0074; esto indica que las distintas concentraciones de biofertilizante influyen en el grosor de las raíces en el forraje hidropónico de cebada; en cambio, las repeticiones no muestran un efecto significativo (p-valor de 0.6904), indicando que las variaciones experimentales entre repeticiones no influyen en el grosor de disposición de raíces.

El coeficiente de variación (CV) es de 8.23 %, el cual indica una variabilidad moderada en los resultados de grosor de disposición de raíces en las diferentes repeticiones dentro de cada tratamiento; además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad del grosor de disposición de raíces.

Tabla 10

Análisis de varianza (ANOVA) para el grosor de disposición de raíces.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repeticiones	0.0833	2	0.0417	0.3846	0.6904
Tratamientos	3.3333	5	0.6667	6.1538	0.0074
Error	1.0833	10	0.1083		
Total	4.5	17			

CV = 8.23 %

El análisis de los resultados de la Prueba de Tukey para el grosor de disposición de raíces (Tabla 10 y Figura 6), en función de las diferentes concentraciones de biofertilizante a base de lactosuero, revela que el tratamiento T5 resultó en el mayor grosor del sistema radicular del forraje hidropónico de cebada, con un valor promedio de 4.5 cm, seguido estadísticamente

por el T4 y T3 con 4.3 cm y 4.2 cm respectivamente, conformando los tres el grupo estadístico A sin diferencias significativas entre sí.

Los tratamientos T2 y T1, con valores de 4.0 cm y 3.8 cm respectivamente, se ubicaron en una posición intermedia, conformando el grupo estadístico AB; esto indica que estas concentraciones intermedias de biofertilizante también promovieron un desarrollo radicular favorable, aunque no tan prominente como los tratamientos superiores.

El tratamiento testigo, sin aplicación de biofertilizante, registró el menor grosor de disposición de raíces con 3.2 cm, ubicándose en el grupo estadístico B; esta diferencia respecto a los tratamientos con mayores concentraciones evidencia el efecto positivo del biofertilizante a base de lactosuero sobre el desarrollo del sistema radicular del forraje hidropónico de cebada.

La aplicación del biofertilizante influyó favorablemente en el desarrollo radicular de las plantas, siendo las concentraciones más altas (5 %, 4 % y 3 %) las que generaron los mejores resultados en términos de grosor de raíces del forraje hidropónico de cebada bajo las condiciones experimentales establecidas en Cajamarca.

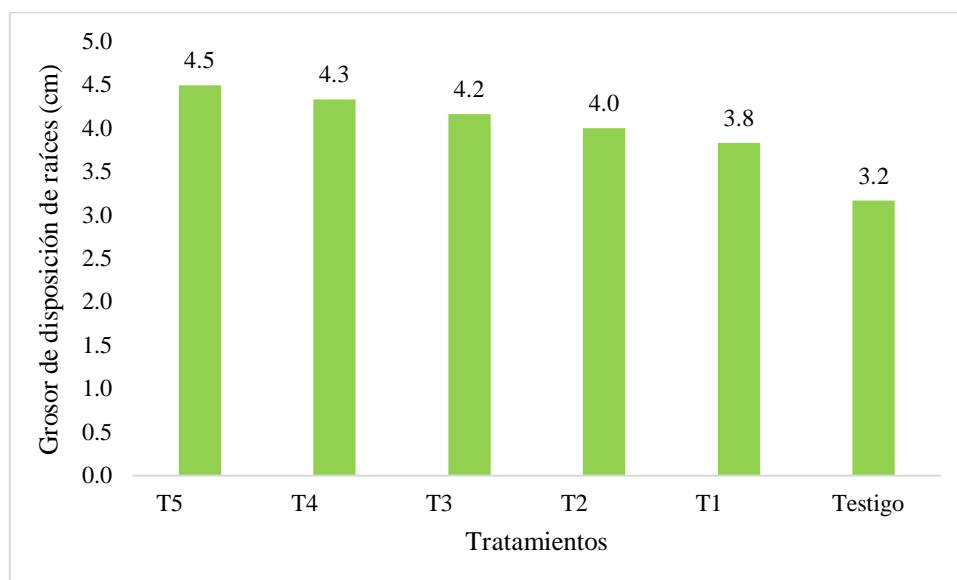
Tabla 11

Prueba de Tukey para el grosor de disposición de raíces por efecto del biofertilizante de lactosuero.

Tratamientos	Grosor de disposición de raíces (cm)	Agrupación
T5	4.5	A
T4	4.3	A
T3	4.2	A
T2	4.0	AB
T1	3.8	AB
Testigo	3.2	B

Figura 6

Grosor de raíces (cm) en cada tratamiento por efecto del biofertilizante de lactosuero.



Estos resultados contrastan con los hallazgos de Inga (2020), quien no encontró diferencias significativas en el largo de raíz al aplicar diferentes bioestimulantes (quitosano, aminoácidos, ácidos húmicos y extracto de algas marinas); la diferencia en los resultados podría explicarse por la composición específica del lactosuero utilizado como biofertilizante, el cual podría contener elementos como el fósforo y potasio que favorecen particularmente el desarrollo radicular.

El biofertilizante también tuvo un impacto positivo en el desarrollo del sistema radicular de la cebada hidropónica, lo que coincide con lo reportado por Ramírez (2024), quien destaca que el lactosuero contiene componentes bioactivos que estimulan la elongación radicular y mejoran la absorción de agua y nutrientes. Además, la interacción entre los microorganismos presentes en el biofertilizante y la rizosfera de la planta facilita la solubilización de nutrientes, promoviendo un desarrollo radicular robusto (Grageda, 2012). Estos hallazgos sugieren que el biofertilizante no solo mejora la biomasa vegetal, sino también la arquitectura radicular, lo que es crucial para la absorción de agua y nutrientes.

CÁPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La aplicación de biofertilizante de lactosuero mejora significativamente el crecimiento y rendimiento del forraje hidropónico de cebada; las concentraciones del 5 % y 4 % mostraron los mejores resultados en términos de materia fresca, materia seca, altura de planta y desarrollo radicular; en cambio, el tratamiento sin biofertilizante tuvo los valores más bajos en todos los parámetros.

Todas las concentraciones de biofertilizante evaluadas fueron superiores al tratamiento sin fertilizante en términos de rendimiento, crecimiento y desarrollo radicular. El biofertilizante al 5 % destacó con el mayor aumento en biomasa fresca y seca, altura de planta y grosor de raíces.

La concentración del 5 % de biofertilizante mostró los mejores resultados en biomasa fresca (1.5 kg), biomasa seca (37 %), altura de planta (16.3 cm) y grosor radicular (4.5 cm). Sin embargo, las concentraciones de 4 % y 3 % también presentaron rendimientos elevados y similares en algunos parámetros.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda usar biofertilizante de lactosuero al 4 % o 5 % para maximizar el rendimiento del forraje hidropónico, dado que estas concentraciones mostraron los mejores resultados en biomasa y crecimiento de las plantas.

Se recomienda realizar estudios adicionales que evalúen la rentabilidad económica del uso de biofertilizante de lactosuero en la producción de forraje hidropónico.

Investigar su efecto en otros cultivos hidropónicos y en diferentes condiciones ambientales.

CÁPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Agraria.pe. (s. f.). Principales forrajes para la sierra peruana según su adaptabilidad. *Agencia Agraria de Noticias*. <https://agraria.pe/noticias/principales-forrajes-para-la-sierra-peruana-segun-su-adaptab-29566>
- Agronegocios. (2022). El forraje verde hidropónico, un sistema agrario sostenible contra el cambio climático. *Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/el-forraje-verde-hidroponico-un-sistema-agrario-sostenible-contra-el-cambio-climatico-3426039>
- Agrotendencia. Tv. (2022). Forraje verde hidropónico: Proceso, ventajas y desventajas. *Agrotendencia.tv*. <https://agrotendencia.tv/agropedia/pastos-y-forrajes/produccion-de-forraje-verde-hidroponico/>
- Agrotendencia. Tv. (2022). Sistemas hidropónicos: Tipos, diferencias, ventajas y beneficios. *Agrotendencia.tv*. <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/hidroponia/tipos-de-sistemas-de-hidroponia/>
- Alcantara, J. S.; Acero, J.; Alcántara, J. D.; & Sánchez, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. Retrieved March 02, 2024, from. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&tlng=es
- Alejandra, B. A. N. (2023, 29 mayo). Evaluación de biofertilizante preparado con residuos hidrobiológicos y su efecto en el rendimiento forrajero y valor nutricional del cultivo de alfalfa Moapa 69. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/f185eccf-360b-40d1-852b-e39e8c50b914>

- Alonso, A. (2023). Diseño de un invernadero hidropónico. [Tesis de Maestría, Comillas Universidad Pontificia].
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/74159/TFM%20-%20Alonso%20Armesto%2c%20Alicia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez, J. D.; Gómez, D. A.; León, N. S.; Gutiérrez, F. A. (2009). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44(5).
<https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n5/v44n5a7.pdf>
- Arteaga, M. (2015). Aprovechamiento industrial del lactosuero. [Tesis de Grado, Universidad de Córdoba].
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/d9fee080-43ca-4f59-9291-4b1735a4e9f5/content>
- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes [AEFA]. (s. f.). Solución nutritiva, del suelo y saturada. <https://aeфа-agronutrientes.org/solucion-nutritiva-del-suelo-y-saturada>
- Avalos, M. (2021). PH, EC y temperatura: medición y ajuste de parámetros fundamentales. *Hydrocultura*. <https://hydrocultura.com/blogs/news/ph-ec-y-temperatura-medicion-y-ajuste-de-parametros-fundamentales>
- Barros, I. C. (2021). Desarrollo de un sistema informático para la automatización de cultivos hidropónicos en la ciudad de Ambato. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33834/1/t1891si.pdf>
- Caiche, J. D. (2024). Diseño de sistema de invernadero automatizado para forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) implementando el programa Arduino. [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena].
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10896/1/UPSE-TIA-2024-0005.pdf>

- Calleja, J. (2021). Cómo producir el doble de alimentos en 2050 en un escenario de deterioro de las tierras y sin agua. El País. <https://elpais.com/planeta-futuro/2021-12-14/como-producir-el-doble-de-alimentos-en-2050-en-un-escenario-de-deterioro-de-las-tierras-y-sin-agua.html>
- Castro, M. (2024). Saneamiento ambiental. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/saneamiento-ambiental/>
- Chacón, L. R.; Chávez, A., Rentería, A. L. & Rodríguez, J. C. (2017). Proteínas del lactosuero: usos, relación con la salud y bioactividades. *Interciencia*, vol. 42, núm. 11, pp. 712-718. <https://www.redalyc.org/journal/339/33953499002/html/>
- Celdrán, M. (2023). Evaluación de la capacidad bioestimulante de diferentes productos de origen natural. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/200404/Celdran%20-%20Evaluacion%20de%20la%20capacidad%20bioestimulante%20de%20diferentes%20productos%20de%20origen%20natural.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Christopher. (2018). Programa Nacional de Pastos y Forrajes. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://www.inia.gob.pe/pn-pastos-forrajes/>
- Coveña, N. E. (2021). Desarrollo de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare*) en condiciones hidropónicas. [Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil]. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/79c20186-46ab-4c12-8713-628d1076c50c/content>
- Collao, A. J. (2022). Rendimiento y calidad de forrajeras cultivadas en silo bolsas bajo diferentes aditivos. [Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/32248/TM-3143.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- Corrales, L. C.; Caycedo, L.; Gómez, M. A., Ramos, S. J.; & Rodríguez, J. N. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nueva*, 15 (27), 46-65. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702017000100046&lng=en&tlng=es
- Crespo, C. (2019). Reciclaje de nutrientes: nutre el suelo de manera natural. *PortalFruticola.com*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/03/01/reciclaje-de-nutrientes-nutre-el-suelo-de-manera-natural/>
- Cruzito. (2019). Contaminación química del agua causada por detergentes diarios. *Ciencia de Hoy*. <https://cienciadehoy.com/contaminacion-quimica-del-agua-causada-por-detergentes-diarios/>
- Cujigualpa, O. G. (2022). Aporte nutritivo del suero de leche en la alimentación de cerdos. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17512/1/17T01751.pdf>
- Dufey, A., & Stange, D. (2011, 1 junio). *Estudio regional sobre la economía de los biocombustibles en 2010: temas clave para los países de América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/3906>
- Ecozap. (2023, 28 abril). La agricultura ecológica: una alternativa sin químicos para cultivar. <https://ecozap.es/productos-ecologicos/la-agricultura-ecologica-una-alternativa-sin-quimicos-para-cultivar/>
- Florez, M., Roldán, D., Omote, J. R., & Molleda, A. (2021). Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 635-651. Epub 00 de octubre de 2021. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>

- Flores, P. C. (2023). Solución nutritiva para cultivos hidropónicos - paso a paso. *Plantas Con Flores*. <https://plantasconflores.com/huerto/solucion-nutritiva-para-cultivos-hidroponicos/>
- Gamboa, L. (2021). Estrategias de suplementación alimenticia no convencional para ganado bovino. [Trabajo de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42136/Lgamboag.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Garay, Y. A. y Grajales, F. D. (2023). Análisis del Impacto de la seguridad alimentaria por el uso de lactosueros en la industria láctea colombiana. [Tesis de Maestría, Universidad Ean]. <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/13212/GrajalesFabian2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Grageda, O. A.; Díaz, A.; Peña, J. J., & Vera, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274. Recuperado en 27 de febrero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015&lng=es&tlng=es
- Gutiérrez, H. C.; Trujillo, G. Martínez, M. (2010). Plan estratégico del sector ganadero bovino en el Perú [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://www.proquest.com/openview/673e446ad1c4d1b5ed3aa59fdb86e2d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51922&diss=y>
- Hidroponía, C. (2017). ¿Qué son los fungicidas agrícolas?. <https://hidroponia.mx/que-son-fungicidas-agricolas/>

- Huertas, R. A. P. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1): 4967-4982.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24892>
- Iberdrola. (2021). Qué es la hidroponía y sus ventajas. *Iberdrola*.
<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas>
- Ideas Verdes. (2024). Biofertilizantes: Naturaleza, función y beneficios en la agricultura sostenible. Ideas Verdes. <https://www.ideasverdes.es/biofertilizantes-naturaleza-funcion-y-beneficios-en-la-agricultura-sostenible/>
- Infoagro. (2022). Árboles y arbustos forrajeros para alimentación animal. InfoAgronomo.
<https://infoagronomo.net/arboles-y-arbustos-forrajeros-para-alimentacion-animal/>
- Infoagro. (2024). ¿Qué es una solución nutritiva?. InfoAgronomo.
<https://infoagronomo.net/que-es-una-solucion-nutritiva/>
- Inga, J. C. (2020). Efecto de la aplicación de bioestimulantes en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) cultivar centenario bajo condiciones de invernadero. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4478/T033_44847681_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (s. f.). Campañas: Producción de pastos y forrajes - Plataforma del Estado Peruano.
<https://www.gob.pe/institucion/inia/campa%C3%B1as/5759-produccion-de-pastos-y-forrajes>
- Intagri S.C. (s. f.). La Hidroponía: Cultivos sin Suelo.
<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>

- Intagri S.C. (s. f.). Producción de forraje verde hidropónico.
<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/produccion-de-forraje-verde-hidroponico>
- Jiménez, A. T.; Martínez, S. T.; Rojas, S. J.; Zamora, B. L. Arcilla, V. H. (2022, 1 julio). El efecto invernadero y su relación con la producción de carne de origen animal mito o realidad. *Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia*. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/cf954c3d-7f1f-44a5-889e-3a03af3c4134>
- Lemus, B. A., Venegas, E., & Pérez, M. A. (2021). Efecto de bioestimulantes radiculares sobre el crecimiento en plantas de aguacate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 1139-1144.<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2725>
- Llacsá, J.; Gamarra, J. A.; Gómez, C. A.; Martínez, A.; Gómez, L. R.; & Viera, M. A. (2020). Evaluación de genotipos promisorios de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los Andes centrales de Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(2), e17856. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17856>
- López, L. B. y Suárez, M. M. (2021). Fundamentos de nutrición normal. Editorial F.1 Ateneo. Tercera edición. ISBN 978-950-02-1146-8. [https://editorialelateneo.com.ar/descargas/FUND.%20NUTRICI%C3%93N%20NORMAL%20\(3%20ed%20-%201er%20cap\).pdf](https://editorialelateneo.com.ar/descargas/FUND.%20NUTRICI%C3%93N%20NORMAL%20(3%20ed%20-%201er%20cap).pdf)
- Luna, R. (2013). Rendimiento del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) forrajera verde en relación con tres métodos de producción hidropónica estándar. [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4179/T-1826.pdf?sequence=1>

- Magrin, G. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/items/a1212038-fb01-45bf-9d24-70f8496be8c5>
- Marín, D. J. (2019). Impacto del uso de biofertilizantes a base de residuos orgánicos en los suelos. *Conciencia Tecnológica*, núm. 58. <https://www.redalyc.org/journal/944/94461547008/html/>
- Martínez, L. (2021). Efecto del genotipo de Avena sativa L. sobre la composición química de ensilajes de planta entera. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5771/Mart%20Lucas%20-%20Trabajo%20de%20Intensificaci%20b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Maza, D. D. (2023). Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos orgánicos para árboles frutales de la finca “don luchito” de la parroquia Chicaña, cantón Yantzaza de la provincia Zamora Chinchipe, durante el año 2023. [Trabajo de Grado, Instituto Superior Tecnológico Sudamericano]. <http://dspace.tecnologicosudamericano.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/687/1/Dennis%20Maza%20Proyecto%202023%20Final.pdf>
- Mazorra, M. A.; & Moreno, J. M. (2019). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *CienciaUAT*, 14(1), 133-144. Epub 03 de agosto de 2020. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1134>
- Mejía, D. A., Reyes, A. N. (2020). Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura. [Tesis de Grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/580adc07-0cef-4213-812a-66450d2a742a/content>

- Méndez, C. y Vallejo, M. Á. (2019). Mecanismos de respuesta al estrés abiótico: hacia una perspectiva de las especies forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 33-64. 2020.<https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.567>
- MINAGRI. (s. f.). Minagri recomienda para un manejo adecuado de pastos y forrajes. (Noticias - Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural - Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/agrorural/noticias/525839-minagri-recomienda-para-un-manejo-adecuado-de-pastos-y-forrajes>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MINAGRI]. (2023). Boletín estadístico mensual el agro en cifras. Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-08064. https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2023/Agro_en_cifras_01_2023.pdf
- Nicholls, C. I. Henao, A. Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1): 7-31. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711/216131>
- Núñez, J.; Ñaupari, J. & Flores, E. (2019). Comportamiento nutricional y perfil alimentario de la producción lechera en pastos cultivados (*Panicum maximum Jacq*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 178-192. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i1.15681>
- Núñez, O. P. & Guerrero, J. R. (2021). Forrajes hidropónicos: una alternativa para la alimentación de animales domésticos. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 8(1), 44-52. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2311-25812021000100006&lng=es&tlng=es

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2001). Manual Técnico: Forraje Verde Hidropónico. Primera edición, Santiago de Chile. <https://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf>
- Ortiz, A. y Villaverde, N. M. (2023). Huella hídrica y rendimiento de cultivos agrícolas en el distrito de Chupaca. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9515/T010_70234688_T.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- Paipa, L.; Bernal, L.; Conde, A.; Quijano, N. y Bula, K. (2020). El forraje verde de hidropónico: una alternativa sostenible en tiempos de cambio climático. *Ámbito Investigativo*: vol. 5, Iss. 2, Article 8. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1107&context=ai#:~:text=Las%20especies%20vegetales%20m%C3%A1s%20empleadas%20en%20la,%20Sorghum%20bicolor%20L.%29%2C%20el%20trigo%20%28Triticum%20aestivum%20L.%29%2C>
- Paredes, M. P.; Bravo, O. F.; Carrasco, J. L. & Gómez, J. C. (2023). Interacción grupal universitaria en la producción de forraje verde hidropónico de Cebada. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 225-233. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v15n2/2218-3620-rus-15-02-225.pdf>
- Parra, R. A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 62(1): 4967-4982. <http://scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>
- Pascual, V. (2018). Obtenido el primer bioplástico para envases a partir del suero lácteo. *CienciasAmbientales.com*. <https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/obtenido-el-primer-bioplastico-para-envases-a-partir-del-suero-lacteo-13190>

- Patzi, Z. (2019). Formulación y elaboración de una bebida fermentada probiótica en base a suero lácteo y harina de amaranto. [Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés].
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/32458/PG-7078.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Perulactea. (s. f.). Los Forrajes Conservados son Clave en un Contexto Climático Complejo.
<https://perulactea.com/los-forrajes-conservados-son-clave-en-un-contexto-climatico-complejo/>
- Pinedo, T. R.; Rojas, I. F.; Bautista, C. M. (2020). Cultivo de cebada. Universidad Nacional Agraria La Molina. Primera Edición.
https://proyeccion.lamolina.edu.pe/manuales/Manual_Cultivo_Cebada.pdf
- Pokorny, B.; Godar, J.; Hoch, L.; Johnson, J.; de Koning, J.; Medina, G.; Steinbrenner, R.; Vos, V. e Weigelt, J. (2010). La producción familiar como alternativa de un desarrollo sostenible para la Amazonia. Center for International Forestry Research. ISBN: 978-602-8693-33-2.
https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BPokorny1002.pdf
- Probelte. (2019). ¿Cómo actúan los biofertilizantes en el suelo y los cultivos? Probelte. España.
<https://probelte.com/es/noticias/como-actuan-los-biofertilizantes-en-el-suelo-y-los-cultivos/>
- Ramirez, A. G. (2023). *Las transiciones agroecológicas justas en los sistemas agroalimentarios: analizando el género y los conocimientos tradicionales*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya BarcelonaTECH].
https://www.researchgate.net/profile/Ana-Ramirez-Santos-2/publication/377815211_Las_transiciones_agroecologicas_justas_en_los_sistemas_agroalimentarios_analizando_el_genero_y_los_conocimientos_tradicionales/links/65ba

15e979007454974f6073/Las-transiciones-agroecologicas-justas-en-los-sistemas-agroalimentarios-analizando-el-genero-y-los-conocimientos-tradicionales.pdf

Ramirez, K. A. (2024). Aprovechamiento de efluentes de la industria láctea como solución nutritiva para sistemas hidropónicos en la microcuenca lechera de Ayaviri-puno. [Tesis de Grado, Universidad Católica de Santa María].
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/2ff82016-0c39-434e-b59d-9ffb0a86b7d1>

Ramírez, R. (2022). ¿Por qué creció la industria agropecuaria en el Perú?. MobilTM Perú. <https://mobil.pe/industria-agropecuaria-aumento-su-produccion-en-37-en-el-2022/>

Research, L. P. (2023). Biofertilizantes: tipos, funciones y beneficios. LIDA Plant Research. <https://www.lidaplantresearch.com/biofertilizantes/biofertilizantes-tipos-funciones/>

Restrepo, S. P., Pineda, E. C., & Ríos, L. A. (2017). Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18 (2), 335-351.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:635

Reyes, J. (2023). Biofertilizantes: La solución ecológica para un cultivo sostenible. *Vida Sustentable*. <https://vida-sustentable.com/biofertilizantes/>

Ríos, J. E. (2023). Respuesta de diferentes concentraciones de biol bovino en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en Pucallpa. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ucayali].
http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/6820/B12_2023_UNU_AGRONOMIA_2023_T_JUDA-RIOS-ESTENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, A. S. (2012). Manual para la educación nutricional en la secundaria básica. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-1796-5.

<https://www.kobo.com/us/en/ebook/manual-para-la-educacion-nutricional-en-la-secundaria-basica>

Sánchez, F.; Moreno, E. C.; Contreras, E., & Morales, J. (2013). Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(4), 35-43.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2013000400003&lng=es&tlng=es

Sánchez, J. M. D. (2023). Biofertilizantes: qué son y cómo mejorar la fertilidad del suelo de forma natural. *Agriquito, Noticias Agrícolas*.
<https://agriquito.com/blog/agricultura/wikicultivos/biofertilizantes/>

Sanguineto, P. (2023). Nanopartículas biogénicas a partir de *Trichoderma* spp. y su aplicación en el control de fitopatógenos de arroz y trigo. [Tesis de Maestría, Universidad de la República Uruguay].
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/40535/1/uy24-20828.pdf>

Santos, B. y Ríos, D. (2016). Cálculo de soluciones: Nutritivas en suelo y sin suelo. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. 1ª edición. ISBN: 978-84-15012-87-0.
https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf

Sedano, R. E. (2021). Comportamiento de la mezcla forrajera de avena y vicia en sus diferentes proporciones con la adición de solución nutritiva y microorganismos eficaces. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica].
<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c8870345-6d56-4b56-a649-0fabd5c60ef1/content>

- Smart Fodder Farms. (2023). Cómo producir forraje hidropónico: una guía paso a paso. *Smart Fodder Farms*. <https://www.smartfodderfarms.com/es/como-producir-forraje-hidroponico-guia/>
- Tafur, M. A. (2009). La inocuidad de los alimentos y el comercio internacional. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22 (3), 330-338. Recuperado el 03 de marzo de 2024, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902009000300009&lng=en&tlng=es
- Veterinaria Digital S.A. (2019). Cereales alternativos en alimentación animal. Avicultura y Porcicultura. Veterinaria Digital - Avicultura, Porcicultura, Rumiantes y Acuicultura. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/cereales-alternativos-en-alimentacion-animal/>
- Zamudio, J. (s. f.). Los biofertilizantes microbianos. <https://agrotransfer.org/index.php/articulo-tecnico/563-los-biofertilizantes-microbianos>

ANEXOS

Figura 7

Resultados de análisis nutricional del biofertilizante lactosuero.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : WILSON MEDINA BUENO

PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CAJAMARCA/ CAJAMARCA/ LOTE 1

MUESTRA DE : BIOFERTILIZANTE

REFERENCIA : H.R. 81597

BOLETA : 6241

FECHA : 08/02/2024

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
964		3.50	16.35	84.20	54.00	1861.63	184.92	3837.50

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
964		1677.50	195.00	850.00

LAB	CLAVES	Cu Total mg/L	Mn Total mg/L	Fe Total mg/L	Zn Total mg/L	B Total mg/L
964		0.24	1.24	24.00	1.16	0.75



Dra. Lily Tello Peramás
Jefe de Laboratorio

Figura 8

Resultados de análisis microbiológico del biofertilizante lactosuero.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA

INFORME DE ENSAYO N° 2401294- LMT



SOLICITANTE: WILSON MEDINA BUENO
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA: BIOL

PROCEDENCIA : Cajamarca
 TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
 CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
 ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
 FECHA DE MUESTREO : 2024 – 02 – 19
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2024 – 02 – 23
 FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2024 – 03 – 11
 FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2024 – 03 – 18

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 2401294
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/ml)	< 3
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml)	< 3
¹ Enumeración de E. coli (NMP/ml)	< 3
¹ Recuento de aerobios mesófilos (UFC/ml)	3.3 x 10 ⁷
¹ Recuento de bacterias ácido lácticas (UFC/ml)	5.2 x 10 ⁷
¹ Recuento de Mohos y levaduras (UFC/ml)	5 x 10 ¹
¹ Detección de Salmonella sp en 25ml	Ausencia
² Enumeración de Pseudomonas sp. (NMP/ml)	< 3
² Recuento de actinomicetos (UFC/ml)	0
² Recuento de Bacillus sp (UFC/ml)	1 x 10 ¹
² Enumeración de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (NMP/ml)	1100
⁴ Actividad microbiana (mg CO ₂ resp/ml/h)	0.2324

Métodos:
¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods, 1983, 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1990) Reimp. 2000, Editorial Acribia.
²American Public Health Association, 1992, Compendium of methods for the Microbiological Examination of foods, 3rd Ed, Chapter 13.
³Anderson J. 1992, Soil inspiration, En: Page A., Miller R., Kenney D. (Eds.) Methods of Soil Analysis Part II, Chemical and Microbiological
⁴Zapater J. 1975, Evaluación en el maíz del coeficiente labstera-suelo (R/S) referidos a bacterias libres fijadoras de N₂, Anales científicos de la UNALM 13:45-57.

Observaciones:
 Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
 Validez del documento:
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 20 de marzo de 2024



DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 6147800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



Av. La Molina s/n La Molina, Código Postal 15024 - Lima – Perú
 ☎ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

Página 1 de 1

Figura 9

Pesado de semilla.



Figura 10

Medición del hipoclorito de sodio.



Figura 11

Preparación de la solución de agua e hipoclorito de sodio.



Figura 12

Desinfección de semillas.



Figura 13

Proceso de pregerminación.



Figura 14

Germinación de forraje hidropónico.



Figura 15

Crecimiento y desarrollo del forraje hidropónico.



Figura 16

Determinación de la materia seca.

