

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Profesional de Agronomía



TESIS

**“RELACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO CON EL RENDIMIENTO DE
FORRAJE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN EL
VALLE CAJAMARCA, 2025”**

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:
PERCY HUMBERTO ROJAS PAREDES

Asesor:
MAB. Ing. SANTIAGO DEMETRIO MEDINA MIRANDA

CAJAMARCA – PERÚ

-2026-

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. **Investigador:** Percy Humberto Rojas Paredes
DNI: 76849187
Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
2. **Asesor:**
MBA. Ing. Santiago Demetrio Medina Miranda
3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
4. **Grado académico o título profesional:**
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
5. **Tipo de Investigación:**
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
6. **Título de Trabajo de Investigación:** "RELACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO CON EL RENDIMIENTO DE FORRAJE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN EL VALLE CAJAMARCA, 2025"
7. **Fecha de evaluación:** 19/03/2026
8. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 18%
10. **Código Documento:** oid: 3117:569145709
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** 18%
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/03/2026

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 MBA. Ing. Santiago Demetrio Medina Miranda DNI: 26636144

** 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 trece días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, 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° 242-2026-FCA-UNC, de fecha 09 de marzo 2026**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: **"RELACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO CON EL RENDIMIENTO DE FORRAJE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN EL VALLE CAJAMARCA, 2025"**, realizada por el Bachiller PERCY HUMBERTO ROJAS PAREDES para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las once horas y quince 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 diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

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



Dr. Isidro Rimarachín Cabrera
PRESIDENTE



Ing. M. Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas
SECRETARIO



Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL



MBA. Ing. Santiago Demetrio Medina Miranda
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres, por su formación en principios, disciplina y ética de trabajo, pilares fundamentales en mi desarrollo personal y profesional.

A mis hermanos, por su respaldo permanente y la confianza depositada en cada etapa de este proceso.

A mi hijo, motivación constante y razón superior que orienta mi compromiso con la superación y la excelencia.

A mi asesor, por su rigurosidad académica, orientación técnica y acompañamiento metodológico, esenciales para la adecuada ejecución y culminación de la presente investigación.

Percy Humberto Rojas Paredes

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, por su sólida formación en principios, responsabilidad y ética de trabajo, pilares fundamentales que han orientado mi desarrollo personal y profesional, y que hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación.

A mi hijo, por su comprensión y paciencia frente a las exigencias académicas asumidas, constituyéndose en la motivación permanente que impulsa mi compromiso con la superación y la excelencia.

A mi gran amigo, Osiel Fernández Díaz por su respaldo constante, sus reflexiones oportunas y su acompañamiento leal durante este proceso, fortaleciendo mi determinación en los momentos de mayor exigencia.

Finalmente, expreso mi especial reconocimiento a mi asesor, por su rigurosidad científica, orientación técnica y conducción metodológica, esenciales para el desarrollo de esta investigación, la cual busca aportar al fortalecimiento del sector agrario y contribuir al desarrollo sostenible y competitivo de nuestra región.

Percy Humberto Rojas Paredes

RESUMEN

La siguiente investigación tuvo como problema de investigación ¿Cuál es el efecto del ácido giberélico con el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el valle Cajamarca, 2025?. Con el objetivo general determinar la relación del ácido giberélico con el rendimiento del forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el valle de Cajamarca, 2025. El estudio se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cinco tratamientos (0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 ml/L de ácido giberélico y un testigo) y tres repeticiones. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p \leq 0.0001$) en todas las variables; en rendimiento de forraje verde, la dosis de 0.75 ml/L (T3) alcanzó 2.10 kg, superando al testigo (1.46 kg) en 43.8 %; T4 y T2 registraron 1.71 kg y 1.69 kg, respectivamente, mientras que T1 obtuvo 1.47 kg; en materia seca, T3 logró 37.00 %, frente a 27.33 % del testigo, representando un incremento de 9.67 puntos porcentuales; T4 alcanzó 36.33 %, T2 33.00 % y T1 31.33 %; en altura de planta, T3 presentó 17.97 cm, superando al testigo (10.97 cm) en 63.8 %; T4 obtuvo 15.87 cm, T2 14.10 cm y T1 12.83 cm; se concluye que la dosis de 0.75 ml/L fue la más eficiente para maximizar producción y calidad del forraje.

Palabras clave: Ácido giberélico; cebada (*Hordeum vulgare* L.); forraje hidropónico; rendimiento forrajero; hidroponía.

ABSTRACT

The research question for this study was: What is the effect of gibberellic acid on the yield of hydroponic barley (*Hordeum vulgare* L.) forage in the Cajamarca Valley in 2025? The general objective was to determine the relationship between gibberellic acid and the yield of hydroponic barley (*Hordeum vulgare* L.) forage in the Cajamarca Valley in 2025. The study was conducted using a completely randomized design (CRD), with five treatments (0.25, 0.50, 0.75, and 1.0 ml/L of gibberellic acid and a control) and three replicates. The results showed highly significant differences between treatments ($p \leq 0.0001$) for all variables; for green forage yield, the 0.75 ml/L dose (T3) reached 2.10 kg, exceeding the control (1.46 kg) by 43.8%; T4 and T2 recorded 1.71 kg and 1.69 kg, respectively, while T1 obtained 1.47 kg; for dry matter, T3 achieved 37.00%, compared to 27.33% for the control, representing an increase of 9.67 percentage points; T4 reached 36.33%, T2 33.00%, and T1 31.33%; in plant height, T3 measured 17.97 cm, exceeding the control (10.97 cm) by 63.8%; T4 measured 15.87 cm, T2 14.10 cm, and T1 12.83 cm; it is concluded that the dose of 0.75 ml/L was the most efficient for maximizing forage yield and quality.

Keywords: Gibberellic acid; barley (*Hordeum vulgare* L.); hydroponic forage; forage yield; hydroponics.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
CAPITULO I	10
INTRODUCCIÓN	10
1.1. Descripción del problema	10
1.1.1. Formulación del problema	12
1.2. Justificación.....	12
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Hipótesis.....	13
CAPÍTULO II.....	14
REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Teorías utilizadas en la investigación.....	16
2.2.2. Enfoques relacionados con la investigación	17
2.2.3. Ácido giberélico.....	17
2.2.4. Rendimiento del forraje hidropónico.....	20
2.3. Definición de términos.....	22
CAPÍTULO III.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ubicación geográfica	24
3.2. Materiales	26
3.2.1. Material experimental.....	26
3.2.2. Insumos	26

3.2.3. Equipos.....	26
3.2.4. Otros Materiales.....	26
3.2.5. Otros equipos.....	26
3.3. Metodología	26
3.3.1. Variables	26
3.3.2. Tipo, nivel y método de investigación.....	27
3.3.3. Diseño experimental, arreglos de los tratamientos	27
3.3.4. Procedimientos	29
CAPÍTULO IV	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Efecto de la aplicación de las dosis de 0.25, 0.50, 0.75 y 1 ml de ácido giberélico el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	34
4.2. Rendimiento de forraje verde hidropónico (kg)	35
4.3. Rendimiento de materia seca de forraje hidropónico de cebada (%)	38
4.4. Altura de planta de cebada hidropónica (cm).....	42
CAPÍTULO V	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones	46
5.2. Recomendaciones	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tratamientos en estudio.	29
Tabla 2 Distribución aleatoria de tratamientos.	29
Tabla 3 Resultados de rendimiento de forraje verde (kg), materia seca (%) y altura de planta de cebada(cm).	34
Tabla 4 Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada.	35
Tabla 5 Prueba de Tukey para el rendimiento de forraje verde hidropónico (kg) por efecto del de ácido giberélico.	36
Tabla 6 Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de materia seca (%) de forraje hidropónico de cebada.	38
Tabla 7 Prueba de Tukey para el rendimiento de materia seca de forraje hidropónico (%) por efecto del de ácido giberélico.	39
Tabla 8 Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta (cm) de forraje hidropónico de cebada.	42
Tabla 9 Prueba de Tukey para la altura de planta de forraje hidropónico (cm) por efecto del de ácido giberélico.	43
Tabla 10 Medias para altura de planta de forraje hidropónico de cebada (cm) según tratamiento.	43
Tabla 11 Resultados de rendimiento de forraje verde hidropónico (kg).	54
Tabla 12 Resultados de rendimiento de materia seca (%).	54
Tabla 13 Altura de planta de cebada hidropónica (cm).	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación experimental.....	25
Figura 2 Medias para el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (kg) según tratamiento.....	36
Figura 3 Medias para el rendimiento de materia seca de forraje hidropónico de cebada (%) según tratamiento.....	40
Figura 4 Desinfección de semillas.....	55
Figura 5 Distribución de semilla en bandejas.....	55
Figura 6 Germinación de semillas de cebada.....	56
Figura 7 Etapa inicial del forraje hidropónico.....	56
Figura 8 Aplicación de tratamientos.....	57
Figura 9 Etapa final de forraje hidropónico.....	57
Figura 10 Evaluación de altura de planta.....	58
Figura 11 Evaluación de rendimiento de forraje hidropónico.....	58
Figura 12 Peso de forraje verde para determinar materia seca.....	59
Figura 13 Proceso de deshidratación de forraje verde.....	59
Figura 14 Evaluación de materia seca.....	60

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La producción de forraje de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en sistemas hidropónicos representa una alternativa innovadora y sostenible para la alimentación animal, especialmente en regiones como el valle de Cajamarca, donde las condiciones climáticas y de suelo pueden limitar el cultivo tradicional; en este contexto, el ácido giberélico, una fitohormona ampliamente reconocida por su capacidad para regular el crecimiento y desarrollo vegetal, cobra especial relevancia debido a su potencial para mejorar la altura de planta, biomasa y contenido de materia seca del forraje.

La aplicación de diferentes niveles de ácido giberélico influye en el rendimiento del forraje, al promover el alargamiento celular y estimular procesos fisiológicos que incrementan la producción de biomasa y el desarrollo vegetal en cultivos como cebada, avena y trigo bajo condiciones controladas de producción hidropónica (Miceli et al., 2019).

La importancia de este estudio radica en proporcionar evidencia científica actualizada y específica sobre la dosificación efectiva de ácido giberélico para maximizar el rendimiento del forraje, contribuyendo así a la innovación tecnológica en sistemas agrícolas hidropónicos y al manejo eficiente de recursos en zonas agrícolas con limitaciones ambientales; además, los resultados obtenidos permitirán a productores y técnicos agrícolas tomar decisiones informadas para potenciar la producción de forraje, favorecer la calidad nutricional del mismo y mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción animal en Cajamarca (Miceli et al., 2019).

1.1. Descripción del problema

A nivel global, la búsqueda de sistemas agrícolas sostenibles ha impulsado la adopción de tecnologías innovadoras que optimicen el uso de recursos y enfrenten los desafíos del

cambio climático. En este contexto, la hidroponía se ha consolidado como una alternativa eficiente para la producción de forrajes, al permitir cultivos en condiciones controladas con un uso optimizado de agua y nutrientes (Vastolo y Cutrignelli, 2025).

La aplicación de reguladores del crecimiento, como el ácido giberélico, ha sido objeto de diversos estudios internacionales que han demostrado su impacto positivo en la productividad, logrando incrementos de rendimiento del 15% al 20% en determinados sistemas (Miceli et al., 2019). Asimismo, la inversión en tecnologías agrícolas de precisión y el cultivo sin suelo han crecido a un ritmo anual superior al 10%, reflejando la importancia de estas prácticas en un entorno globalizado que exige eficiencia y resiliencia ante la inseguridad alimentaria y las condiciones climáticas adversas (Rambauth, 2021).

En el ámbito nacional, Perú ha mostrado un interés creciente en la implementación de prácticas agronómicas avanzadas para mitigar las limitaciones hídricas y climáticas de diversas regiones. La hidroponía se ha posicionado como una estrategia clave para diversificar la producción agrícola y mejorar la competitividad del sector (Vargas y Flores, 2024). Sin embargo, la aplicación de reguladores del crecimiento en estos sistemas aún enfrenta desafíos relacionados con la adecuada adaptación de dosis y la definición de protocolos específicos, lo que evidencia la necesidad de desarrollar estudios que integren los factores agronómicos y las particularidades regionales de Cajamarca (Lozita, 2015).

En el distrito de Cajamarca existe una carencia de información sobre la dosis óptima de ácido giberélico para la producción de forraje hidropónico de cebada, lo que afecta su calidad y cantidad; esta situación repercute negativamente en la eficiencia del sector ganadero, pilar de la economía regional, y evidencia una brecha de conocimiento sobre el uso de este regulador de crecimiento bajo condiciones agroclimáticas locales; como consecuencia, se limita la adopción de tecnologías productivas eficientes que podrían mejorar el rendimiento y la sostenibilidad del sistema.

Por lo expuesto, resulta imprescindible desarrollar investigaciones que evalúen de manera sistemática los efectos de diferentes concentraciones de este regulador de crecimiento, con el fin de establecer protocolos técnicos sustentados en evidencias científicas que optimicen el rendimiento y la calidad del forraje hidropónico; ello contribuirá a la modernización de la producción agrícola local, al uso eficiente de insumos y al fortalecimiento de prácticas productivas sostenibles, favoreciendo así la competitividad y la sostenibilidad del sector ganadero en la región.

1.1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del ácido giberélico con el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el valle Cajamarca, 2025?

1.2. Justificación

La incorporación de reguladores del crecimiento, específicamente el ácido giberélico, en la producción de cultivos hidropónicos, ha sido un tema de interés creciente en la investigación agronómica. Según Cano et al. (2025) el ácido giberélico influye en el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos, mejorando su rendimiento y eficiencia. Existe una brecha de conocimiento sobre la aplicación del ácido giberélico en el cultivo hidropónico de cebada; la presente investigación busca cubrir este vacío mediante la generación de datos empíricos que permitan comprender su efecto sobre las características agronómicas del cultivo; de este modo, se contribuirá a la consolidación de una base científica sólida que oriente futuras investigaciones y aplicaciones técnicas en este campo.

La optimización de las dosis de ácido giberélico en la producción de forraje hidropónico de cebada tiene implicaciones directas para la agricultura sostenible en la región de Cajamarca. La aplicación adecuada de este regulador del crecimiento puede resultar en un aumento significativo del rendimiento forrajero, mejorando la calidad y cantidad del alimento disponible para el sector ganadero local (Miceli et al., 2019). Esto, repercute positivamente en la economía

regional al incrementar la productividad y competitividad de los agricultores, y además permite que los resultados de la investigación sirvan como referencia para el desarrollo de protocolos de manejo agronómico en otras regiones con condiciones similares, promoviendo la adopción de tecnologías agrícolas eficientes y sostenibles.

La investigación emplea un diseño experimental riguroso para evaluar el efecto de distintas concentraciones de ácido giberélico en el forraje hidropónico de cebada, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados mediante variables definidas y análisis estadísticos adecuados; este enfoque fortalece el estudio, facilita su replicación y aporta un marco de referencia para futuras investigaciones en agronomía hidropónica.

Esta investigación tiene una alta relevancia social, ya que la mejora en la producción de forraje hidropónico de cebada mediante el uso de ácido giberélico contribuye a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de Cajamarca. La optimización de recursos y la adopción de tecnologías agrícolas eficientes benefician a los agricultores y a la comunidad en general, al garantizar un suministro de forraje de calidad que favorece la producción de alimentos de origen animal para el consumo humano.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Determinar el efecto del ácido giberélico en el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el valle Cajamarca, 2025.

1.3.2. *Objetivos específicos*

Determinar el efecto de 0.25, 0.5, 0.75 y 1 ml de ácido giberélico en el rendimiento del forraje de cebada producido bajo un sistema de producción hidropónica.

1.4. Hipótesis

El ácido giberélico a 0.25, 0.5, 0.75 y 1 ml/L influye significativamente en el rendimiento del forraje de cebada producido bajo un sistema de producción hidropónica.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Pico y León (2025) determinó el impacto de diferentes dosis de dos hormonas vegetales giberelinas, y citoquininas en la producción y contenido nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) de soya (*Glycine max*). La investigación se realizó mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos, incluido un testigo, y tres repeticiones. Se aplicaron giberelinas a dosis de 0.05 g/L (T1) y 0.1 g/L (T2), y citoquininas a 2.5 cc/L (T3) y 3.75 cc/L (T4). Los resultados evidenciaron altos contenidos de materia seca en todos los tratamientos, con valores de 93% en T1 (giberelinas 0.05 g/L), 92.2% en el testigo, 92.0% en T2 (giberelinas 0.1 g/L), 91.9% en T3 (citoquininas 2.5 cc/L) y 91.7% en T4 (citoquininas 3.75 cc/L). En la altura de planta, T1 alcanzó el mayor promedio con 18.57 cm, seguido de T3 con 17.77 cm, el testigo con 17.47 cm, T2 con 16.87 cm y T4 con 16.20 cm; respecto a la altura del tapete radicular a los 10 días, T1 registró 4.96 cm, T2 y T3 alcanzaron 4.29 cm, T4 obtuvo 4.14 cm y el testigo presentó el menor valor con 3.48 cm, confirmando la influencia positiva de los reguladores de crecimiento en las variables evaluadas del forraje hidropónico.

Huarancca et al. (2022) estudió el efecto de diferentes concentraciones de giberelina en la producción de forraje verde hidropónico de avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y trigo (*Triticum aestivum*). Donde evaluó la altura de planta, el rendimiento de biomasa y el contenido de materia seca, utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4×3 (cuatro dosis de giberelina y tres variedades forrajeras). Los resultados muestran que la aplicación de giberelina a 100 ppm produjo los mayores valores en todas las variables

evaluadas: en altura de planta se alcanzaron 74.67 cm en avena, 66.00 cm en cebada y 61.67 cm en trigo; en rendimiento de biomasa se obtuvieron 17.91 kg/m² en avena, 17.38 kg/m² en cebada y 13.64 kg/m² en trigo; y en contenido de materia seca se registraron 23.85 % en avena, 21.71 % en cebada y 19.10 % en trigo.

Ríos y Pérez (2023) evaluó diferentes concentraciones de biol bovino en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.). El estudio utilizó un diseño completamente al azar con cinco concentraciones de biol bovino (0%, 25%, 50%, 75% y 100%), cuatro repeticiones y 20 unidades experimentales, evaluando en bandejas con maíz las variables materia fresca, materia seca y altura de planta. Los resultados de producción de materia fresca mostraron una tendencia ascendente conforme aumentaba la concentración de biol, alcanzando valores de 19.36 kg/m² (100% de biol), 19.35 kg/m² (75%), 18.42 kg/m² (50%), 18.21 kg/m² (25%) y 18.05 kg/m² (testigo sin biol); similar comportamiento se observó en la producción de materia seca, con rendimientos de 2.35 kg/m² (100% de biol), 2.29 kg/m² (75%), 2.21 kg/m² (50%), 2.14 kg/m² (25%) y 2.08 kg/m² (testigo); en cuanto a la altura de planta, los tratamientos registraron valores de 34.41 cm (100% de biol), 33.69 cm (75%), 33.31 cm (50%), 32.90 cm (25%) y 30.27 cm (testigo).

Dueñas y Centurión (2021) investigó el efecto del biol en la producción de forraje verde hidropónico de “maíz” y “alfalfa”. La investigación se desarrolló bajo un diseño en bloques completos al azar con tratamientos de 100% agua (T0) y biol al 25% (T1), 50% (T2) y 75% (T3). Los resultados demuestran que el tratamiento 2 produjo los mejores rendimientos en ambos cultivos: para el maíz, una altura promedio de 11.1 cm, longitud de raíz de 8.7 cm y peso de forraje de 3.8 kg; mientras que, para la alfalfa, se obtuvieron valores de 11.8 cm, 5.1 cm y 4.8 kg respectivamente, en ambos casos, el tratamiento 3 ocupó el segundo lugar, y el tratamiento testigo (T0) mostró los valores más bajos, las mediciones realizadas a los 5, 10, 15

y 20 días evidenciaron un incremento progresivo en todos los parámetros, confirmando el efecto positivo del biol sobre el desarrollo del forraje verde hidropónico.

Pacco (2018) investigó la mejor especie forrajera entre la producción de forraje verde hidropónico de cebada y avena, con adición de fitorreguladores orgánicos. El estudio evaluó tres fitorreguladores orgánicos (SW-3 Seaweed Creme, Phyllum y Biogyz) y un testigo en cebada y avena, mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×4 , aplicando dosis de 5 ml/L de agua. Los resultados indican que, para altura de planta, la cebada mostró un desarrollo máximo de 17.47 cm con Biogyz y 16.83 cm con Seaweed Creme; mientras que, en avena, los valores fueron de 15.27 cm y 14.30 cm, respectivamente; en relación con el rendimiento de biomasa del forraje verde, la cebada tratada con Biogyz alcanzó 18.67 kg m² y con Seaweed Creme 16.17 kg m². Por su parte, la avena presentó un rendimiento de 16.83 kg m² con Biogyz y 15.17 kg m² con Seaweed Creme.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teorías utilizadas en la investigación

La investigación se sustenta en la teoría de la regulación hormonal vegetal, la cual establece que el crecimiento y desarrollo de las plantas está mediado por fitohormonas que regulan procesos fisiológicos esenciales; entre ellas, las giberelinas, particularmente el ácido giberélico (GA₃), intervienen en la elongación celular, ruptura de dormancia y activación enzimática durante la germinación (Taiz et al., 2015). En la cebada (*Hordeum vulgare* L.), la aplicación exógena de esta hormona puede influir en la acumulación de biomasa, afectando directamente el rendimiento del forraje hidropónico.

Asimismo, se considera la teoría fisiológica de la germinación, que explica la movilización de reservas mediante la activación de enzimas como la α -amilasa, inducida por giberelinas en la capa de aleurona (Bewley et al., 2013). Para Zhao et al. (2018) este proceso es determinante en sistemas de producción de ciclo corto, donde la eficiencia en la conversión

de reservas en tejido vegetal condiciona el rendimiento final. Complementariamente, la teoría del crecimiento vegetal sostiene que la biomasa resulta de procesos de división y elongación celular regulados hormonalmente, lo que fundamenta la evaluación de distintas dosis de ácido giberélico en la producción hidropónica (Cano et al., 2025).

2.2.2. Enfoques relacionados con la investigación

El estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que mide el efecto de diferentes dosis de ácido giberélico sobre variables productivas expresadas numéricamente. Asimismo, adopta un enfoque experimental, al manipular la variable independiente (dosis de GA₃) para determinar su efecto causal sobre el rendimiento del forraje, bajo condiciones controladas.

Desde la perspectiva disciplinar, se enmarca en un enfoque agronómico-productivo orientado a optimizar sistemas de forraje verde hidropónico. Finalmente, incorpora un enfoque estadístico-experimental basado en el diseño experimental agrícola y el análisis de varianza, lo que permite determinar diferencias significativas entre tratamientos y asegurar rigor científico en la interpretación de resultados.

2.2.3. Ácido giberélico

El ácido giberélico es una hormona vegetal fundamental para la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas; se sintetiza en tejidos jóvenes como embriones y meristemos, y estimula el crecimiento general al promover la elongación y expansión celular, procesos esenciales para la formación de biomasa; su actividad en áreas de crecimiento acelerado evidencia su rol central en la modulación de los procesos fisiológicos que determinan la estructura y tamaño final de las plantas (Reyes et al., 2024).

Entre las giberelinas, el ácido giberélico (GA₃) es una de las más estudiadas, con efectos que abarcan desde la germinación hasta la maduración vegetal; su implicación en la elongación celular es clave para el crecimiento de tallos y hojas, lograda mediante la regulación

de la síntesis y actividad de expansinas, proteínas que modifican la pared celular para permitir su expansión bajo presión turgente intracelular (Montechiarini y Gosparini, 2018).

Durante la germinación, el GA3 activa genes que codifican enzimas hidrolíticas como la α -amilasa, que degrada el almidón almacenado en el endospermo de las semillas, liberando azúcares como fuente inmediata de energía para el embrión; este mecanismo es esencial para iniciar un crecimiento vigoroso y superar la latencia; además, el ácido giberélico participa en la inducción de la floración, facilitando la transición del meristemo vegetativo a reproductivo, y en la formación de semillas y frutos, procesos fundamentales para la reproducción sexual de las plantas (Ortuño et al., 2015).

Asimismo, el ácido giberélico modula respuestas adaptativas frente a condiciones adversas, interactuando con otras hormonas y vías de señalización; de este modo, no solo promueve el crecimiento físico, sino que también integra respuestas metabólicas coordinadas que influyen en la calidad y productividad del cultivo (Castro et al., 2023).

a. Mecanismos de acción del ácido giberélico

El ácido giberélico (GA3) es una fitohormona fundamental en el crecimiento vegetal, con un esqueleto tetracíclico de 19 carbonos y propiedades que regulan procesos como la germinación, elongación celular, división y desarrollo de tejidos; las giberelinas modulan la transcripción génica de manera que permiten la adaptación del desarrollo a condiciones ambientales, y también interactúan con otras fitohormonas como el ácido indol acético (AIA), que promueve la biosíntesis de giberelinas activas (González et al., 2015).

A nivel molecular, la señalización del ácido giberélico inicia cuando la hormona se une a su receptor nuclear (GID1), formando un complejo que promueve la degradación de proteínas represoras DELLA, las cuales inhiben el crecimiento; la degradación de estas proteínas permite la activación de genes asociados con la elongación celular y la división, liberando la transcripción génica necesaria para estos procesos (Dai et al., 2025).

Este mecanismo explica por qué la aplicación exógena de GA3 puede superar inhibiciones naturales del crecimiento y facilitar la síntesis de enzimas hidrolíticas y expansinas; sin embargo, la eficacia del GA3 depende de condiciones ambientales óptimas, ya que es susceptible a la degradación por temperaturas elevadas o baja intensidad lumínica, factores que limitan su eficacia en sistemas hidropónicos (Rodríguez y Jiménez, 2024).

Además, el ácido giberélico interactúa en redes hormonales complejas, mostrando un antagonismo con el ácido abscísico (ABA), hormona inhibidora que modula el equilibrio entre crecimiento y estrés; bajo condiciones de estrés hídrico, el ácido abscísico puede bloquear parcialmente la acción del GA3 para reducir la elongación celular y preservar los recursos; de este modo, el efecto del ácido giberélico depende del contexto fisiológico y ambiental, lo que implica la necesidad de ajustar su aplicación en producción agrícola para optimizar resultados según las condiciones específicas de cada cultivo (Ventura et al., 2020).

b. Aplicaciones agronómicas

El ácido giberélico (GA3) se emplea en diversos sistemas de cultivo, tanto tradicionales como hidropónicos, para mejorar el rendimiento y calidad de los cultivos; estudios recientes evidencian que su aplicación estimula la elongación celular y activa rutas metabólicas que potencian el crecimiento, lo que optimiza los ciclos de producción y mejora características fisiológicas que incrementan el rendimiento forrajero en plantas como la espinaca y otros forrajes (Miceli et al., 2019).

En la práctica agronómica, el ácido giberélico es ampliamente utilizado para acelerar la germinación, mejorar el crecimiento y aumentar el rendimiento en cultivos forrajeros, como la cebada hidropónica; la aplicación de dosis óptimas (50-100 mg L) en sistemas hidropónicos ha demostrado un incremento significativo en la producción de biomasa fresca y en la altura de las plantas, acortando el ciclo productivo y mejorando la eficiencia (Carrasco et al., 2016).

La combinación de GA3 con otras fitohormonas, especialmente citocininas, potencia la estimulación de la división celular y el desarrollo foliar, incrementando el área fotosintética y el sostenimiento del crecimiento; este enfoque hormonal ha permitido optimizar la producción de forraje para alimentación animal de forma más sostenible y controlada, especialmente en contextos con limitación de espacio y recursos hídricos (Rafat et al., 2025).

No obstante, el manejo cuidadoso de la dosis y frecuencia de aplicación es fundamental para evitar efectos negativos indeseados, como elongaciones que comprometen la estabilidad y calidad del forraje, afectando la resistencia mecánica de los tallos; esta optimización se realiza generalmente mediante pruebas preliminares adaptadas a las condiciones específicas de cada cultivo (Cano et al., 2025).

2.2.4. Rendimiento del forraje hidropónico

El rendimiento del forraje se define como la cantidad de biomasa vegetal útil producida en un área y tiempo determinados, pudiendo cuantificarse en peso fresco que incluye tanto el agua como la materia seca y en materia seca propiamente dicha. Esta última es especialmente relevante para la alimentación animal, ya que determina la disponibilidad de nutrientes y energía (Mengistu et al., 2024).

Operacionalmente, el rendimiento del forraje corresponde a la cantidad de biomasa fresca y seca generada por un cultivo en un área determinada; en sistemas hidropónicos, este rendimiento se evalúa considerando la eficiencia en la producción de biomasa fresca y seca en condiciones controladas; la materia seca funciona como un indicador clave para valorar la calidad y productividad del forraje debido a su relación con la cantidad real de nutrientes disponibles para la alimentación animal (Lazo, 2023).

En sistemas hidropónicos, el rendimiento también se mide mediante la tasa de conversión de semilla a biomasa, debido a la rapidez y eficiencia del sistema. Esto posibilita cosechas constantes en ciclos cortos, haciendo que la producción hidropónica sea

especialmente adecuada para regiones con limitaciones climáticas o de terreno, y facilitando una alimentación animal más constante y controlada (Vastolo y Cutrignelli, 2025).

a. Factores que afectan el rendimiento del forraje

El rendimiento del forraje está determinado por una compleja interacción entre factores fisiológicos, ambientales y hormonales; el estado fisiológico de la planta, la disponibilidad de nutrientes, las condiciones climáticas y la regulación hormonal, incluida la acción del ácido giberélico, influyen en la cantidad y calidad del forraje producido; las hormonas vegetales regulan procesos como la elongación celular y la división, que resultan en la producción de mayor biomasa; además, variables ambientales como la luminosidad, temperatura y humedad modulan estos procesos (Urresto y Rendón, 2020).

En cuanto a factores fisiológicos, la tasa de germinación y la eficacia en la elongación celular, estimuladas por fitohormonas como GA3 y citocininas, son cruciales para obtener un rendimiento alto (Castro et al., 2022).

Ambientalmente, la temperatura es determinante: temperaturas entre 18 y 24 °C favorecen la germinación y el desarrollo óptimos, mientras que temperaturas superiores a 30 °C inducen estrés térmico, reduciendo el crecimiento y calidad del forraje; la humedad relativa ideal para asegurar la absorción hormonal y evitar enfermedades oscila entre 60 y 80%; la luz, con un fotoperiodo mínimo de 12 horas e intensidad adecuada, es esencial para la fotosíntesis y producción de biomasa (Ahamed et al, 2023).

Relacionado con la nutrición, la concentración y equilibrio de macro y micronutrientes en la solución hidropónica deben ser monitoreados constantemente para prevenir deficiencias y toxicidades, las cuales afectan tanto la cantidad como la calidad del forraje (Vought et al., 2024). Finalmente, la densidad de siembra también influye; una alta densidad puede generar competencia y disminuir el rendimiento individual, aunque aumenta el rendimiento total por unidad de área (Lin et al., 2024).

b. Sistemas de producción hidropónica

La hidroponía para producción de forraje es un sistema avanzado que elimina la dependencia del suelo y permite un control preciso del ambiente y nutrientes, optimizando las condiciones de cultivo mediante un suministro controlado de agua y nutrientes. Esto evita problemas asociados con la fertilidad y patógenos del suelo, acelerando el crecimiento y mejorando la calidad del forraje. Los modelos teóricos sugieren que estos sistemas promueven una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes y maximización de la producción en espacios reducidos, favoreciendo la agricultura sostenible (Vastolo y Cutrignelli, 2025).

Entre las técnicas más comunes para la producción hidropónica de forraje se encuentran la raíz flotante y las bandejas inclinadas con riego por aspersión o goteo, que aseguran la distribución homogénea de nutrientes y oxígeno. Comparado con sistemas tradicionales, la hidroponía reduce significativamente el consumo de agua, pasando de 60-80 litros por kilogramo en cultivo tradicional a solo 2-3 litros por kilogramo en hidroponía. Además, permite producción continua durante todo el año, independiente de condiciones climáticas extremas (Albuja et al., 2021; Rafat et al., 2025).

Sin embargo, la inversión inicial en infraestructura y manejo especializado es elevada, y un manejo nutricional inadecuado puede afectar negativamente la producción y la calidad del forraje; además, el forraje hidropónico presenta un menor contenido de fibra estructural, lo que puede influir en la digestibilidad y hacer necesaria la complementación de la dieta animal (Alonso y Sanz, 2023).

2.3. Definición de términos

Ácido giberélico (GA₃)

Fitohormona del grupo de las giberelinas que estimula la elongación celular, la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas y la producción de biomasa en cultivos (Miceli et al., 2019).

Biomasa vegetal

Materia orgánica generada por el crecimiento de las plantas, utilizada para evaluar el desarrollo de cultivos y su aprovechamiento en la alimentación animal o producción de energía (Nogués, et al., 2010).

Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Cereal de ciclo anual ampliamente utilizado en la producción de forraje, con alta capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas (Sertpolat y Uslu, 2025).

Dosis de aplicación

Cantidad específica de una sustancia, como el ácido giberélico, aplicada a un cultivo en función de sus requerimientos fisiológicos y productivos (Zhang et al, 2023).

Forraje hidropónico

Alimento para el ganado obtenido mediante la técnica de producción sin suelo, en la que se utilizan soluciones nutritivas para la germinación y desarrollo de gramíneas, como la cebada, cultivadas en bandejas o estructuras especiales (Pastorelli et al., 2024).

Germinación

Proceso por el cual una semilla inicia su desarrollo para formar una plántula, influenciado por factores como la temperatura, la humedad y la aplicación de reguladores de crecimiento (Domingues et al., 2024).

Hidroponía

Método de cultivo sin suelo en el que las plantas obtienen los nutrientes directamente de una solución acuosa, favoreciendo un crecimiento más rápido y controlado de los vegetales (Vastolo y Cutrignelli, 2025).

Rendimiento forrajero

Cantidad de biomasa producida en un área determinada, evaluada en términos de peso fresco o seco, y utilizada como alimento para el ganado (Li et al., 2022).

CAPÍTULO III

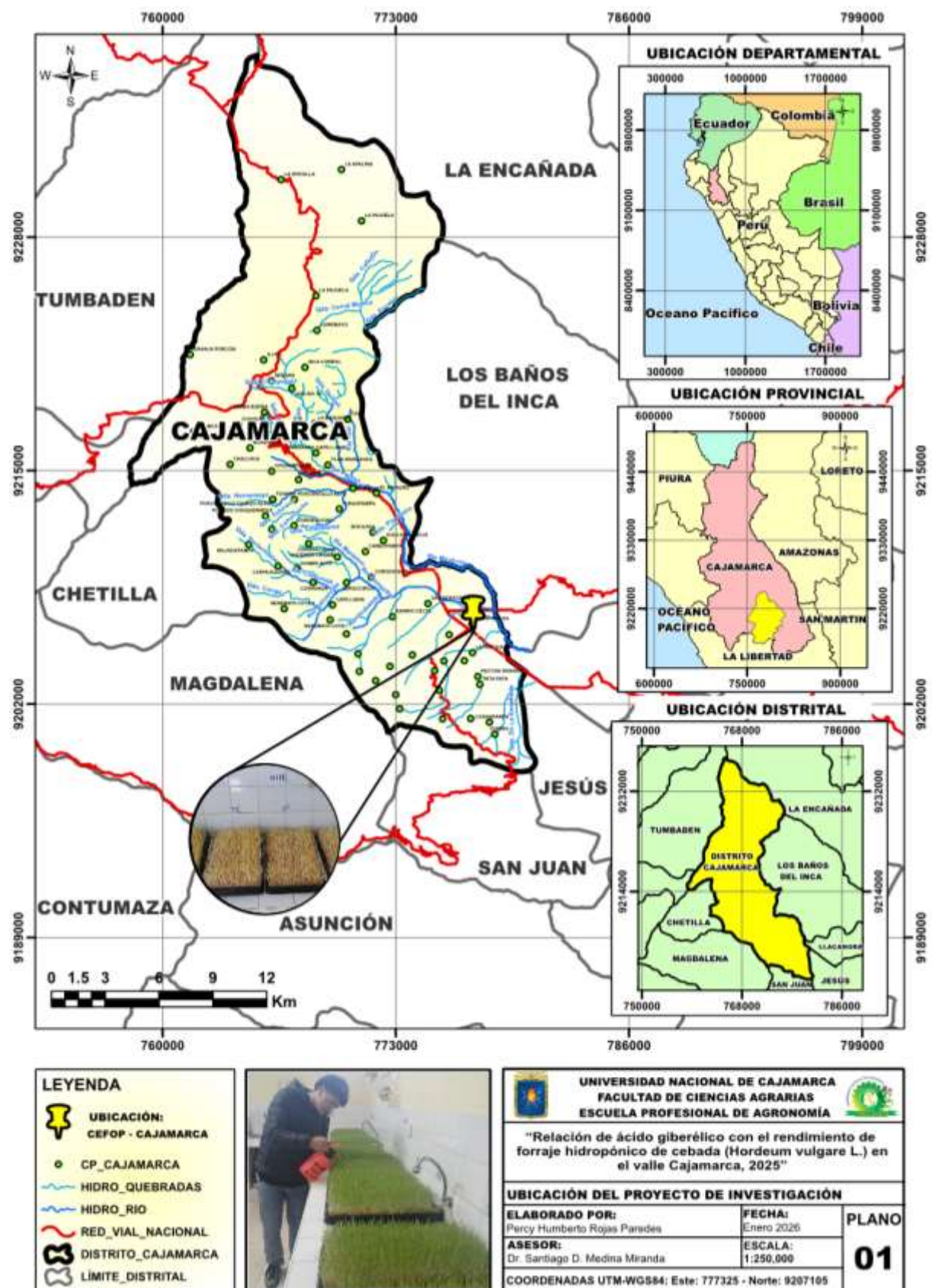
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

El área experimental se ubicó IESTP CEFOP-Cajamarca en el kilómetro 3.5 de la carretera Cajamarca–Baños del Inca, a una altitud de 2660 metros sobre el nivel del mar; sus coordenadas UTM fueron 9207098 m N y 777358 m E, situándose en una zona estratégica del distrito, provincia y departamento de Cajamarca, Perú.

Figura 1

Ubicación experimental.



3.2. Materiales

3.2.1. *Material experimental*

Semillas de Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Ácido Giberélico

3.2.2. *Insumos*

Hipoclorito de sodio

Agua sin cloro

3.2.3. *Equipos*

Balanza de reloj

Balanza Gramera digital

Estufa

3.2.4. *Otros Materiales*

Bandejas

Etiquetas

Frascos asperjadores de 1 litro

Bolsas de cartón

Reglas

Bolsas negras

3.2.5. *Otros equipos*

Computadora

Calculadora

Cámara

3.3. Metodología

3.3.1. *Variables*

a. Variable independiente

Dosis de ácido giberélico (0.25, 0.5, 0.75 y 1.0 ml/L).

b. Variable dependiente

Rendimiento del forraje, medido a través de indicadores como rendimiento de forraje verde (kg), porcentaje de materia seca (%) y altura de la planta (cm).

3.3.2. Tipo, nivel y método de investigación

c. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada y experimental, ya que busca generar conocimiento con utilidad práctica para optimizar el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada en el valle de Cajamarca, mediante la aplicación de diferentes dosis de ácido giberélico, cuya manipulación permite evaluar su efecto directo sobre el rendimiento del cultivo en condiciones controladas.

d. Nivel de investigación

El estudio corresponde al nivel explicativo, ya que no solo describe el comportamiento del forraje hidropónico ante distintas dosis de ácido giberélico, sino que busca determinar la relación de causa – efecto entre ambas variables; es decir, pretende explicar cómo y en qué medida la aplicación del regulador de crecimiento influye en la producción de biomasa.

e. Método de investigación

Se emplea el método hipotético – deductivo, ya que parte de fundamentos teóricos (regulación hormonal y crecimiento vegetal), formula hipótesis sobre el efecto de diferentes dosis de ácido giberélico y las contrasta mediante análisis estadístico (ANOVA y pruebas de comparación múltiple).

3.3.3. Diseño experimental, arreglos de los tratamientos

a. Diseño experimental

El presente estudio se llevó a cabo bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con el objetivo de minimizar la influencia de factores externos en los resultados; se evaluaron cuatro tratamientos y un grupo control (testigo), el cual no recibió ninguna intervención, lo que permitió comparar los efectos de los tratamientos aplicados; la asignación de los tratamientos y del grupo control se realizó de manera aleatoria, asegurando que cada unidad experimental tuviera la misma probabilidad de recibir cualquier tratamiento y garantizando así la validez y confiabilidad de los resultados; finalmente, los datos fueron sometidos a análisis estadístico para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El modelo estadístico correspondiente a este diseño experimental 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

La distribución de los tratamientos se realizó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA); para ello, se utilizaron bandejas de 52.5 cm de largo, 28.5 cm de ancho, 3 cm de profundidad y 2 mm de espesor, en las cuales se dispusieron 500 g de cebada por tratamiento; se evaluaron cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de ácido giberélico: T1 (0.25 ml), T2 (0.50 ml), T3 (0.75 ml) y T4 (1 ml), además de un grupo testigo sin aplicación; cada tratamiento se repitió tres veces y la asignación a las unidades experimentales se efectuó de manera aleatoria, con el fin de reducir la influencia de factores externos.

Tabla 1*Tratamientos en estudio.*

Nº	Tratamiento	Descripción
1	T1	0.25 ml de ácido giberélico / L de agua
2	T2	0.50 ml de ácido giberélico / L de agua
3	T3	0.75 ml de ácido giberélico / L de agua
4	T4	1 ml de ácido giberélico / L de agua
5	T0	Testigo

Tabla 2*Distribución aleatoria de tratamientos.*

Repetición	Tratamientos				
I	T1	T3	T4	T2	T0
II	T2	T1	T0	T3	T4
II	T0	T2	T4	T3	T1

c. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos en el rendimiento del forraje hidropónico de cebada, se empleó el análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de determinar si existieron diferencias estadísticas significativas entre las distintas dosis de ácido giberélico evaluadas; este procedimiento permitió establecer si el factor en estudio ejerció un efecto real sobre la variable dependiente.

Asimismo, cuando el ANOVA indicó diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey, con la finalidad de identificar específicamente entre qué tratamientos se presentaron diferencias significativas y determinar cuál de las dosis produjo el mayor efecto sobre el rendimiento del forraje.

3.3.4. Procedimientos**a. Compra de semilla de cebada**

Para asegurar el éxito del cultivo hidropónico, se adquirieron semillas de cebada de proveedores confiables o de empresas especializadas en agricultura, las cuales garantizaron su

calidad y pureza; asimismo, fue esencial que dichas semillas estuvieran adaptadas a las condiciones específicas de cultivo en Cajamarca, lo que implicó su capacidad para resistir las condiciones climáticas propias de la región.

b. Selección de semillas

En el proceso de selección de las semillas, se realizó una inspección meticulosa para descartar aquellas que presentaron daños, deformidades, enfermedades o impurezas; se dio prioridad a las semillas de tamaño uniforme y coloración adecuada, lo que garantizó su viabilidad y alta calidad.

c. Desinfección de semilla

Para llevar a cabo la desinfección de las semillas seleccionadas, estas se sumergieron en una solución desinfectante con una concentración específica de hipoclorito de sodio, que osciló entre el 0,5 % y el 2 %, siguiendo las recomendaciones estándar para este procedimiento en agricultura; dicha concentración se preparó mediante su dilución en agua hasta alcanzar el nivel deseado antes de sumergir las semillas; el tiempo de exposición a la solución desinfectante varió entre 10 y 30 minutos, tras lo cual las semillas fueron enjuagadas con agua limpia para eliminar cualquier residuo del desinfectante.

d. Desinfección de bandejas

Se realizó una limpieza minuciosa de las bandejas para eliminar residuos orgánicos y suciedad; posteriormente, se preparó una solución desinfectante compuesta de detergente e hipoclorito de sodio, ajustando su concentración entre 0,5 % y 2 %, de acuerdo con las recomendaciones para cultivos hidropónicos; las bandejas fueron sumergidas en dicha solución durante un tiempo específico con el fin de eliminar patógenos y microorganismos; finalmente, se enjuagaron con agua limpia y se dejaron secar por completo antes de la siembra, asegurando un entorno adecuado y libre de patógenos para las plántulas.

e. Imbibición de semillas

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

f. Pregerminado

Tras el proceso de imbibición, las semillas fueron ubicadas en un recipiente oscuro durante 72 horas, manteniéndose bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad para favorecer la germinación; durante este período, se supervisó cuidadosamente el avance del proceso germinativo y se garantizó una ventilación adecuada para evitar la acumulación excesiva de humedad y prevenir problemas como la pudrición de las semillas.

g. Distribución de semillas germinadas en las bandejas

Una vez que las semillas germinaron y desarrollaron sus raíces iniciales, se colocaron de manera uniforme en las bandejas destinadas al cultivo hidropónico; se garantizó una densidad de siembra adecuada, equivalente a 500 gramos por bandeja, con el propósito de evitar la competencia entre plántulas y promover un crecimiento óptimo y saludable.

h. Cubrimiento con plástico negro

Las bandejas destinadas al cultivo hidropónico fueron cubiertas con plástico negro u otro material opaco para crear un entorno oscuro que favoreció el alargamiento de los tallos y el fortalecimiento de las raíces; este procedimiento imitó las condiciones de crecimiento subterráneo y redujo al mínimo la exposición a la luz, ayudando a prevenir inconvenientes como el crecimiento excesivo de los tallos o el amarilleo de las plántulas.

i. Aplicación de tratamientos

Los tratamientos previstos para la investigación fueron implementados de acuerdo con el diseño experimental establecido; la solución de ácido giberélico diluida en agua se aplicó únicamente en tres momentos, concretamente en los días 0, 5 y 10.

j. Aplicación de agua

El suministro de agua se realizó dos veces al día, una por la mañana y otra por la tarde, con el objetivo de asegurar que el forraje hidropónico cumpliera con sus necesidades hídricas.

3.3.5. Evaluaciones

a. Rendimiento de forraje verde hidropónico (kg)

La evaluación del rendimiento de forraje hidropónico se efectuó utilizando una balanza digital que permitió registrar con precisión el peso de la materia verde producida en cada tratamiento (bandeja); esta medición se realizó a los 20 días posteriores a la distribución de la semilla en la bandeja.

b. Rendimiento de materia seca (%)

Después de medir el peso del follaje verde, se tomaron muestras de 100 gramos de cada tratamiento y se colocaron en una estufa a una temperatura constante de 105 °C durante 24 horas, repitiendo el proceso durante tres días consecutivos (equivalente a un total de 72 horas); posteriormente, las muestras fueron pesadas nuevamente para determinar su peso seco; la cantidad de materia seca presente en las muestras se calculó utilizando la fórmula establecida en el procedimiento correspondiente.

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

Donde:

MS: materia seca

PS: Peso seco

PV: Peso verde

c. Altura de planta de cebada hidropónica (cm)

La altura de las plantas en cada bandeja fue determinada midiendo la distancia desde el cuello hasta el ápice de cada planta; esta evaluación se realizó a los 20 días posteriores a la distribución de la semilla en la bandeja; para efectuar estas mediciones se empleó una regla estándar de 30 centímetros como instrumento de evaluación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis, la interpretación y la discusión de los resultados se realizaron con base en los datos obtenidos en campo, los cuales se presentan en las Tablas 11, 12 y 13 de los anexos.

4.1. Efecto de la aplicación de las dosis de 0.25, 0.50, 0.75 y 1 ml de ácido giberélico el rendimiento de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.).

Tabla 3

Resultados de rendimiento de forraje verde (kg), materia seca (%) y altura de planta de cebada(cm).

Dosis	Rendimiento de forraje verde (kg)	Rendimiento de materia seca (%)	Altura de planta de cebada(cm)
T3: 0.75 ml GA ₃ L agua	2.10 a	37.00 a	17.97 a
T4: 1 ml GA ₃ L agua	1.71 b	36.33 ab	15.87 ab
T2: 0.50 ml GA ₃ L agua	1.69 b	33.00 bc	14.10 bc
T1: 0.25 ml GA ₃ L agua	1.47 c	31.33 c	12.83 cd
T0: Testigo	1.46 c	27.33 d	10.97 d

La Tabla 3 presenta los resultados de rendimiento de forraje verde (kg), materia seca (%) y altura de planta de cebada (cm) obtenidos a partir de la aplicación de diferentes dosis de ácido giberélico (GA₃), evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en todas las variables evaluadas; en cuanto al rendimiento de forraje verde, la dosis de 0.75 ml de GA₃ por litro de agua obtuvo el mayor rendimiento con 2.10 kg (a), seguida por las dosis de 1 ml y 0.50 ml con 1.71 kg y 1.69 kg respectivamente, sin diferencias significativas entre ellas (b); la dosis de 0.25 ml y el testigo registraron los valores más bajos con 1.47 kg y 1.46 kg (c), sin diferenciarse entre sí, lo que confirma que el GA₃ estimula la producción de biomasa a concentraciones adecuadas.

Respecto al porcentaje de materia seca, la dosis de 0.75 ml alcanzó el mayor valor con 37.00% (a), la dosis de 1 ml obtuvo 36.33% (ab), la dosis de 0.50 ml registró 33.00% (bc) y la dosis de 0.25 ml alcanzó 31.33% (c); el testigo presentó el valor más bajo con 27.33% (d), diferenciándose significativamente de todos los tratamientos con GA3, evidenciando que el regulador de crecimiento favorece la acumulación de materia seca de forma proporcional a la dosis aplicada.

En cuanto a la altura de planta, la dosis de 0.75 ml produjo las plantas más altas con 17.97 cm (a), la dosis de 1 ml registró 15.87 cm (ab), la dosis de 0.50 ml arrojó 14.10 cm (bc) y la dosis de 0.25 ml alcanzó 12.83 cm (cd); el testigo presentó la menor altura con 10.97 cm (d), corroborando que la aplicación exógena de GA3 estimula el crecimiento longitudinal de la planta de cebada dentro del rango de dosis ensayado.

4.2. Rendimiento de forraje verde hidropónico (kg)

Tabla 4

Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	0.02	2	0.01	1.39	0.3036
Tratamiento	0.81	4	0.2	34.48	<0.0001
Error	0.05	8	0.01		
Total	0.88	14			

CV = 4.56 %

El análisis de varianza (ANOVA) efectuado para el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada evidenció que los tratamientos con diferentes concentraciones del ácido giberélico generaron diferencias altamente significativas, registrándose un p-valor menor a 0.0001; estos resultados demuestran que las distintas concentraciones de ácido giberélico ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada en la cebada hidropónica; por el contrario, el factor repetición no mostró

un efecto significativo ($p = 0.3036$), lo que indica que las variaciones entre repeticiones no incidieron de manera relevante en el rendimiento evaluado.

Asimismo, el coeficiente de variación (CV) fue de 4.56 %, valor que refleja una baja variabilidad experimental en la producción de forraje verde hidropónico de cebada entre las unidades experimentales; este nivel de variación confirma que el diseño experimental permitió un adecuado control del error, garantizando consistencia y confiabilidad en los resultados obtenidos.

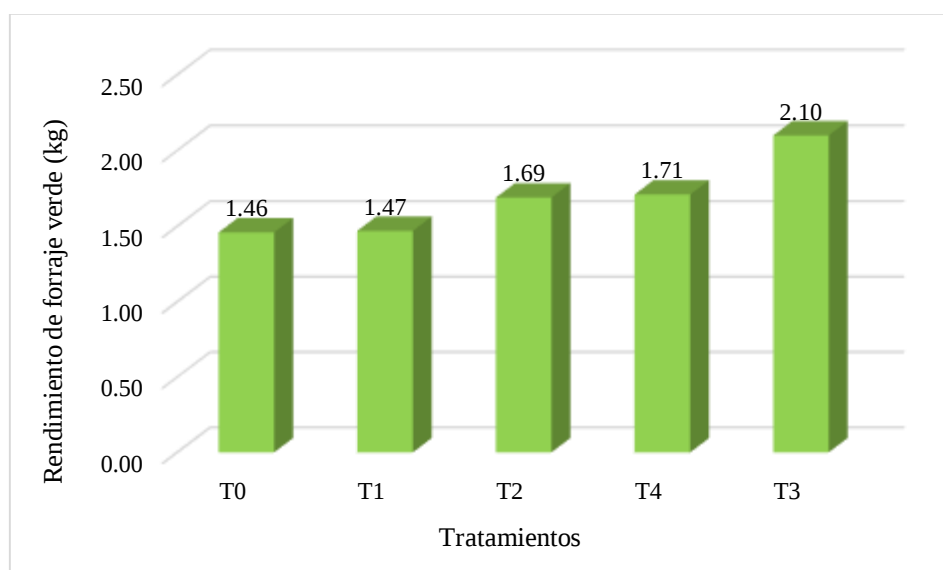
Tabla 5

Prueba de Tukey para el rendimiento de forraje verde hidropónico (kg) por efecto del de ácido giberélico.

Tratamiento	Rendimiento de forraje verde (kg)	Agrupación
T3	2.10	A
T4	1.71	B
T2	1.69	B
T1	1.47	C
T0	1.46	C

Figura 2

Medias para el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (kg) según tratamiento.



El análisis de la Prueba de Tukey para el rendimiento de forraje verde hidropónico (Tabla 5), en función de las dosis de ácido giberélico aplicadas, evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos; el tratamiento T3 presentó el mayor rendimiento promedio de forraje verde hidropónico, alcanzando 2.10 kg, y se ubicó de manera exclusiva en el grupo estadístico A, lo que indica un desempeño superior respecto a los demás tratamientos evaluados.

Por otro lado, los tratamientos T4 y T2 registraron valores intermedios de 1.71 kg y 1.69 kg, respectivamente, integrando ambos el grupo estadístico B; esta agrupación refleja que, aunque estos tratamientos promovieron una producción favorable de biomasa, su rendimiento fue significativamente menor que el obtenido con el tratamiento T3, pero superior al de los tratamientos con menor respuesta.

El tratamiento T1 (1.47 kg) y el T0 (1.46 kg) mostraron los rendimientos más bajos de forraje verde, situándose en el grupo estadístico C; la similitud estadística entre estos dos tratamientos indica que la dosis correspondiente a T1 no logró diferenciarse del T0 (testigo) en términos de incremento productivo.

Estos resultados demuestran que la aplicación de ácido giberélico influyó significativamente en la producción de forraje hidropónico, siendo el tratamiento T3 el que generó el mayor rendimiento bajo las condiciones experimentales evaluadas, lo que evidencia la eficacia de esta dosis para maximizar la producción de forraje hidropónico.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Huarancca et al. (2022), quienes encontraron que la aplicación de giberelina a 100 ppm incrementó significativamente el rendimiento de biomasa en cebada (17.38 kg/m²). De manera similar, Ríos y Pérez (2023) evidenciaron que el incremento en la concentración de biol bovino produjo aumentos progresivos en la materia fresca del forraje hidropónico de maíz, lo que respalda la premisa de que los reguladores y bioestimulantes pueden potenciar la acumulación de biomasa. Asimismo,

Pacco (2018) reportó mayores rendimientos de biomasa en cebada tratada con fitorreguladores orgánicos, lo que refuerza la consistencia de los resultados obtenidos en el presente estudio.

Pico y León (2025) observaron que determinadas dosis de giberelinas no siempre superaron ampliamente al testigo en algunas variables productivas, en esta investigación el tratamiento T3 mostró una superioridad clara y estadísticamente diferenciada. Esta divergencia podría atribuirse a diferencias en especie (soya vs. cebada), condiciones ambientales o concentraciones específicas aplicadas.

Los resultados se sustentan en el mecanismo de acción del ácido giberélico descrito por Montechiarini y Gosparini (2018) y Dai et al. (2025), quienes explican que el GA3 promueve la degradación de proteínas DELLA, activando genes asociados con elongación y división celular; este proceso favorece la expansión de tejidos y, por tanto, una mayor acumulación de forraje verde hidropónico de cebada. Además, Miceli et al. (2019) señalan que la aplicación de dosis óptimas de GA3 en sistemas hidropónicos puede incrementar el rendimiento entre 15% y 20%, lo que coincide con la superioridad productiva observada en T3.

4.3. Rendimiento de materia seca de forraje hidropónico de cebada (%)

Tabla 6

Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de materia seca (%) de forraje hidropónico de cebada.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	7.6	2	3.8	2.11	0.1836
Tratamiento	186	4	46.5	25.83	0.0001
Error	14.4	8	1.8		
Total	208	14			

CV = 4.07 %

El análisis de varianza (ANOVA) efectuado para el rendimiento de materia seca del forraje hidropónico de cebada evidenció que el factor tratamiento produjo diferencias

estadísticamente significativas; en efecto, se obtuvo un p-valor de 0.0001, lo que demuestra que los tratamientos evaluados influyeron de manera significativa en el contenido de materia seca; estos resultados confirman que las distintas condiciones aplicadas generaron variaciones importantes en esta variable productiva; en cuanto al factor repetición no mostró un efecto significativo ($p = 0.1836$), indicando que las variaciones entre repeticiones no afectaron de forma relevante el porcentaje de materia seca; esto sugiere homogeneidad en las unidades experimentales y estabilidad en las mediciones realizadas.

El coeficiente de variación (CV) fue de 4.07 %, valor que refleja una baja variabilidad experimental en la determinación de materia seca; este nivel de variación evidencia un adecuado control del error experimental y respalda la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se desarrolló el estudio.

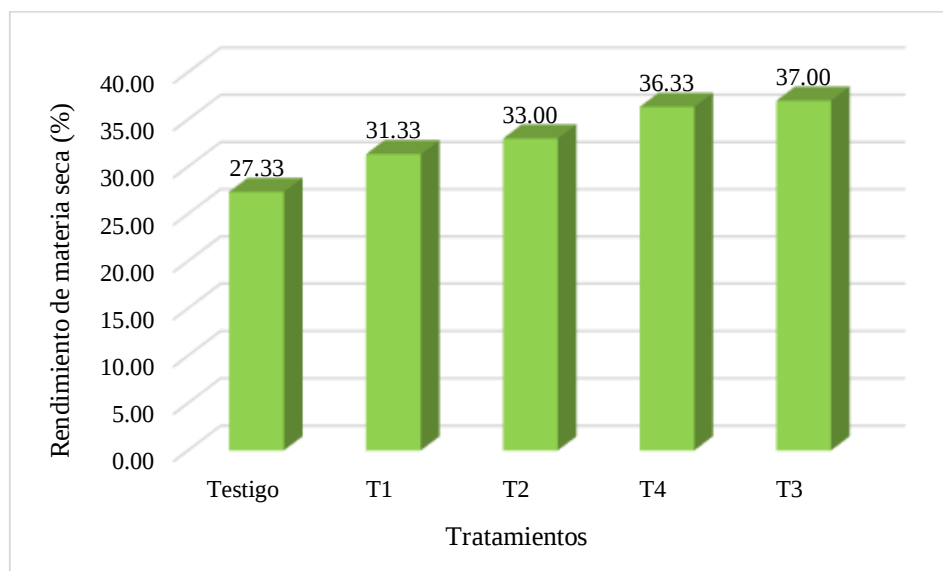
Tabla 7

Prueba de Tukey para el rendimiento de materia seca de forraje hidropónico (%) por efecto del de ácido giberélico.

Tratamiento	Materia seca (%)	Agrupación
T3	37.00	A
T4	36.33	AB
T2	33.00	BC
T1	31.33	C
T0	27.33	D

Figura 3

Medias para el rendimiento de materia seca de forraje hidropónico de cebada (%) según tratamiento.



El análisis de la Prueba de Tukey para el porcentaje de materia seca del forraje hidropónico de cebada (Tabla 7), en función de los tratamientos con ácido giberélico, evidenció diferencias estadísticas entre las medias evaluadas. El tratamiento T3 alcanzó el mayor contenido de materia seca, con un promedio de 37.00 %, ubicándose en el grupo estadístico A, lo que indica un desempeño superior respecto a los demás tratamientos.

El tratamiento T4 presentó un valor promedio de 36.33 %, situándose en el grupo AB, lo que refleja que no difiere estadísticamente del tratamiento T3 ni de algunos tratamientos intermedios. Por su parte, el tratamiento T2 registró 33.00 % de materia seca, integrando el grupo BC, lo que evidencia una respuesta intermedia y diferencias parciales con los tratamientos de mayor y menor rendimiento.

En niveles inferiores se encontraron el tratamiento T1, con 31.33 %, clasificado en el grupo C, y el T0 (testigo), que obtuvo el menor valor con 27.33 %, ubicándose en el grupo estadístico D. La separación estadística del testigo respecto a los tratamientos con aplicación

de ácido giberélico pone de manifiesto el efecto positivo de este regulador de crecimiento sobre la acumulación de materia seca.

Estos resultados demuestran que la aplicación de ácido giberélico influyó favorablemente en el contenido de materia seca del forraje hidropónico de cebada, siendo el tratamiento T3 el que generó la mayor respuesta productiva bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron superiores a los reportados por Huarancca et al. (2022), quienes registraron 21.71 % en cebada tratada con giberelina, diferencia que podría explicarse por factores como condiciones ambientales, densidad de siembra o formulación de la solución nutritiva. De manera complementaria, Ríos y Pérez (2023) observaron incrementos progresivos en materia seca al aplicar mayores concentraciones de biol, confirmando la incidencia positiva de los bioestimulantes sobre esta variable. En contraste, Pico y León (2025) reportaron valores relativamente homogéneos entre tratamientos y testigo, lo que sugiere que el efecto puede variar según la especie y el regulador empleado.

Mengistu et al. (2024) y Lazo (2023) señalan que la materia seca constituye un indicador clave de la calidad forrajera, al reflejar la cantidad real de nutrientes disponibles. El efecto positivo observado puede explicarse por la acción del GA3 sobre la activación metabólica y la síntesis de compuestos estructurales, como lo describen Reyes et al. (2024), quienes destacan su papel en la expansión celular y formación de biomasa. Asimismo, Castro et al. (2023) indican que el ácido giberélico integra respuestas metabólicas coordinadas que influyen en productividad y calidad.

4.4. Altura de planta de cebada hidropónica (cm)

Tabla 8

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

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	6.19	2	3.09	3.74	0.0715
Tratamiento	87.57	4	21.89	26.45	0.0001
Error	6.62	8	0.83		
Total	100.38	14			

C V = 6.34

El análisis de varianza (ANOVA) efectuado para la variable altura de planta en el forraje hidropónico de cebada evidencia que los tratamientos con distintas concentraciones de ácido giberélico generan diferencias altamente significativas, registrándose un p-valor de 0.0001; este resultado demuestra que las concentraciones evaluadas ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre la altura de las plantas; en contraste, el efecto de las repeticiones no resultó significativo ($p = 0.0715$), lo que indica que las variaciones observadas entre bloques no incidieron de manera determinante en esta variable.

En cuanto a la variabilidad experimental, el coeficiente de variación (CV) fue de 6.34 %, valor que refleja una dispersión baja a moderada de los datos alrededor de la media. Este nivel de variación sugiere una adecuada precisión experimental y un apropiado control de las fuentes de error, lo cual respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos para la altura de planta.

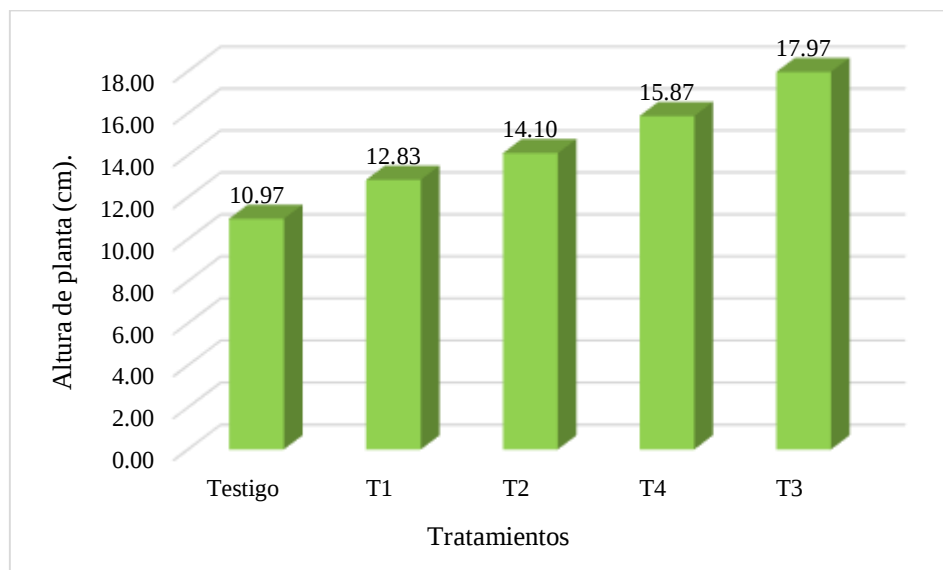
Tabla 9

Prueba de Tukey para la altura de planta de forraje hidropónico (cm) por efecto del de ácido giberélico.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Agrupación
T3	17.97	A
T4	15.87	AB
T2	14.10	BC
T1	12.83	CD
T0	10.97	D

Tabla 10

Medias para altura de planta de forraje hidropónico de cebada (cm) según tratamiento.



El análisis de la Prueba de Tukey para la variable altura de planta de cebada hidropónica (cm), presentado en la Tabla 9, evidencia diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados con ácido giberélico; el tratamiento T3 alcanzó la mayor altura promedio con 17.97 cm, ubicándose de manera exclusiva en el grupo estadístico A, lo que indica que superó significativamente al resto de tratamientos; este resultado demuestra que la concentración aplicada en T3 promovió el mayor crecimiento en altura del forraje hidropónico de cebada.

El tratamiento T4 registró una altura promedio de 15.87 cm, situándose en el grupo estadístico AB, lo que indica que no difiere significativamente de T3 ni de los tratamientos que comparten la letra B. Por su parte, el tratamiento T2 presentó una altura media de 14.10 cm, integrando el grupo BC, lo que refleja un comportamiento intermedio en comparación con los demás tratamientos.

En niveles inferiores de respuesta se ubicaron T1, con 12.83 cm, clasificado en el grupo CD, y el tratamiento T0 (testigo), que alcanzó la menor altura promedio con 10.97 cm, formando parte del grupo D; la ubicación del testigo en el último grupo estadístico confirma que la ausencia de aplicación de ácido giberélico se asocia con un menor crecimiento en altura.

En conjunto, los resultados evidencian que la aplicación de ácido giberélico influyó positivamente en el crecimiento vertical del forraje hidropónico de cebada, observándose una tendencia general de incremento en la altura de planta conforme se aplicaron tratamientos con mayores efectos fisiológicos, siendo T3 el que destacó por su superioridad estadística frente a los demás.

Los resultados concuerdan con Huaranca et al. (2022), quienes reportaron incrementos significativos en altura de cebada con aplicación de giberelina (66.00 cm en condiciones de campo). Asimismo, Pico y León (2025) observaron mayor altura en tratamientos con giberelinas respecto al testigo, lo que reafirma la consistencia del efecto hormonal. Pacco (2018) también documentó incrementos en altura de cebada tratada con fitorreguladores orgánicos, alcanzando valores cercanos a 17 cm, similares a los obtenidos en el presente estudio.

Montechiarini y Gosparini (2018) explican que el GA3 regula la síntesis de expansinas, facilitando la distensión de la pared celular. Además, Dai et al. (2025) describen que la degradación de proteínas DELLA activa la transcripción de genes responsables de la elongación celular, mecanismo que explica el aumento significativo en altura observado. Estas

bases fisiológicas confirman que la respuesta encontrada es coherente con el comportamiento esperado del regulador.

El incremento en altura implica mayor producción de tejido vegetal y potencialmente mayor rendimiento; sin embargo, elongaciones excesivas podrían comprometer la resistencia mecánica del forraje, tal como advierten Cano et al. (2025); en este estudio, el tratamiento T3 logró un equilibrio favorable entre crecimiento y estabilidad productiva

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La aplicación de 0.25, 0.5, 0.75 y 1 ml de ácido giberélico tuvo un efecto positivo en el rendimiento del forraje de cebada producido bajo un sistema de producción hidropónica; la dosis de 0.75 ml de ácido giberélico presentó el mayor rendimiento con 2.10 kg de forraje verde por bandeja, seguida por 1 ml con 1.71 kg y 0.5 ml con 1.69 kg, mientras que la dosis de 0.25 ml registró 1.47 kg, valor similar al testigo con 1.46 kg.

5.2. Recomendaciones

Evaluar dosis intermedias cercanas a 0.75 ml de ácido giberélico para determinar con mayor precisión la concentración óptima en cebada hidropónica.

Realizar estudios en diferentes condiciones ambientales y de manejo para verificar la estabilidad de los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahamed, S., Sultan, M., Shamshiri, R. R., Rahman, M., Aleem, M., y Balasundram, S. K. (2023). Estado actual y desafíos de la producción de forrajes en ambientes controlados: una revisión. *Smart Agricultural Technology* 3. 100080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100080>
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C. y Rodríguez, M. (2021). Comparación de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. *Minerva*, 2 (4), 45-54. DOI: <https://doi.org/10.47460/minerva.v2i4.26>
- Alonso, A. y Sanz, I. (2023). *Diseño de un invernadero hidropónico*. [Tesis de Maestría, Universidad Pontificia Comillas]. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/74159>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3rd ed.)*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Cano, F., Vélez, J., Vélez, A., Alvarado, R. (2025). Efecto del ácido giberélico en la germinación de semillas y el desarrollo de las plantas. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*, v. 20, n. 2, p. 85–94. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v20i2.11213>
- Carrasco, D., Espinoza, D. y Mayhua, P. H. (2016). *Efecto de los cereales forrajes hidropónicos y los diferentes tiempos de cosecha sobre la composición Química bromatológica y parámetros productivos*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/adcdc68d-2b3d-4b7e-a1a9-9a110d069770>

- Castro, R., Sánchez, C., Vidal, N. y Vielba, J. M. (2022). Interacciones de giberelinas con fitohormonas y su papel en la respuesta al estrés. *Horticulturae*, 8 (3), 241. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030241>
- Dai, L., Zhao, X., Liu, S., Keerthana, K., Vijayakanth, V., Zhi, Y. (2025). Gibberellin-mediated internode elongation in grasses with a focus on bamboo: molecular pathways and regulatory networks. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1665328. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2025.1665328/full>
- Domingues, F. J., Pimentel, A., Putti, F. F., Rodrigues, J. D., Ono, E.O., Tecchio, M.A., Leonel, S. y Silva, M. S. (2024). Efecto de los reguladores del crecimiento vegetal en la germinación y el crecimiento de las plántulas de *Passiflora alata* y *Passiflora edulis*. *Horticulturae*, 10 (10), 1087. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101087>
- Dueñas, J. E. y Centurión, F. (2021). *Efecto del biol en la producción de forraje verde hidropónico de Zea mays “maíz” y Medicago sativa “alfalfa”*. Moyobamba, 2019. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/24738eb3-0c0d-403b-9dda-eab570b9894c/content>
- González, J. E., García, M. A., Mejía, W. A. y Moraga, M. (2015). *Evaluación de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (Sorghum bicolor L.) en invernadero noconvencional, La Trinidad, Estelí*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3166/>
- Huaranca, N. R., Felipe, Y. F. y Huamán, R. (2022). *Efecto de diferentes concentraciones de giberelina en la producción de forraje verde hidropónico de avena (Avena sativa), Cebada (Hordeum vulgare) y trigo (Triticum aestivum)*. [Tesis de Grado, Universidad

- Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/ce528bcb-4272-44fd-9e5b-5c3093856744>
- Lazo, L. C. (2023). *Producción de biomasa y calidad nutritiva del forraje verde hidropónico del Zea mays (maíz) a diferentes edades de cosecha, en Tingo María*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/debfe3a6-f0ca-4120-8dd8-d8856b5b80ea/content>
- Li, T., Peng, L., Wang, H., Zhang, Y., Wang, Y., Cheng, Y., y Hou, F. (2022). El corte múltiple mejora el rendimiento del forraje y el valor nutricional y mantiene el equilibrio de nutrientes del suelo en un agroecosistema de secano. *Front. Plant Sci., Volumen 13*. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.825117>
- Lin, G., Wang, L., Li, Y., Li, J., Qian, C., Zhang, X. y Zuo, Q. (2024). La densidad de plantación óptima aumenta el rendimiento de las semillas al mejorar la acumulación de biomasa y regular la estructura del dosel en la colza. *Plants, 13* (14), 1986. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13141986>
- Lozita, S. (2015). *Eliminación de nutrientes mediante el empleo de cultivos hidropónicos*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/39528/1/Susana_Lozita_Theilig.pdf
- Mengistu, G., Faji, M., Mohammed, K., Workiye, M., Kebede, G., Terefe, G., Dejene, M., y Feyissa, F. (2024). Rendimiento forrajero y valor nutritivo del pasto Desho (*Pennisetum glaucifolium* Trin.) según la altura de corte en las tierras altas centrales de Etiopía. *Heliyon 10*. e28757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28757>
- Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L. y Vetrano, F. (2019). Efecto del ácido giberélico en el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la lechuga y la rúcula cultivadas en un

sistema flotante. *Agronomía*, 9 (7), 382. DOI:
<https://doi.org/10.3390/agronomy9070382>

Montechiarini, N. H., y Gosparini, C. O. (2018). *Regulación de la expresión del programa de germinación en semillas de soja*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Rosario]. <https://rephip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/942e9146-cf9f-4a8f-8299-c97fdbeba01a/content>

Nogués, F. S., García, D., y Rezeau, A. (2010). *Energía de la biomasa (volumen I)*. 1a edición. Pressas Universitarias de Zaragoza.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=P58rcPu5O90C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Biomasa+vegetal+Materia+org%C3%A1nica+generada+por+el+crecimiento+de+las+plantas,+utilizada+para+evaluar+el+desarrollo+de+cultivos+y+su+aprovechamiento+en+la+alimentaci%C3%B3n+animal+o+producci%C3%B3n+de+energ%C3%ADa+.&ots=GCNZqQzTly&sig=Xrwn_f8SmPUviMfEEUM2bN7ocjs#v=onepage&q&f=false

Ortuño, A. M., Díaz, L. y Del Río, J. A. (2015). Evolución de la Fisiología Vegetal en los últimos 100 años. *Revista Eubacteria. Cien años de avances en ciencias de la vida*. N° 34. ISSN 1697-0071.
https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/48183/1/Fisiologia_vegetal_Eubacteria34.pdf

Pacco, J. C. (2018). *Producción de forraje verde hidropónico de cebada y avena con adición de fitohormonas en Cabana - Puno*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10373>

Pastorelli, G., Serra, V., Turin, L., y Attard, E. (2024). Forrajes hidropónicos para la producción ganadera: una revisión. *Anales de Ciencia Animal. Volumen 24: Número 3*. DOI:
<https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0075>

- Pico, M. A. y León, O. A. (2025). *Evaluación de dos hormonas en la producción de forraje verde hidropónico en Soya (Glycine max)*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/bcfa008d-132f-4aa8-90f8-d154fcf16059>
- Rafat A. E., Muziri, F. K. y Sewilam, H. (2025). Efectos de la bencilaminopurina y el ácido giberélico sobre el crecimiento, el rendimiento y la composición nutricional de tomates cherry amarillos cultivados en invernadero. *Sci Rep* 15, 39556 (2025). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27667-6>
- Rambauth, G. E. (2021). Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola. *J. Comput. Electron. Sci.: Theory Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 37–38. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.04>
- Reyes, C. H., Quinteros, F. J., Mosquera, E. F., & Barrezueta, A. A. (2024). Un estudio bibliométrico de los principales reguladores de crecimiento: Citoquininas, Auxinas y Giberelinas en las plantas. *Maestro Y Sociedad*, 21(4), 2202–2207. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6641>
- Ríos, J. E. y Pérez, F. (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]. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/fee9846e-1b5f-47ae-a95c-1d6a2195dcba>
- Rodríguez, N. y Jiménez, C. J. (2024). *Valorización agronómica de digestato y microorganismos como bioestimulante de Lactuca sativa L. en condiciones de salinidad*. [Tesis de Maestría, Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez]. <https://dspace.uniss.edu.cu/handle/123456789/9208>
- Sertpolat, M. y Uslu, O. S. (2025). Evaluation of adaptation, herbage yield, and forage quality of selected barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties under mediterranean ecological

- conditions. *Infrastructure and ecology of rural areas*. Vol. 20(1), 143–153. DOI: <https://doi.org/10.14597/infraeco.2025.010>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. S. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates, Inc. https://openlibrary.org/books/OL25772714M/Plant_Physiology_and_Development
- Urresto, W. A. y Rendón, V. (2020). *Análisis de la aplicación de fitohormonas sobre el crecimiento y rendimiento de forraje de los pastos en el Ecuador*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8484>
- Vargas, R., y Flores, N. F. (2024). Efecto de dos tipos de sustrato en almacigo más hidroponía NFT en las características morfológicas de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el INIA Andahuaylas Perú-2024. *C&T Riqchary Revista De investigación En Ciencia Y tecnología*, 6(2), 27-34. DOI: <https://doi.org/10.57166/riqchary.v6.n1.2024.125>
- Vastolo, A. y Cutrignelli, M. I. (2025). Forraje hidropónico en la nutrición de rumiantes: Una revisión sistemática del valor nutricional, los resultados de rendimiento y la sostenibilidad. *Animals*, 15 (24), 3544: DOI: <https://doi.org/10.3390/ani15243544>
- Ventura, R., Julca, A., Alvarado, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *J. Selva Andina Biosph.* 8(2):150-164. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7891240>
- Vought, K., Bayabil, H. K., Pompeo, J., Crawford, D., Zhang, Y., Melanie Correll, M., y Martín, A. (2024). Dinámica de micronutrientes y macronutrientes en un sistema de película de nutrientes hidropónicos bajo el cultivo de Lechuga. *Heliyon* 10. e32316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32316>

- Zhang, J., Cao, Y., Tang, J., He, X., Li, M., Li, C., Ren, X. & Ding, Y. (2023). Physiology and Application of Gibberellins in Postharvest Horticultural Crops. *Horticulturae*, 9(6), 625. <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/6/625>
- Zhao, M., Zhang, H., Yan, H., Qiu, L., & Baskin, C. C. (2018). Mobilization and role of starch, protein, and fat reserves during seed germination of six wild grassland species. *Frontiers in Plant Science*, 9, 234. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00234>

ANEXOS

Tabla 11

Resultados de rendimiento de forraje verde hidropónico (kg).

Repeticiones	Tratamientos				Testigo
	T1	T2	T3	T4	
RI	1.41	1.80	2.16	1.76	1.42
RII	1.53	1.71	2.14	1.64	1.51
RIII	1.46	1.56	2.00	1.72	1.45

Tabla 12

Resultados de rendimiento de materia seca (%).

Repeticiones	Tratamientos				Testigo
	T1	T2	T3	T4	
RI	32	35	38	36	29
RII	29	32	37	37	27
RIII	33	32	36	36	26

Tabla 13

Altura de planta de cebada hidropónica (cm).

Repeticiones	Tratamientos				Testigo
	T1	T2	T3	T4	
RI	12.9	14.5	19.1	15.7	10.9
RII	13.8	13.6	18.6	17.6	11.2
RIII	11.8	14.2	16.2	14.3	10.8

Figura 4

Desinfección de semillas.



Figura 5

Distribución de semilla en bandejas.



Figura 6

Germinación de semillas de cebada.



Figura 7

Etapa inicial del forraje hidropónico.



Figura 8

Aplicación de tratamientos.



Figura 9

Etapa final de forraje hidropónico.



Figura 10

Evaluación de altura de planta.



Figura 11

Evaluación de rendimiento de forraje hidropónico.



Figura 12

Peso de forraje verde para determinar materia seca.



Figura 13

Proceso de deshidratación de forraje verde.



Figura 14

Evaluación de materia seca.

