



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN


**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

**“Calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de gramíneas con
tres niveles de fertilización”**

AUTOR: Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas

TUTOR: MVZ. David Napoleón Vera Bravo, Mg.

El Carmen, Julio del 2024

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página III de 58

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la carrera de Ingeniería Agropecuaria extensión El Carmen Facultad de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Rodríguez Esmeraldas Damián Fabricio**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2023 (2)-2024 (1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "**Calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de gramíneas con tres niveles de fertilización**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 31 de Julio de 2024.

Lo certifico,



Mvz. David Napoleón Vera Bravo, Mg. Sc.
Docente Tutor(a)

Área: Pecuaria



**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

Calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de gramíneas con tres niveles de fertilización

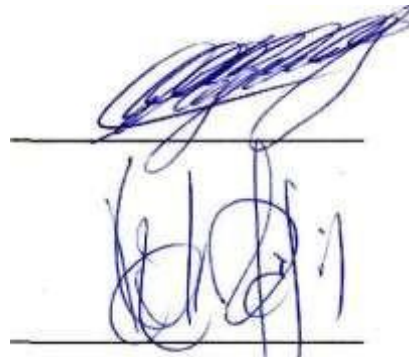
AUTOR: Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas

TUTOR: MVZ. David Napoleón Vera Bravo, Mg.

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ing. Macay Anchundia Miguel Angel, Mg.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Macay Anchundia Miguel Angel', written over a horizontal line.

MVZ. Mejía Chanaluisa Kleber Fernando, Mg.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kleber Fernando Mejía Chanaluisa', written over a horizontal line.

Ing. Zambrano Mendoza Myriam, Mg.

DECLARACION DE AUTORIA

Yo Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas con cedula de Ciudadanía 131365878-1, estudiante de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Extensión El Carmen, de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, declaro que las opiniones, criterios y resultados encontrados en las aplicaciones de los diferentes instrumentos de investigación, que están resumidos en las recomendaciones y conclusiones de la presente investigación declaro que soy el autor de la tesis titulada: **"Calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de gramíneas con tres niveles de fertilización"**, esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total de su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autoría, están debidamente citados y referenciados que fundamentan esta investigación.

Atentamente,



Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas
C.I. 131785226 -1

DEDICATORIA

A mis padres y abuelos, quienes con su amor incondicional y su ejemplo constante han sido la luz que guía mi camino. Gracias por su apoyo inquebrantable, sus sabias palabras y sus sacrificios silenciosos que me han fortalecido en cada paso de este viaje. Este logro es tan suyo como mío.

Con todo mi amor y gratitud,

Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas

AGRADECIMIENTO

A mi tutor de tesis, MVZ. David Napoleón Vera Bravo. Mg, por su apoyo constante, su guía invaluable y su paciencia inagotable. Su dedicación y conocimiento han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, y a todos los docentes, por brindar el apoyo académico y personal necesario a lo largo de mi formación. Gracias por su compromiso con la educación y por haberme proporcionado las herramientas necesarias para alcanzar este logro.

Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE ANEXO	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
i. Problema científico	2
ii. Objetivo general	3
iii. Objetivo específico	3
iv. Hipótesis	3
CAPÍTULO I	4
1 MARCO TEÓRICO	4
1.1 Origen de la hidroponía	4
1.2 Importancia del Forraje Verde Hidropónico (FVH)	4
1.3 Condiciones y técnicas óptimas para el crecimiento de forraje verde hidropónico	5
1.4 Principales ventajas del forraje verde hidropónico (FVH) en la producción agrícola.	5
1.5 Principales desventajas del forraje verde hidropónico (FVH)	6
1.6 Producción de forraje verde hidropónico (FVH)	7
1.6.1 Selección de semilla	7
1.6.2 Lavado y desinfección	7
1.6.3 Pre-germinación	7
1.6.4 Siembra y densidad	8
1.6.5 Germinación	8
1.6.6 Riego	8
1.7 Solución nutritiva	9
1.7.1 Bioestimulantes	10
1.8 Fisiología de la producción del forraje verde hidropónico (fvh)	12
1.8.1 Absorción de Agua	13
1.8.2 Movilización de Nutrientes	13
1.9 Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	13
1.9.1 Adaptación del Trigo	14
1.9.2 Características botánicas y morfológicas del trigo	14
1.9.3 Hábito de crecimiento	15
1.9.4 Ciclo de vida del trigo y la importancia de la luz	17

1.9.5 Fertilización.....	17
CAPITULO II.....	18
ESTADO DEL ARTE.....	18
CAPÍTULO III	21
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1 Localización de la unidad experimental.....	21
3.2 Caracterización agroecológica de la zona	21
3.3 Método teórico.....	22
3.3.1 Enfoque analítico-sintético.....	22
3.3.2 Enfoque inductivo-deductivo	22
3.3.3 Método empírico.....	22
a. Recolección de datos.....	22
b. Experimentación	22
3.4 Variables independientes	22
3.5 Variables dependientes	22
3.6 Unidad Experimental	23
3.7 Tratamientos.....	23
3.8 Características de las Unidades experimentales	23
3.9 Análisis Estadístico.....	23
3.10 Instrumentos de medición	24
3.11 Manejo del ensayo	24
3.11.1 Instalación del sistema de F.V.H.....	25
CAPÍTULO IV	27
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Establecer el mejor rendimiento del forraje verde hidropónico de trigo (<i>Triticum aestivum</i>) con tres niveles de fertilización.	27
4.1.1 Materia seca (%).....	27
4.1.2 Producción de forraje (kg/m ²)	28
4.2 Analizar las mejores características bromatológicas del forraje verde hidropónico de trigo (<i>Triticum aestivum</i>) con tres niveles de fertilización.	28
4.2.1 Proteína (%).....	28
4.2.2 Extracto etéreo (%).....	29
4.2.3 Ceniza (%).....	30
4.2.4 Fibra (%)	31
4.2.5 E.L.N.N (%).....	31
CAPITULO V.....	33
5 CONCLUSIONES	33
CAPITULO VI	34
6 RECOMENDACIONES	34
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	XXXV
8 ANEXOS.....	XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo	9
Tabla 2. Composición de Algafert Eco	11
Tabla 3. Vitaminas, Pigmentos, Minerales y Ácidos grasos esenciales de Algafert Eco.....	11
Tabla 4. Composición del Fertilizante Orgánico-Mineral.....	12
Tabla 5. Clasificación Taxonómica del Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	13
Tabla 6. Contenido bromatológico de algunas gramíneas.....	14
Tabla 7. Los estados de crecimiento del trigo según las escalas de Zadoks.....	16
Tabla 8. Requerimientos nutricionales del trigo	17
Tabla 9. Características agroecológicas de la localidad	21
Tabla 10. Disposiciones de los tratamientos en estudio	23
Tabla 11. Características de la unidad experimental.....	23
Tabla 12. Esquema de ADEVA.....	24
Tabla 13. Contenido de Materia Seca (MS) del Forraje Verde Hidropónico de Trigo con Tres Dosis Diferentes y Dos Biofertilizantes, más un Testigo Absoluto.....	27
Tabla 14. producción de materia verde (kg/m ²) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto	28
Tabla 15. Contenido de proteína (PC) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto	29
Tabla 16. Contenido de Extracto etéreo (E.E.) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto	30
Tabla 17. Contenido de Ceniza del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto	30
Tabla 18. Contenido de Fibra Bruta (FB) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto	31
Tabla 19. Contenido de Extracto Libre No Nitrogenado (E.L.N.N) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema para la elaboración de forraje verde hidropónico Nota. tomado de Forraje-Verde (2024).....	8
Figura 2. Fase de crecimiento del trigo.....	15
Figura 3. Ubicación y coordenadas de la zona del experimento	21

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. análisis estadístico del diseño de bloques completamente al azar A x B más el adicional en el programa RStudio.....	XXXV
Anexo 2. Siembra del forraje hidropónico de trigo 3 días en oscuridad.....	XXXV
Anexo 3. Día 3 después de sembrar en cada una de las bandejas 1 kg de semilla de trigo y primera aplicación de los biofertilizantes.....	XXXV
Anexo 4. Forraje verde hidropónico de trigo a los 10 días	XXXVI
Anexo 5. cosecha del forraje	XXXVI
Anexo 6. Envío de las muestras para su análisis bromatológico.....	XXXVII
Anexo 7. Análisis bromatológico de los tratamientos	XXXVII

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*) utilizando tres niveles de fertilización. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial A x B, donde A corresponde a diferentes tipos de fertilizante y B a las dosis, resultando en 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno más la adición de un tratamiento testigo. Los datos se analizaron con el programa R (versión 4.3.2, 2022). Los tratamientos fueron: T1 (Amino Tech 50% 0,20 ml/m²), T2 (Amino Tech 75% 0,30 ml/m²), T3 (Amino Tech 100% 0,40 ml/m²), T4 (AlgaFert 50% 0,10 ml/m²), T5 (AlgaFert 75% 0,15 ml/m²), T6 (AlgaFert 100% 0,20 ml/m²) y T7 (Testigo 0% 0 ml/m²). El tratamiento con Algafert a una dosis de 0,2 ml/m² presentó los resultados más favorables, alcanzando un contenido de materia seca del 21,25% y una producción de forraje de 9,39 kg/m². En el análisis bromatológico, Algafert mostró los mejores resultados: 24,32% de proteína a una dosis de 1 ml/m², 3,79% de extracto etéreo a una dosis de 1,5 ml/m², y 62,44% de contenido energético a una dosis de 1 ml/m². Aminotech, a una dosis de 0,20 ml/m², reportó un contenido de ceniza de 3,73%, y a una dosis de 0,40 ml/m², mostró la concentración más alta de fibra con un 12,65%. Estos resultados sugieren que, independientemente de la dosis aplicada, los contenidos de proteína, extracto etéreo, energía, ceniza y fibra varían según el tipo de biofertilizante utilizado.

Palabras claves: Sistema aeropónico, rendimiento, calidad bromatológica, algas

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the bromatological quality of hydroponic green forage of wheat (*Triticum aestivum*) using three levels of fertilization. A Completely Randomized Design (CRD) with a factorial arrangement $A \times B$ was employed, where A corresponds to different types of fertilizer and B to the doses, resulting in 6 treatments with 4 repetitions each. Data were analyzed using R software (version 4.3.2, 2022). The treatments were: T1 (Amino Tech 50% 0.20 ml/m²), T2 (Amino Tech 75% 0.30 ml/m²), T3 (Amino Tech 100% 0.40 ml/m²), T4 (AlgaFert 50% 0.10 ml/m²), T5 (AlgaFert 75% 0.15 ml/m²), T6 (AlgaFert 100% 0.20 ml/m²), and T7 (Control 0% 0 ml/m²). The treatment with AlgaFert Eco at a dose of 0.2 ml/m² presented the most favorable results, reaching a dry matter content of 21.25% and a forage yield of 9.39 kg/m². In the bromatological analysis, AlgaFert showed the best results: 24.32% protein at a dose of 1 ml/m², 3.79% ether extract at a dose of 1.5 ml/m², and 62.44% energy content at a dose of 1 ml/m². Aminotech, at a dose of 0.20 ml/m², reported an ash content of 3.73%, and at a dose of 0.40 ml/m², showed the highest fiber concentration with 12.65%. These results suggest that, regardless of the applied dose, the contents of protein, ether extract, energy, ash, and fiber vary according to the type of biofertilizer used.

Keywords: aeroponic system, yield, bromatological quality, algae.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ganadería, el bienestar animal emerge como un pilar fundamental, ejerciendo una influencia directa sobre la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Temple y Manteca, 2020). La adopción de prácticas de manejo óptimas, que incluyen la provisión de un ambiente enriquecido y una alimentación balanceada, no solamente potencia la salud y el bienestar de los animales, sino que también optimiza el rendimiento forrajero y la eficiencia productiva (Olesen et al., 2000).

Paralelamente, la implementación de sistemas de pastoreo sostenibles se presenta como una estrategia crucial para la conservación de ecosistemas, optimizando la gestión de recursos naturales y reduciendo el impacto ambiental (Allison, 1985). Cuando se utilizan altas cargas de ganado o los períodos de ocupación y descanso de los potreros no son los adecuados, se produce un exceso de pastoreo que ocasiona la degradación de los pastos. Es necesario, por lo tanto, aplicar prácticas de manejo que ayuden a mejorar los rendimientos y la rentabilidad (Macay-Anchundia et al., 2024).

En las últimas décadas, las actividades de explotación agropecuaria, especialmente en el trópico ecuatoriano, han experimentado un incremento en la producción ganadera. Sin embargo, este crecimiento ha surgido a costa de la sobreexplotación de los suelos y las pasturas (Hosainy et al., 2015). La falta de controles adecuados y la ausencia de prácticas ecológicas o técnicas apropiadas han contribuido a la contaminación ambiental (León et al., 2018). Estas prácticas no solo son esenciales para el mantenimiento de la viabilidad económica de las explotaciones ganaderas, sino que también deben ser integradas en las políticas de desarrollo rural para promover un futuro agrícola resiliente y sostenible (Temple y Manteca, 2020).

Aunado a lo mencionado, diversos factores han impulsado la necesidad de intensificar y mejorar la eficiencia de las prácticas de producción animal de manera sostenible (Vargas-Rodríguez, 2007). Entre estos factores se incluyen el incremento en la demanda de productos alimenticios, la expansión de la frontera agrícola y ganadera, la erosión del suelo, la contaminación de las aguas y el crecimiento estacional de los pastos, que está directamente relacionado con la estacionalidad de las lluvias (Muller et al., 2005).

Estas circunstancias han dirigido investigación hacia la exploración de métodos alternativos de producción de alimentos. Como una alternativa significativa, surge la producción de forraje verde hidropónico, una tecnología que permite obtener biomasa a partir del crecimiento inicial de plantas en estados de germinación y desarrollo temprano de plántulas

desde semillas viables (Rivera et al., 2010).

El FVH representa un sistema innovador para la producción de biomasa vegetal de alta calidad sanitaria y nutricional, que se puede obtener rápidamente (en un intervalo de 9 a 15 días), en cualquier época del año y ubicación geográfica, siempre que se establezcan las condiciones mínimas necesarias para su desarrollo. Esta tecnología se posiciona como un complemento, y no como un competidor, a los sistemas convencionales de producción forrajera que utilizan especies tradicionalmente cultivadas como la avena, mezclas de trébol con gramíneas y alfalfa (Vargas-Rodríguez, 2007).

El forraje hidropónico ofrece una alimentación nutritiva y eficiente para una amplia variedad de ganado, incluyendo vacuno, porcino, caprino, equino y cunícola, así como otros animales domésticos, logrando excelentes resultados (Maldonado-Torres et al., 2013). Entre las numerosas ventajas de esta técnica se incluyen la disponibilidad constante de forraje durante todo el año y la posibilidad de utilizar terrenos marginales.

Esta técnica contribuye a una significativa reducción en el desperdicio de agua y proporciona una fuente de alimento de alto valor nutricional que es completamente natural, lo que disminuye la incidencia de enfermedades (Rivera et al., 2010). También se observa un aumento en la fertilidad y en la producción de leche, reflejando los beneficios generales de una nutrición de calidad (Money, 2005).

Por esta razón, se plantea el siguiente proyecto de investigación, cuyo objetivo es determinar la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de gramíneas cultivado con tres diferentes niveles de fertilización. A partir de los resultados obtenidos, se pretende ofrecer a los productores alternativas sostenibles para el desarrollo de la producción de alimentos en la ganadería, manteniendo un enfoque respetuoso con el medio ambiente.

i. Problema científico

En la producción de forraje verde hidropónico, la determinación de las prácticas óptimas de fertilización es crucial para maximizar la calidad y el rendimiento del cultivo. Aunque se reconoce la potencialidad de las gramíneas cultivadas mediante técnicas hidropónicas para la alimentación ganadera, existe una falta de información detallada sobre cómo diferentes niveles de fertilización afectan sus propiedades bromatológicas y la viabilidad económica de su producción. Esta brecha en el conocimiento impide que los productores adopten estas técnicas de manera eficiente y sostenible, lo que limita su capacidad para mejorar la productividad y la sostenibilidad ambiental de sus operaciones.

¿Cómo influyen tres diferentes niveles de fertilización en la calidad bromatológica y el rendimiento del forraje verde hidropónico de gramíneas en cada uno de estos tratamientos?

ii. Objetivo general

- Determinar la calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*) con tres niveles de fertilización.

iii. Objetivo específico

- Establecer el mejor rendimiento del forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*) con tres niveles de fertilización.
- Analizar las mejores características bromatológicas del forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*) con tres niveles de fertilización.

iv. Hipótesis

H^a: Los niveles de fertilización influyen significativamente en la biomasa y calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*).

H⁰: Los niveles de fertilización no influyen en la biomasa y calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*).

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Origen de la hidroponía

La producción del Forraje Verde Hidropónico (FVH) es tan solo una de las múltiples aplicaciones prácticas de la técnica de cultivos sin suelo o hidroponía. Esta técnica se remonta al siglo XVII, cuando el científico irlandés Robert Boyle (1627-1691) llevó a cabo los primeros experimentos de cultivos en agua (Huterwal, 1960). Pocos años después, John Woodward avanzó en esta investigación produciendo germinaciones de granos con aguas de diferentes orígenes y examinó el efecto de diversas concentraciones de nutrientes en el riego, así como la composición del forraje resultante (Ñíguez, 1988).

En países como Costa Rica, especialmente en la Meseta Central donde el precio de la tierra es muy elevado, la implementación de una "fábrica de pastos" a través de la hidroponía representa una solución innovadora para muchos pequeños y medianos productores pecuarios. En un pequeño invernadero, cientos de semillas de maíz, avena, cebada, trigo o alfalfa germinan y crecen en bandejas, proporcionando todo el forraje verde necesario para alimentar ganado caprino, bovino, ovino o porcino en un período récord de 12 a 15 días (Borja y Perlará, 2009). Esta técnica ofrece una alternativa rentable y eficiente en el uso del espacio, crucial para la sostenibilidad de las operaciones pecuarias en regiones con limitaciones de tierra (Huterwal, 1960).

Los sistemas de producción de forraje verde hidropónico (FVH) han demostrado ser altamente productivos (Sagi, 1976). No obstante, debido a su desarrollo inicial en países como Europa, Canadá y Estados Unidos, estos sistemas incurren en elevados costos; fueron específicamente diseñados para operar bajo las condiciones extremas de frío prevalentes en dichas regiones (Ñíguez, 1988). Para una implementación exitosa en México, resulta imprescindible llevar a cabo investigaciones que conduzcan al desarrollo de un paquete tecnológico adaptado tanto a las variadas condiciones ambientales de las distintas regiones mexicanas como a las realidades socioeconómicas de los pequeños y medianos productores (Sánchez Del Castillo et al., 2013).

1.2 Importancia del Forraje Verde Hidropónico (FVH)

La importancia del Forraje Verde Hidropónico (FVH) se ha destacado especialmente en el contexto de la escasez global de alimentos, tanto de origen animal como vegetal. Esta técnica

permite mantener condiciones climáticas controladas y constantes, facilitando el desarrollo continuo del forraje y asegurando un suministro estable de alimento que cumple con los requerimientos nutricionales de los animales (López-Anchondo et al., 2016). Además, la eficiencia del FVH en el ahorro de agua se demostró inicialmente en ensayos realizados en países con zonas desérticas, donde el recurso hídrico es escaso (Maldonado-Torres et al., 2013).

Hoy en día, este significativo ahorro en el consumo de agua hace que el FVH sea una opción particularmente atractiva para los pequeños productores afectados por sequías, las cuales pueden comprometer incluso la disponibilidad de agua potable (Ramírez-Viquez y Soto-Bravo, 2017).

1.3 Condiciones y técnicas óptimas para el crecimiento de forraje verde hidropónico

Para un crecimiento óptimo del forraje verde hidropónico, se deben mantener condiciones ambientales específicas y técnicas de siembra adecuadas. La temperatura ideal oscila entre 20 y 28 °C, y es esencial mantener una humedad relativa no inferior al 90% (Maldonado-Torres et al., 2013). Además, es crucial evitar el encharcamiento en los contenedores y asegurar una adecuada circulación de aire en el cuarto de producción (Herrera-Torres et al., 2010). La densidad de siembra, que varía según la especie, es otro factor determinante; Vargas-Rodríguez (2007), sugiere una densidad de 2,4 kg/m² para el trigo, mientras que Soto et al., (2012), recomiendan una densidad de 5,0 kg/m² para trigo y avena.

En estudios de López-Aguilar et al. (2009), la densidad óptima para maíz fue de 2,5 kg/m², la cual produjo el mayor rendimiento. Otros investigadores han encontrado que las dosis de siembra eficaces oscilan entre 2,2 y 3,4 kg/m² (Romero et al., 2009). López-Aguilar et al. (2009), también menciona que la disposición de las semillas en las bandejas no exceda los 1,5 cm de profundidad.

1.4 Principales ventajas del forraje verde hidropónico (FVH) en la producción agrícola

El sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) ofrece múltiples ventajas que lo posicionan como una alternativa sostenible y eficiente frente a los métodos tradicionales de cultivo. Una de las principales ventajas es el significativo ahorro de agua que este sistema proporciona (Vargas-Martínez, 2008). En comparación con la producción convencional de forraje, el FVH reduce drásticamente la pérdida de agua por escurrimiento superficial, infiltración y evapotranspiración, utilizando menos de dos litros de agua para producir un kilogramo de forraje (Rivera et al., 2010). Esto contrasta notablemente con los 635, 521, 505,

372 y 271 litros de agua necesarios para producir un kilogramo de materia seca de cultivos como avena, cebada, trigo, maíz y sorgo en campo abierto (Juárez-López et al., 2013).

Además, el costo de producción del FVH es considerablemente menor, aproximadamente diez veces menos que el de los forrajes cultivados en espacios abiertos. La implementación de sistemas modulares verticales optimiza el uso del espacio, donde 170 metros cuadrados de instalaciones modulares de cuatro pisos para FVH de avena pueden equivaler a la producción de cinco hectáreas de forraje convencional (Romero et al., 2009).

En términos de eficiencia de producción, el ciclo del FVH se completa en apenas 10 a 14 días. Los estudios sugieren que la cosecha debería realizarse antes del día 12 para maximizar el valor nutricional del forraje, ya que se observa una disminución en la calidad nutritiva más allá de este período (Mejía-Castillo y Orellana-Núñez, 2019).

La calidad del forraje producido también destaca, ya que el FVH es un alimento succulento que puede alcanzar entre 20 y 30 cm de altura, dependiendo del periodo de crecimiento. Es altamente digestible, con bajos niveles de lignina y celulosa, y es rico en vitaminas como la A y E, además de contener niveles elevados de carotenoides, hierro, calcio y fósforo (Núñez-Torres y Rodríguez-Barros, 2019).

Finalmente, el FVH se caracteriza por su inocuidad, ya que se produce en condiciones que minimizan la presencia de plagas y enfermedades, asegurando un forraje limpio y seguro para el consumo animal, libre de hierbas o pasturas indeseables que podrían comprometer los procesos metabólicos y de absorción en los animales (Mejía-Castillo y Orellana-Núñez, 2019).

1.5 Principales desventajas del forraje verde hidropónico (FVH)

Las desventajas principales de la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) incluyen desinformación y falta de capacitación, costos iniciales de instalación y bajo contenido de materia seca (Juárez-López et al., 2013). La selección adecuada de la especie forrajera y sus variedades, junto con un entendimiento detallado de sus requerimientos de agua, nutrientes, luz, temperatura y humedad relativa son esenciales, ya que el FVH exige un manejo cuidadoso y continuo (Soto-Bravo y Ramírez-Viquez, 2018). La falta de conocimientos específicos puede desfavorecer a los productores en la gestión efectiva de este sistema (Pérez et al., 2012).

Aunque los costos de instalación inicial pueden ser considerados elevados, el uso de estructuras de invernadero de bajo costo, como los túneles, ha demostrado ser eficaz y rentable. Además, el FVH típicamente presenta un bajo contenido de materia seca, lo cual se puede

mitigar complementando la dieta del ganado con rastrojos o alimento concentrado (Valverde-Lucio et al., 2018).

A pesar de estas desventajas, las ventajas del FVH, como la producción rápida y segura de forraje, el uso eficiente del agua y el espacio reducido, suelen predominar (Juárez-López et al., 2019). Este método es particularmente valioso en contextos de cambio climático, como se evidenció en 2012 con la sequía en el norte de México, y puede ser una solución estratégica para sostener la alimentación del ganado frente a futuros desafíos ambientales, contribuyendo a la resiliencia de los sectores agrícola y ganadero (Salvador-Castillo et al., 2022).

1.6 Producción de forraje verde hidropónico (FVH)

El proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH) implica varias etapas críticas, cada una de las cuales requiere atención meticulosa para garantizar el éxito en la producción. La selección de especies es fundamental, y comúnmente se utilizan semillas como la cebada, avena, maíz, trigo y sorgo, dependiendo de la disponibilidad local y su costo. Aunque se ha intentado usar semillas de alfalfa, no se recomienda debido a su manejo delicado y rendimientos similares a los de la producción convencional (Núñez-Torres et al., 2017).

1.6.1 Selección de semilla

Es crucial emplear semillas de alta calidad y de origen conocido, que estén adaptadas a las condiciones locales y con alta tasa de germinación (Cardenas y Huanca, 2023). Es importante asegurarse de que las semillas estén libres de impurezas como piedras y paja, y que no hayan sido tratadas con pesticidas, ya que los residuos pueden afectar la salud del ganado (Valle, 2022).

1.6.2 Lavado y desinfección

Las semillas deben lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% para eliminar contaminantes y residuos (Núñez-Torres et al., 2017). El tiempo de inmersión en la solución no debe ser menor a 30 segundos ni exceder los tres minutos para evitar dañar su viabilidad (Salvador-Castillo et al., 2022).

1.6.3 Pre-germinación

Este paso implica sumergir las semillas durante no más de 24 horas, dividido en dos períodos de 12 horas, con un intervalo para escurrirlas y oxigenarlas, lo cual es crucial para una germinación uniforme y rápida (Juárez-López et al., 2019).

1.6.4 Siembra y densidad

Las densidades óptimas de siembra varían entre 2,2 y 3,4 kg por metro cuadrado. Las semillas pre-germinadas se deben distribuir en una capa que no exceda los 1,5 cm de espesor para promover un crecimiento uniforme (Núñez-Torres et al., 2017).

1.6.5 Germinación

Salvador-Castillo et al. (2022), establecen que después de la siembra, las semillas se deben cubrir con papel periódico para crear un ambiente de semioscuridad. Juárez-López et al. (2013), mencionan que el ambiente junto con la aplicación de agua, genera condiciones de alta humedad y temperaturas adecuadas, esenciales para estimular la germinación y el desarrollo inicial de las plantas. Finalmente, una vez que se observa la germinación, se procede a retirar el papel para permitir una mayor exposición a la luz.

1.6.6 Riego

El sistema de riego para las bandejas de crecimiento del Forraje Verde Hidropónico (FVH) se implementa mediante microaspersores, nebulizadores o bombas aspersoras portátiles, como mochilas de mano (Salvador-Castillo et al., 2022). Juárez-López et al. (2013), mencionan que el riego por inundación no es tan efectivo, ya que puede provocar retención excesiva de agua, lo que resulta en asfixia de las raíces, además de fomentar el desarrollo de hongos y pudriciones que podrían llevar a la pérdida total del cultivo.



Figura 1. Esquema para la elaboración de forraje verde hidropónico

Nota. tomado de Forraje-Verde (2024).

Según Lomelí (2000), citado por la FAO (2001), el sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) minimiza significativamente las pérdidas de agua por

evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración, comparado con los métodos convencionales de producción de especies forrajeras. Tradicionalmente, la producción convencional de forraje requiere entre 270 a 635 litros de agua por kilogramo de materia seca. En contraste, la producción de 1 kilogramo de FVH necesita apenas de 2 a 3 litros de agua, con un contenido de materia seca que varía entre 12% y 18%, resultando en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en un período de 14 días (Salvador-Castillo et al., 2022).

FAO (2001), resalta que esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua es una de las razones por las cuales los desarrollos más significativos en hidroponía se han observado, y continúan observándose, principalmente en países con zonas desérticas. Esta eficiencia también hace que la producción de FVH sea una opción atractiva para los pequeños productores afectados por severas sequías, que pueden comprometer incluso la disponibilidad de agua potable (Juárez-López et al., 2013).

Tabla 1. *Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo*

Especie	Litros de agua / kg materia seca (promedio de 5 años)
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

Nota. Tomado de Lozano (2023)

1.7 Solución nutritiva

La solución nutritiva es esencial para el desarrollo de las plantas en sistemas hidropónicos. Consiste en nutrientes que se suministran mediante la disolución de sales o fertilizantes químicos en agua, en cantidades y concentraciones óptimas para promover el adecuado crecimiento de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos y semillas (García, 2007).

Un método ampliamente adoptado en América Latina para la preparación de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos implica la creación de dos soluciones madre concentradas. Estas soluciones se diluyen posteriormente en agua de acuerdo con los requerimientos nutricionales específicos de cada cultivo (Soto et al., 2012). Las dos soluciones madre se clasifican como: Solución Concentrada A, que proporciona los macronutrientes, y Solución Concentrada B, que suministra meso y micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas (Herrera, 1999).

Vega y Quispe (2008), afirman que una producción constante y adecuada del forraje requiere riego complementado con nutrientes esenciales. Los autores sugieren dos formulaciones nutritivas: la Solución A, que contiene 34 g de fosfato mono amónico, 208 g de nitrato de calcio y 110 g de nitrato de potasio; y la Solución B, que incluye 123 g de sulfato de magnesio, 0,12 g de sulfato de cobre, 0,62 g de sulfato de manganeso, 0,30 g de sulfato de zinc, 1,55 g de ácido bórico, 0,005 g de molibdato de amonio y 12,5 g de quelato de hierro.

Por su parte Castillo et al. (2015), destacan que el uso de soluciones nutritivas en el forraje hidropónico de cebada desde la germinación eleva su valor nutritivo y la producción tanto de forraje verde como de proteína bruta. Este tratamiento nutricional produce en los cuyes un desempeño productivo comparable al de dietas convencionales basadas en pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), alfalfa y concentrado.

Finalmente Maldonado-Torres et al. (2013), reportan que la adición de nitrógeno en forma de nitrato a las soluciones nutritivas potencia el crecimiento en altura, mejora la relación de conversión y aumenta el rendimiento por metro cuadrado, así como el contenido proteico y la concentración de nitrato en la planta.

1.7.1 Bioestimulantes

Morales (2018) identifica a los bioestimulantes como sustancias orgánicas empleadas para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de aumentar su resistencia frente a condiciones de estrés biótico y abiótico. Según Fertilizar (2011), los bioestimulantes pueden ser naturales o sintéticos y se utilizan solos o en combinación con fertilizantes. Estos productos activan procesos fisiológicos específicos en las plantas, lo que mejora su crecimiento y salud general, incluso si no aportan nutrientes directamente.

A. Algas marinas

Según Espinosa-Antón et al. (2020), desde el siglo XIX, las algas marinas se han empleado como abono verde en muchas zonas agrícolas costeras, especialmente en islas. En ciertas islas del mar del norte, las algas son esenciales para la agricultura, ya que los habitantes han creado suelo agrícola mezclando arena y limo con macroalgas de arribazón.

Feliu (2008), describe los extractos de algas como productos derivados de la extracción química o física de algas marinas. Este autor también señala que las algas han sido utilizadas tradicionalmente no solo como fertilizante y alimento para el ganado, sino también como un componente importante de la dieta en culturas orientales.

Algafert Eco se posiciona como el bioestimulante natural más efectivo en el mercado, gracias a su producción a través de hidrólisis enzimática de microalgas. Este proceso, patentado por Biorizon Biotech, no solo mejora las cualidades inherentes de las microalgas, sino que también promueve la manifestación de propiedades beneficiosas para los cultivos. Una de las innovaciones clave de Algafert Eco es su capacidad para eliminar fosfatos, lo que lo hace especialmente adecuado para cultivos biológicos (Biorizon, 2020).

Tabla 2. *Composición de Algafert Eco*

Componentes	Valor
N total	1,4%
N orgánico	0,60%
P₂O₅ soluble en agua	0,06%
K₂O soluble en agua	8,6%
Aminoácidos libres	5,6%
Aminoácidos esenciales	
Fenilalanina	0,16%
Isoleucina	0,39%
Leucina	0,11%
Aminoácidos no esenciales	
Ácido Aspártico	0,50%
Ácido Glutámico	0,58%
Alanina	0,28%

Nota. Tomado de Biorizon (2020).

La eficacia de Algafert Eco se debe en gran parte a la Spirulina, una microalga que contiene altas concentraciones de proteínas, polisacáridos, oligoelementos y antioxidantes, haciendo de ella un complemento natural por excelencia. Este producto es completamente seguro para su uso en agricultura, ya que mejora notablemente la calidad de las raíces (Falla y Meoño, 2023).

Tabla 3. *Vitaminas, Pigmentos, Minerales y Ácidos grasos esenciales de Algafert Eco*

Vitaminas	Pigmentos	Minerales	Ácidos grasos esenciales
Betacaroteno (Pro Vit. A)	Ficocianina	Calcio	Gamma Linolénico
Tocoferol (Vit. E)	Clorofila	Fósforo	Palmítico
Tiamina (Vit. B1)	Carotenoides	Magnesio	Estearico
Riboflavina (Vit. B2)		Hierro	Oleico
Niacina (Vit. B3)		Cromo	Palmitoleico
Piridoxina (Vit. B6)		Sodio	Palmitolinolénico
Cianobalamina (Vit. B12)		Zinc	
Inositol		Cobre	
Ácido fólico		Potasio	

Nota. Tomado de Biorizon (2020).

B. Aminoácidos

La Tecnología Aminotech, desarrollada por ECOBIOSA, integra los tres grupos de aminoácidos más utilizados en la agricultura moderna para optimizar los procesos metabólicos de las plantas. Esta tecnología emplea espirulinas (microalgas), metabolitos de microorganismos y aminoácidos obtenidos de extracciones vegetales. Este fertilizante contiene una mezcla de minerales de rápida asimilación (N-P-K-S-Mg-Zn), citoquininas, y está enriquecido con la Tecnología Aminotech (Biorizon, 2020).

Tabla 4. *Composición del Fertilizante Orgánico-Mineral*

Elemento	Información
Nitrógeno Total (N)	5,00%
Fósforo (P ₂ O ₅)	3,00%
Potasio (K ₂ O)	4,10%
Magnesio (MgO)	1,50%
Azufre (S)	550 ppm
Zinc (Zn)	350 ppm
Aminoácidos libres	7,00%
Metabolitos	2,00%
Citoquininas	0,01%

Nota. Tomado de Biorizon (2020).

1.8 Fisiología de la producción del forraje verde hidropónico (fvh)

Durante la germinación de una semilla, ocurren cambios significativos tanto en calidad como en cantidad. El embrión de la planta latente se activa, lo que provoca la ruptura de los recubrimientos de la semilla. Utilizando sus reservas de energía, el embrión se transforma rápidamente en una plántula capaz de realizar la fotosíntesis y absorber nutrientes minerales de la solución nutritiva. Este proceso se completa en solo unos pocos días (Maldonado-Torres et al., 2013).

La germinación comienza cuando la semilla se hidrata, desencadenando la movilización de enzimas que penetran en el interior de la semilla y destruyen las paredes celulares. Durante este proceso, se liberan gránulos de almidón que se convierten en azúcares, iniciando el proceso de germinación. Este proceso se puede dividir en tres fases clave: absorción de agua, movilización de nutrientes, y crecimiento y diferenciación (Córdova, 2022).

1.8.1 Absorción de Agua

Carabali (2024), señala que esta etapa marca el inicio de la actividad vital de la semilla, implicando la reactivación del metabolismo. Para que esto ocurra, se requieren condiciones óptimas de humedad, temperatura y oxígeno. Una vez que estos factores se cumplen, la semilla aumenta su volumen al absorber agua, resultando en la expansión del embrión. Las cubiertas protectoras se vuelven más suaves y las reservas de alimento inician una serie de reacciones químicas y biológicas que promueven el desarrollo del embrión.

1.8.2 Movilización de Nutrientes

En la segunda etapa, los cotiledones se reducen gradualmente a medida que la nueva planta utiliza sus reservas alimenticias. Estas reservas se descomponen por la acción del agua, se consumen mediante la respiración o se emplean en el desarrollo de nuevas estructuras. Generalmente, las reservas en los cotiledones son suficientes para sustentar el crecimiento de la plántula hasta que pueda comenzar a realizar la fotosíntesis y producir su propio alimento, como lo presentan (Vargas-Rodríguez, 2007).

1.9 Trigo (*Triticum aestivum* L.)

El trigo es una de las especies más antiguas cultivadas en el mundo, destacando por su vasta diversidad genética que le permite crecer y reproducirse en una amplia variedad de ambientes. Este cereal no solo es fundamental para la autosuficiencia humana, sino que también forma parte esencial de la dieta global y es un componente crucial en los piensos para animales (Valle, 2022).

Tabla 5. Clasificación Taxonómica del Trigo (*Triticum aestivum* L.)

Categoría	Clasificación
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>Triticum aestivum</i>

Nota. Tomado de Valle (2022).

El trigo, conocido científicamente como *Triticum aestivum*, es uno de los cultivos más antiguos y ampliamente cultivados en el mundo. Originario de la región de la Media Luna Fértil, su cultivo se remonta al comienzo de la agricultura. El trigo ha sido fundamental en la

alimentación humana, proporcionando una fuente importante de nutrientes (Moreno et al., 2001).

Existen aproximadamente 30 tipos de trigo, clasificados en diversas especies y subespecies, siendo *Triticum aestivum* y *Triticum durum* las dos variedades comerciales más comunes. El trigo harinero representa alrededor del 90% del área sembrada a nivel mundial. Este cereal se distingue por su capacidad para adaptarse a diversas condiciones climáticas y su versatilidad en la producción de alimentos (Argentel-Martínez et al., 2017).

Tabla 6. Contenido bromatológico de algunas gramíneas

Cereal	Proteína (%)	Grasa (%)	Materiales minerales (%)	Fibra bruta (%)	Carbohidratos solubles (%)
Trigo	12,5	1,7	2	2,5	78
Cebada	11,5	1,8	2,3	5,8	78,1
Cereal	13	1,9	1,9	2,9	76,7
Triticale	14	1,8	2,1	3,2	75
Maíz	10	4,5	1,5	2	82
Sorgo	11,2	3,1	1,7	2,5	80
Arroz (descascarado)	11	2,4	1,3	0,9	82,1
Arroz (blanco)	9,3	0,4	0,6	0,2	85

Nota. Tomado de Moreno et al. (2001).

1.9.1 Adaptación del Trigo

El trigo (*Triticum aestivum* L.) se adapta bien a suelos moderadamente alcalinos, con un pH entre 7 y 8.5, y en zonas templadas donde las temperaturas fluctúan entre los 15 y 31 °C. Varios factores contribuyen al rendimiento y adaptación del cultivo, incluyendo la adecuada preparación del suelo, su fertilidad, el riego, el control de temperaturas, la densidad de siembra, y la gestión de malezas (Silva, 2013).

1.9.2 Características botánicas y morfológicas del trigo

a. Raíces

La planta de trigo desarrolla dos conjuntos de raíces: las raíces seminales que pertenecen al embrión y otras seminales compuestas por cinco raíces, la radícula y dos pares de raíces laterales. Estas son delgadas, uniformes en diámetro y presentan finas ramificaciones laterales (Valle, 2022).

b. Tallo

Pertenece a la familia de las gramíneas y está formado por nudos y entrenudos. En los nudos se encuentran las yemas, que son el punto de inicio para el nacimiento de las hojas y los macollos (Silva, 2013).

c. Hojas

Las hojas del trigo se componen de una vaina que envuelve el tallo, una lámina foliar, una lígula y un par de aurículas en la base de la lámina. Estas estructuras son típicas de la familia de las gramíneas y son cruciales para la fotosíntesis y protección de la planta (Rojas et al., 2006).

d. Inflorescencia del trigo

La inflorescencia del trigo es conocida como espiga, que es una estructura formada por un eje principal en el que se disponen lateralmente las espiguillas. Cada espiguilla consta de varias flores que, una vez polinizadas, se desarrollan en granos de trigo. Las espigas de trigo pueden variar en forma, longitud y densidad dependiendo de la variedad, influenciando así la productividad y el rendimiento del cultivo (Moreno et al., 2001).

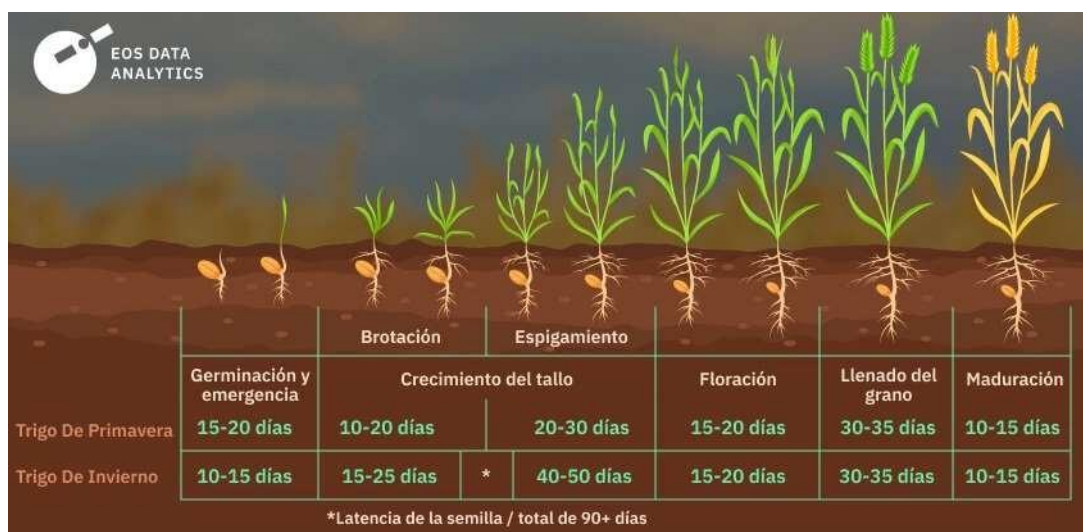


Figura 2. Fase de crecimiento del trigo

Nota. Tomado de EOS (2023)

1.9.3 Hábito de crecimiento

El hábito de crecimiento del trigo se clasifica principalmente en dos grandes tipos: trigos de hábito invernal y trigos de hábito primaveral. Los trigos de hábito invernal requieren un periodo de vernalización, que es una exposición a bajas temperaturas para inducir la floración, mientras que los trigos de hábito primaveral no requieren este proceso y pueden sembrarse

directamente en primavera (Grageda-Cabrera et al., 2018).

El desarrollo de la planta incluye varias etapas, desde la germinación y macollaje hasta la elongación del tallo, la floración y la formación de granos. El crecimiento y desarrollo del trigo están influenciados por factores ambientales como la temperatura, la disponibilidad de agua y la fertilidad del suelo, así como por la genética de la variedad cultivada (Silva, 2013).

Tabla 7. *Los estados de crecimiento del trigo según las escalas de Zadoks*

Escala	Descripción general	Observaciones
Germinación		
0	Semilla seca	
1	Comienzo de imbibición	
3	Fin de imbibición	
5	Radícula emergida del grano	
7	Coleóptilo emergido del grano	
9	Hoja en el ápice del coleóptilo	
Crecimiento de la plántula		
10	1 hoja fuera del coleóptilo	
11	1a hoja desarrollada	2a hoja visible (<1 cm)
12	2 hojas desarrolladas	
13	3 hojas desarrolladas	
14	4 hojas desarrolladas	
15	5 hojas desarrolladas	50% de la lámina
16	6 hojas desarrolladas	
17	7 hojas desarrolladas	
18	8 hojas desarrolladas	
19	9 o más hojas desarrolladas	

Nota. Tomado de Moreno et al. (2001).

La escala de Zadoks es un sistema de codificación que describe los diferentes estados de desarrollo fenológico del trigo y otros cereales. Fue desarrollada por Jan C. Zadoks y colaboradores en la década de 1970 y proporciona una forma estandarizada y detallada para identificar y comunicar las etapas de crecimiento del cultivo desde la germinación hasta la maduración (Zadoks et al., 1974).

1.9.4 Ciclo de vida del trigo y la importancia de la luz

El ciclo de vida del trigo puede dividirse en dos grandes períodos: el crecimiento vegetativo y el período de llenado del grano. Durante el crecimiento vegetativo, se desarrollan la espiga y la estructura fotosintética de la planta, que determinan el rendimiento final. El estado de llenado del grano se enfoca en el rendimiento potencial, siendo crucial en esta fase la longitud y el grosor del grano (Moreno et al., 2001).

La luz juega un papel crucial en el desarrollo del trigo. La cantidad y calidad de luz influyen en la fotosíntesis, afectando el crecimiento y el rendimiento de la planta. Durante las etapas críticas, como la floración y el llenado del grano, una adecuada iluminación es vital para maximizar la productividad y la calidad del cultivo (EOS, 2023).

1.9.5 Fertilización

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son nutrientes clave en los fertilizantes necesarios para el cultivo del trigo. Las variedades actuales de alto rendimiento son más eficientes a la hora de extraer nitrógeno (N) del suelo, lo que las hace más ricas en proteínas (Fischer et al., 1993). Es importante tener en cuenta que el rendimiento del grano es inversamente proporcional a su contenido en proteínas. Por eso, es crucial que los agricultores encuentren el equilibrio ideal entre la composición proteica y el rendimiento al planificar sus programas y dosis de fertilización nitrogenada (EOS, 2023).

Tabla 8. *Requerimientos nutricionales del trigo*

Nutrientes en grandes cantidades	Nutrientes en pequeñas cantidades
Carbono (C)	Hierro (Fe)
Hidrógeno (H)	Manganeso (Mn)
Oxígeno (O)	Zinc (Zn)
Nitrógeno (N)	Cobre (Cu)
Fósforo (P)	Boro (B)
Potasio (K)	Molibdeno (Mo)
Calcio (Ca)	
Magnesio (Mg)	
Azufre (S)	

Nota. Tomado de Moreno et al. (2001).

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

Carabali (2024), evaluó la calidad del forraje verde hidropónico de *Lens culinaris* (lenteja) utilizando tres tipos de soluciones nutritivas y tres edades de corte. Se empleó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial AxB, donde A corresponde a los tipos de soluciones nutritivas y B a las edades de corte, resultando en 9 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. En cuanto a la calidad del forraje verde hidropónico, la fibra cruda alcanzó su mayor valor en la cosecha al día 12 con un 7,28%. La proteína cruda mostró una diferencia estadística significativa en la interacción AxB ($p = 0,0067$), destacándose la solución con úrea a los 14 días de cosecha con un 37,97%. En el contenido de ceniza, el fertilizante completo obtuvo un 5,69%, y en el extracto etéreo, el mismo fertilizante alcanzó un valor de 3,97%. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en el extracto libre de nitrógeno. El rendimiento en cantidad de forraje fue mayor al día 12 con 4,86 kg de materia verde (MV), y la solución nutritiva con fertilizante 10-30-10 mostró el mayor rendimiento promedio con 4,46 kg de MV. Este estudio concluye que el uso de diferentes soluciones nutritivas y edades de corte influye significativamente en la calidad bromatológica y el rendimiento del forraje verde hidropónico de lenteja.

Córdova (2022), evaluó la digestibilidad in vivo de tres especies de forraje verde hidropónico en cobayos de engorde a 2,800 msnm en el cantón Guaranda, con el objetivo de determinar el efecto del forraje verde hidropónico de cebada, maíz forrajero y trigo sobre los parámetros productivos de los cobayos, identificar la especie de mayor rendimiento y realizar un análisis económico mediante la relación beneficio/costo. Se aplicó un modelo estadístico de varianza (ADEVA: DBCA) y una prueba de separación de medias según Duncan al 0.05, evaluando 4 tratamientos y 3 repeticiones con un total de 48 unidades experimentales. Los resultados mostraron un peso inicial promedio de 712.92 g/animal en T4, una ganancia de peso final promedio de 812.75 g/animal en T2, un consumo de alimento total de 7,429.23 g/lote, un peso final promedio de 1,502.83 g/animal en T2, una conversión alimenticia de 2.46 en T2, una mortalidad del 0.0%/lote y una relación beneficio/costo de \$1.10 en T2. Los factores genéticos, nutricionales, de manejo e inmunidad fueron los componentes más importantes que influenciaron la producción y bienestar animal.

Sánchez Del Castillo et al. (2013), realizaron un estudio para evaluar el efecto de diferentes densidades de semilla sobre la producción y valor nutritivo del forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y cebada, y su impacto en la ganancia de peso de ganado ovino. Se

compararon tres densidades de semilla en dos especies: 4,7; 5,2 y 5,7 kg/m² para trigo, y 3,5; 3,9 y 4,3 kg/m² para cebada. La mejor densidad para trigo fue 4.7 kg/m², con un rendimiento de 30.2 kg/m² y una relación de conversión de 1:6.4. Para cebada, la mejor densidad fue 3,5 kg/m², con un rendimiento de 32,8 kg/m² y una relación de conversión de 1:9,3. Al aumentar la densidad, el contenido de materia seca y la relación de conversión disminuyeron.

El estudio realizado por Contreras et al. (2015), tuvo como objetivo determinar el efecto de las asociaciones arveja-cebada y arveja-trigo en seis proporciones (0, 100; 20, 80; 40, 60; 60, 40; 80, 20; 100, 0) de cultivos hidropónicos sobre el porcentaje de materia seca, materia orgánica y proteína cruda, y altura de planta, así como en la producción de forraje verde, materia seca, materia orgánica y proteína cruda. Se utilizó un diseño factorial al azar de 2 x 6 (asociación x proporción) con 5 repeticiones por tratamiento. El porcentaje de materia seca y el rendimiento de forraje verde fueron estadísticamente similares en las asociaciones arveja-cebada y arveja-trigo. Los porcentajes de materia orgánica y proteína cruda fueron afectados tanto por la asociación como por la proporción de leguminosa/gramínea. El porcentaje promedio de proteína cruda en ambas asociaciones fue de 22,37%. La proporción de leguminosa/gramínea no afectó la altura de planta del cultivo hidropónico.

Se evaluó el efecto del tiempo de cosecha (8, 10 y 12 días después de la germinación) en el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico (FVH). La mayor concentración de proteína cruda (PC) se observó el día 10 (21,49%), mientras que las concentraciones de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) incrementaron ($p < 0,05$) conforme avanzó el día de cosecha. La degradación de la fracción soluble de la materia seca (MS) (a) fue mayor el día 8 y disminuyó al aumentar el día de la cosecha, mientras que la fracción lentamente degradable (b) aumentó. Igual comportamiento se registró en los parámetros de degradación de la proteína. La digestibilidad de materia orgánica (DMO) fue mayor el día 10 ($p < 0,05$). La producción de las fracciones a y b fue diferente ($p < 0,05$) entre los días de cosecha, mientras que la tasa constante de producción de gas y el contenido de energía metabolizable fueron mayores el día 10. El FVH de trigo a los 10 días después de germinado presenta mayor contenido de proteína y energía que a los 8 y 12 días, lo cual favorece su empleo en la nutrición de rumiantes (Herrera-Torres et al., 2010).

Se evaluó la altura de la planta (AP) de cada cultivo para cada sistema productivo. Además, se determinó la producción de biomasa, la proteína cruda (PC) ($p < 0,05$) y el cociente de la relación beneficio-costos (B/C) para cada sistema y cultivo. La mayor altura se obtuvo en trigo FVH con 17,67 cm y en avena CA con 82,78 cm. En relación con la producción de

biomasa, el trigo FVH alcanzó 23,57 kg/m² de materia verde (MV) o 3,10 kg/m² de materia seca (MS); el resto de tratamientos estuvo por debajo de 13 kg/m² de MV (1,39 kg/m² de MS). El porcentaje de proteína en el trigo CA fue mayor con 19,90%, seguido de avena CA, mientras que el trigo y la avena FVH tuvieron valores de alrededor del 10%. En beneficio-costo, el trigo FVH obtuvo un puntaje mayor de 1,46 frente a la avena FVH (0,67), el trigo CA (0,26) y la avena CA (1,00) (Morales et al., 2020).

El objetivo del estudio fue determinar el efecto del tipo de fertilización (TF), genotipo (G) y días a la cosecha (DC) sobre el rendimiento y calidad nutrimental de forraje verde hidropónico (FVH). Se evaluaron tres tipos de fertilización (TF): orgánica (té de compost), química (solución nutritiva) y sin fertilizar (agua potable) sobre dos genotipos de maíz forrajero (híbrido y criollo) en tres fechas de cosecha (12, 14 y 16 días después de la siembra) (DC). Los resultados indicaron que la calidad del FVH se encuentra dentro de los valores recomendados para su uso en alimentación animal. Los factores evaluados tuvieron un efecto significativo: TF y DC sobre todas las variables, y G sobre PC y FAD. En términos de rendimiento y calidad nutrimental, el FVH fertilizado con té de compost fue similar al fertilizado químicamente, excepto en el caso de la FAD. A los 16 días de cosecha, el FVH mostró efectos positivos sobre el rendimiento, MS, FAD y FND. El maíz híbrido superó al criollo en todas las variables evaluadas (Salas-Pérez et al., 2010).

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de la unidad experimental

El experimento se realizó en El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador, con coordenadas 0°13'32.0"S, 79°29'23.0"W, a 3 kilómetros de El Carmen en la vía El Carmen-Pedernales.

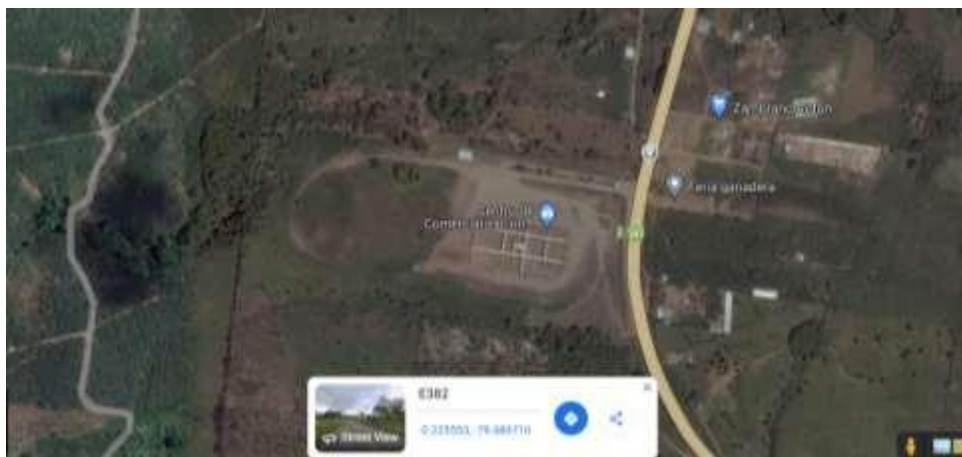


Figura 3. Ubicación y coordenadas de la zona del experimento

Nota. Tomado de Google Maps (2024).

3.2 Caracterización climatológica de la zona

El experimento se realizó en la localidad de El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador, la cual presenta un clima de tipo Trópico Húmedo. Las condiciones edafoclimáticas de esta zona se caracterizan por una temperatura promedio de 24°C y una humedad relativa del 86%. La heliación anual es de 1026,2 horas de luz al año, con una precipitación media anual de 2659 mm. La altitud de la zona es de 249 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Tabla 9. Características climatológica de la localidad

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	86%
Heliofanía (Horas luz año ⁻¹)	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

Nota. Tomado de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)

3.3 Método teórico

3.3.1 Enfoque analítico-sintético

Este estudio adoptó un enfoque analítico-sintético, que facilitó la compilación y evaluación de datos provenientes de investigaciones y estudios previos pertinentes al tema. Este método permitió sintetizar la información existente de manera que contribuya significativamente a establecer una base científica sólida para la investigación (Sales y Guimarães, 2017).

3.3.2 Enfoque inductivo-deductivo

Estos métodos permitieron avanzar en la investigación basándose en lo que se ha determinado y consultado previamente en los estudios, de manera que, al finalizar todos los procesos, se pueden obtener conclusiones concretas y específicas derivadas de la investigación (Sarguera et al., 2024).

3.3.3 Método empírico

a. Recolección de datos

La recolección de datos permitió obtener la información cualitativa y cuantitativa necesaria para evaluar las variables dependientes del estudio. Esta información fue fundamental para realizar los análisis estadísticos pertinentes y alcanzar los objetivos de la investigación.

b. Experimentación

Se llevó a cabo mediante la aplicación de los procedimientos definidos en el estudio, incluyendo el cultivo y manejo del forraje verde hidropónico y la administración de las dosis de nutrientes según el plan de campo establecido.

3.4 Variables independientes

- Dosis del fertilizante Orgánico (25 %, 50 % y el 100 %).
- Tipos de Fertilizantes Orgánicos (Amino Tech y Alga Fert).

3.5 Variables dependientes.

- Calidad bromatológica (Fibra cruda, proteína cruda, ceniza, extracto libre de nitrógeno, extracto etéreo y materia seca).
- Producción del forraje fresco (kg/m²).

3.6 Unidad Experimental

La unidad experimental consistió en semillas de trigo (*Triticum*) sembradas en un área de un metro cuadrado (m²) por cada tratamiento, con su respectiva repetición.

3.7 Tratamientos

La unidad experimental estuvo conformada por 21 planchas de 1 m² cada una. Los tratamientos fueron siete y cada uno tuvo tres repeticiones, asegurando así la consistencia y validez de los resultados obtenidos en toda la investigación.

Tabla 10. Disposiciones de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Factor A	Factor B	Dosis
T1	Amino Tech	50%	0,20 ml/m ²
T2	Amino Tech	75%	0,30 ml/m ²
T3	Amino Tech	100%	0,40 ml/m ²
T4	AlgaFert	50%	0,10 ml/m ²
T5	AlgaFert	75%	0,15 ml/m ²
T6	AlgaFert	100%	0,20 ml/m ²
T7	Testigo	0%	0

3.8 Características de las Unidades experimentales

Tabla 11. Características de la unidad experimental

Características de las unidades experimentales	
Superficie del ensayo	32 m ²
kg por m ² de semilla	1 kg
Bandejas por evaluar	21
Repeticiones	3
Número de tratamientos	6
Días a la cosecha	12
Dimensión de nave (galpón)	8x4 m

3.9 Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos, se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de A x B, donde A corresponde a los diferentes tipos de fertilizante y B a las dosis, resultando en 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. Los datos se analizaron con el programa R (4.3.2) versión 2022, evaluando la calidad bromatológica como criterio de clasificación de los factores A y B. Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Tukey

con una significancia del 0,05%. Los datos, cuadros y figuras fueron elaborados en hojas de cálculo de Excel.

Tabla 12. *Esquema de ADEVA*

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	18
Fertilizante (A)	1
Dosis (B)	2
A x B	2
A x B vs. adicional	1
Error	12

3.10 Instrumentos de medición

❖ Materiales

Tijera, lápiz, cuaderno, clavos y tachuelas.

❖ Equipamiento

Tanques de agua, gavetas plásticas, bomba, lona, mangueras, plástico, clavos, tornillos cañas y troncos de madera.

❖ Herramientas

Machete, piola, cavadora, martillos.

❖ Insumos

Semillas de gramíneas, agua.

❖ Equipos eléctricos

Taladro.

3.11 Manejo del ensayo

Se procedió a limpiar el terreno donde se construiría el invernadero. Una vez limpio, se tomaron las dimensiones y se hicieron huecos con una cavadora de una profundidad de un metro para asegurar la firmeza de la estructura. Luego, se introdujeron las columnas con una separación de 4 metros de ancho y 6 metros de largo.

Con la base armada, se colocaron las paredes de plástico y el techo de plástico transparente para permitir mayor entrada de luz. Las paredes de caña fueron forradas con lona verde para una mayor prevención contra los insectos. A continuación, se construyeron las planchas con madera y plástico, con dimensiones de 1 por 7 m.

Para la construcción de las planchas, se hizo el marco de madera; una vez fijo, se clavaron las divisiones respectivas y se tensionó el plástico. Luego, se colocaron los soportes con una inclinación de 20 grados para asegurar un buen escurrimiento del agua.

Para la fumigación, se utilizó una bomba de mochila y se regó manualmente a las horas establecidas, de dos a tres veces por día.

3.11.1 Instalación del sistema de F.V.H.

Las gramíneas fueron distribuidas en las planchas, pero primero se realizó una prueba para asegurarse de que no hubiera encharcamiento en ninguna división, con el fin de ajustar el periodo de riego y el manejo de la boquilla de la bomba.

Una vez completado el período de prueba de 3 días, se procedió a ingresar las semillas de trigo. Se prelavaron 1 kg de semillas para eliminar la mayor cantidad de impurezas y luego se dejaron en remojo durante 12 horas en una solución de agua con cloro (200 ml de cloro en 20 litros de agua). Después del remojo, se realizó un lavado final de las semillas, las cuales se dejaron escurrir durante 12 horas. Posteriormente, se distribuyeron en las planchas y se cubrieron con plástico negro durante 2 días para mejorar la germinación.

Al tercer día, cuando todo el trigo estaba germinando, se procedió a colocarlo en las planchas de madera de un metro cuadrado. Durante los siguientes 10 días, se regaron las semillas y se les aplicó fertilizante regularmente.

Se utilizaron 24 litros de agua para abastecer 7 metros cuadrados durante 12 días, lo que equivale a dos litros diarios. En total, se recolectó aproximadamente un litro y medio de agua en 12 días en 6 metros cuadrados.

Durante el experimento, se realizaban dos frecuencias de riego por aspersión en el forraje hidropónico con una bomba manual. El primer riego se efectuaba a las 8:00 a.m., en el cual se aplicaba únicamente agua. El segundo riego se llevaba a cabo a las 2:00 p.m., en el cual se aplicaban las dosis correspondientes a los tratamientos de fertilización. Esta rutina de riego aseguraba que las plantas recibieran una hidratación adecuada y los nutrientes necesarios en los momentos óptimos del día.

Cuando llegó el momento de la cosecha, a los 10 días, se revisaron las raíces para verificar la ausencia de plagas, y se tomaron muestras en los días correspondientes de cada tratamiento y cada gramínea. Se tomaron 20 muestras para el análisis bromatológico.

Cada muestra se pesó para determinar su peso en materia verde y luego fue enviada al laboratorio para los exámenes proximales respectivos, con el fin de obtener la composición bromatológica de los forrajes y compararlos entre sí.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos como efecto de la interacción entre el factor A (tipos de fertilizantes orgánicos) y el factor B (dosis del 25%, 50% y 100%), además del tratamiento adicional (testigo absoluto).

4.1 Establecer el mejor rendimiento del forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*) con tres niveles de fertilización.

4.1.1 Materia seca (%)

Se observa que existe una diferencia significativa (0,01850) entre la interacción de los tratamientos de los factores y el adicional (testigo). Asimismo, se observa una diferencia estadística entre las interacciones (0,00410), con un coeficiente de variación de 1,25%.

El mayor contenido de materia seca se reporta cuando se utiliza Algafer en interacción con la dosis del 0,2 ml/m², alcanzando el valor más alto de materia seca (21,25%), mientras que el menor contenido se registra con Aminotech (0,1/m²), con un contenido de 18,25%. La media del tratamiento adicional (control) en cuanto a contenido de materia seca es del 21,5%. Las letras minúsculas de las columnas demuestran que sí existe diferencia estadística entre las diferentes dosis aplicadas.

Tabla 13. Contenido de Materia Seca (MS) del Forraje Verde Hidropónico de Trigo con Tres Dosis Diferentes y Dos Biofertilizantes, más un Testigo Absoluto

	MS (%)		
	Dosis		
Biofertilizantes	50%	75%	100%
Algafert Eco	21,25 B a	19,39 A b	19,37 A ab
Aminotech	18,25 A a*	20,50 A b	19,53 B ab
Adicional	21,5 *		
Valor p ^{interacción}	0,00410		
Valor p ^{interacción vs adicional}	0,01850		
CV (%)	1,25%		

Leyenda: letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), * significancia de Dunnett a 0,05

Cedeño, (2023) encontró que la materia seca del trigo a los 10 días de cosecha fue de 18,79% y a los 14 días fue de 18,0%. Dichos resultados coinciden con los encontrados en el presente estudio, con la diferencia de que dicho autor no aplicó ninguna solución nutritiva.

4.1.2 Producción de forraje (kg/m²)

En cuanto a la producción de forraje en kg/m², se encontró que el tratamiento con Algafert Eco reporta la media más alta de forraje en todas las dosis, siendo superior cuando se aplica 0,20 ml/m², con una media de 9,39 kg/m². La menor producción de forraje de trigo se obtiene con el tratamiento control, que reporta 7,0 kg/m². Dichos resultados son inferiores en comparación con todas las interacciones de los tipos de fertilizantes y las dosis aplicadas.

Tabla 14. producción de materia verde (kg/m²) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto

	FV (kg/m ²)		
	Dosis		
	50%	75%	100%
Biofertilizantes			
Algafert Eco	8,18 B a	8,31 A ab	9,39 A ab *
Aminotech	7,13 A a	7,15 A ab	7,73 B ab
Adicional		7,0 *	
Valor p <i>interacción</i>		0,0001	
Valor p <i>interacción vs adicional</i>		0,00230	
CV (%)		3,33%	

Leyenda: letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), * significancia de Dunnett a 0,05

Albert et al. (2016), encontró que la producción de forraje por m² de trigo es de 8,18 kg/m² a los 10 días y de 10,73 kg/m² a los 12 días. Dichos valores son similares a los encontrados en el presente estudio. De acuerdo con Tarrillo (2008), a partir de 1 kg de semilla se puede producir una masa forrajera de 6 a 8 kg, consumible en su totalidad.

4.2 Analizar las mejores características bromatológicas del forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*) con tres niveles de fertilización.

4.2.1 Proteína (%)

Se encontró que existen diferencias significativas entre la interacción de los tratamientos del factor A \times B y el testigo absoluto, reportando un p=0.0001. A su vez, las interacciones del factor A (fertilizantes) y el factor B (dosis) también reportaron diferencias significativas p=0.0001p = 0.0001p=0.0001, con un coeficiente de variación de 1,23%.

En el caso del biofertilizante Algefert, se reporta la media más alta de proteína a mayor dosis, alcanzando un 24,32%. También se observa que, a medida que se incrementa la dosis, se eleva el contenido de proteína. La concentración más baja de proteína se observa cuando se aplica Aminotech, con un 21,42%. El tratamiento adicional reporta una media de 18,3% de proteína.

Tabla 15. Contenido de proteína (PC) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto

	Proteína (%)		
	Dosis		
Biofertilizantes	50%	75%	100%
Algefert Eco	19,13 B c*	24,23 A b*	24,32 A a*
Aminotech	21,42 A b*	22,66 B a*	21,42 B a*
Adicional	18,30 *		
Valor p <i>interacción</i>	0,0001		
Valor P <i>interacción vs adicional</i>	0,0001		
CV (%)	1,23%		

Leyenda: letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), * significancia de Dunnett a 0,05.

Tarrillo (2007), considera que el parámetro normal en producción hidropónica en cuanto a la proteína bruta (PB) se encuentra entre 12% y 25%, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación. Cedeño (2023) encontró que a los 10 días el contenido proteico del trigo es de 20,85 %, estos resultados van de la mano con los encontrados en el presente estudio.

4.2.2 Extracto etéreo (%)

Se observa que no existe diferencia significativa entre la interacción y el adicional, reportando un valor de $p=0.8566$, para la variable extracto etéreo. En cuanto a la interacción de los factores sin el adicional, sí se encuentran diferencias significativas, siendo el tratamiento con Algefert el que reporta el mayor contenido de extracto etéreo (3,79 %) a una dosis de 0,15 ml/m².

Sin embargo, Aminotech reporta los valores más bajos en todas las dosis, alcanzando 3,23% en la dosis de 0,20 ml/m².

Eslava y Alix (2021) mencionan que en el trigo se obtuvo un 2,7% de extracto etéreo (EE). En la presente investigación, los datos que reportaron mayor EE fueron del tratamiento T4 (maíz a los 10 días) con un valor de 5,1%. Sin embargo, Cedeño (2023) encontró una

concentración de extracto etéreo de 4,49%. Estos resultados se asemejan a los encontrados en el presente estudio.

Tabla 16. *Contenido de Extracto etéreo (E.E.) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto*

	Extracto etéreo (%)		
	Dosis		
Biofertilizantes	50%	75%	100%
Algafert Eco	3,66 A a	3,79 A a	3,35 A a
Aminotech	3,23 B a	3,60 A a	3,53 A a
Adicional	3,50 *		
Valor p <i>Interacción</i>	0,0272		
Valor p <i>Interacción vs adicional</i>	0,8566		
CV (%)	5,76%		

Leyenda: letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), * significancia de Dunnett a 0,05.

4.2.3 Ceniza (%)

Se observa que no existen diferencias significativas entre el tratamiento adicional y las interacciones, con un valor de $p=0,3038$. El tratamiento adicional reporta una media de ceniza de 3,45%. Sin embargo, las interacciones solas sí reportan diferencias estadísticas ($p=0,0052$), reportando el mayor contenido de ceniza con el biofertilizante Aminotech a una dosis de 0,20 ml/m² (3,73%). El menor contenido de ceniza (3,34%) lo reporta el mismo biofertilizante a una dosis de 0,4 ml/m².

Tabla 17. *Contenido de Ceniza del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto*

	Ceniza (%)		
	Dosis		
Biofertilizantes	50%	75%	100%
Algafert Eco	3,39 A a	3,48 A a	3,60 A a
Aminotech	3,73 B a *	3,60 A a *	3,34 A b
Adicional	3,45*		
Valor p <i>Interacción</i>	0,0052		
Valor p <i>Interacción vs adicional</i>	0,3028		
CV (%)	3,08%		

Leyenda: letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), * significancia de Dunnett a 0,05.

Cedeño (2023) reporta un contenido de ceniza a los 10 días de 2,92%. Estos contenidos son inferiores a los reportados en el presente trabajo, lo que indicaría que las condiciones del experimento al incluir soluciones nutritivas con biofertilizantes incrementan el contenido de ceniza y, por ende, proporcionan esos minerales a los animales.

4.2.4 Fibra (%)

Se observa que sí existen diferencias significativas entre el tratamiento adicional y las interacciones, con un valor de $p=0,0001$. El tratamiento adicional reporta una media de fibra de 10,08%. Se observa que las interacciones de los factores $A \times B$ también reportan diferencias estadísticas, con un valor de $p=0,0001$. Aminotech, a una dosis de 0,40 ml/m², reporta la concentración más alta de fibra con un 12,65%. Sin embargo, el comportamiento de Algafert varía según se incrementa la dosis; su contenido de fibra aumenta, pero no supera la concentración de fibra de Aminotech a su máxima dosis.

Tabla 18. *Contenido de Fibra Bruta (FB) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto*

	Fibra (%)		
	Dosis		
Biofertilizantes	50%	75%	100%
Algafert Eco	11,26 B c	11,85 A b	12,36 B a
Aminotech	11,75 A b	11,21 B c	12,65 A a
Adicional	10,08*		
Valor p <i>Interacción</i>	0,0001		
Valor p <i>Interacción vs adicional</i>	0,0010		
CV (%)	2,48%		

Leyenda: letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), * significancia de Dunnett a 0,05.

Jiménez (2013), indica que, en cuanto a la fibra, el máximo porcentaje de fibra en trigo se registró a los 25 días, siendo de un 17,60% en base seca. Paquiyaury y Quispe (2013) mencionan que el promedio de fibra obtenido de la cebada fue de 12,95%. Los datos de Cedeño (2023) fueron mayores para el arroz a los 14 días, reportando un 20%.

4.2.5 E.L.N.N (%)

Se observa que sí existen diferencias significativas entre el tratamiento adicional y las interacciones, con un valor de $p=0,0001$. El tratamiento adicional reporta una media de extracto libre de nitrógeno (ELN) de 64,62%, siendo esta la media más alta. Se observa que las

interacciones de los factores A × B también reportan diferencias estadísticas, con un valor de $p=0,0001$. El biofertilizante Algafert, a una dosis de 0,10 ml/m², reporta la media más alta de las interacciones con un 62,44% de ELN. Se observó también que, según se incrementa la dosis de los biofertilizantes, el contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) decrece.

Tabla 19. *Contenido de Extracto Libre No Nitrogenado (E.L.N.N) del forraje verde hidropónico de trigo con tres dosis diferentes y dos biofertilizantes, más un testigo absoluto*

	E.L.N.N (%)		
	Dosis		
Biofertilizantes	25%	50%	100%
Algafert Eco	62,44 A a	56,74 B b	56,40 B b
Aminotech	59,85 B a	58,85 A b	56,85 A c
Adicional	64,62*		
Valor p <i>Interacción</i>	0,0052		
Valor p <i>interacción vs adicional</i>	0,3028		
CV (%)	3,48%		

Leyenda: letras iguales, minúsculas en la columna y mayúsculas en la línea, no difieren según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Cedeño (2023) reportó que el trigo a los 10 días tiene un valor de 63,11% de ELN, datos que son similares a los encontrados en el presente estudio. Por lo tanto, el trigo es una fuente rica de energía, cumpliendo así con los requerimientos esenciales para alimentar tanto a monogástricos como a poligástricos.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES

Se concluye que el tratamiento con Algafert Eco a una dosis de 0,2 ml/m² presenta los resultados más favorables en el rendimiento del forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum*). Este tratamiento alcanza un contenido de materia seca del 21,25% y la media más alta de producción de forraje, con 9,39 kg/m². Estos resultados demuestran la efectividad de utilizar biofertilizantes, como Algafert Eco, para mejorar tanto la calidad como la cantidad de la producción de forraje.

En cuanto al análisis bromatológico, se encontró que el biofertilizante Algafert presenta los resultados más favorables en diferentes parámetros: alcanza un 24,32% de proteína a una dosis de 1 ml/m², el mayor contenido de extracto etéreo con un 3,79% a una dosis de 1,5 ml/m² y un contenido energético de 62,44% a una dosis de 1 ml/m². Por otro lado, el biofertilizante Aminotech, a una dosis de 0,20 ml/m², reporta un contenido de ceniza de 3,73% y a una dosis de 0,40 ml/m² muestra la concentración más alta de fibra con un 12,65%.

CAPITULO VI

6 RECOMENDACIONES

Dado que Algafert presentó los resultados más favorables en términos de proteína, extracto etéreo y contenido energético, se recomienda utilizar Algafert para optimizar la calidad nutricional del forraje verde hidropónico de trigo.

Es crucial ajustar las dosis de biofertilizantes de acuerdo con los objetivos específicos de producción

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, G., Alonso, N., Cabrera, A., Rojas, L., y Rosthoj, S. (2016). Evaluación Productiva Del Forraje Verde Hidropónico De Maíz, Avena Y Trigo. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6(1), 7-10. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.01.7-10>
- Allison, C. D. (1985). Factors Affecting Forage Intake by Range Ruminants: A Review. *Journal of Range Management*, 38(4), 305. <https://doi.org/10.2307/3899409>
- Argentel-Martínez, L., Garatuza-Payán, J., Armendáriz Ontiveros, M. M., Yépez, E. A., Arredondo, J. T., y González-Aguilera, J. (2017). Estrés térmico en cultivo del trigo. Implicaciones fisiológicas, bioquímicas y agronómicas. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 57-67.
- Biorizon. (2020). *El bioestimulante más efectivo del mercado para cultivos* (p. 5).
- Borja, T. C., y Perlará, R. M. (2009). Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. *Revista Bioetnia*, 6(2), 127-134.
- Carabali, F. (2024). *Calidad de forraje verde hidropónico de Lens culinaris (lenteja) con tres soluciones nutritivas a tres edades de corte* [Tesis de Grado]. Universidad Laica “Eloy Alfaro” De Manabí Extensión El Carmen.
- Cardenas, E. A. V., y Huanca, P. P. (2023). Viabilidad técnica en producción de forraje verde hidropónico en base a cebada (*Hordeum vulgare*) costa central-Perú. *Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias-RLCA*, 1(1), 15-30.
- Castillo, W. L., Lombardi, C., y Miranda, C. I. (2015). Efecto del suministro de nutrientes en la producción de forraje de cebada hidropónico y su uso en el desempeño productivo de cuyes. *PUEBLO CONTINENTE*, 24(2), Article 2.
- Cedeño, L. (2023). *Calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de tres tipos de gramíneas a tres edades de corte para la suplementación alimenticia animal* [Tesis]. Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabi.
- Contreras P, J. L., Tunque Q, M., y Cordero F, A. G. (2015). Rendimiento Hidropónico de la Arveja con Cebada y Trigo en la Producción de Germinados. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 26(1), 9-19. <https://doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10910>
- Córdova, C. S. (2022). *Evaluación de la digestibilidad in vivo de tres especies de forraje verde hidropónico en cobayos de engorde* [Tesis de Grado, Universidad Estatal de Bolívar.]. <https://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/4181/1/TESIS%20MVZ%20SILVAN%20CORDOVA.pdf>
- EOS, D. A. (2023, julio 14). *Cultivo De Trigo: Técnicas De Siembra, Manejo Y Cosecha*.

<https://eos.com/es/blog/cultivo-de-trigo/>

- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., y González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257-282.
- Falla, M. I., y Meoño, L. F. (2023). *Valoración nutricional y sensorial de una barra alimenticia enriquecida con microalga espirulina (Spirulina platensis)* [Tesis de Grado, Universidad Nacionali “Pedro Ruiz Gallo”]. file:///C:/Users/User/Downloads/Falla_%20N%C3%BA%C3%B1ez_Mercedes_%20Isabel%20y%20Meo%C3%B1o_Granados_Lily_Fiorella.pdf
- FAO. (2001). *Forraje Verde Hidropónico [Versión PDF]* (p. 63) [Obtenido de Manual Técnico FAO]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf>
- Feliu, F. S. (2008). Extractos de algas en la agricultura. *Recuperado de: https://aef-agronutrientes.org/extractos-de-algas-en-la-agricultura*, 3.
- Fischer, R., Howe, G., y Ibrahim, Z. (1993). Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. I. Grain yield and protein content. *Field Crops Research*, 33(1-2), 37-56.
- Forraje-Verde, H. (2024). *Forraje Verde Hidropónico FVH* [Asesor educativo]. <https://www.facebook.com/ForrajeVerdeHidropónicoFVHeHidroponiaActual>
- García, E. (2007). *Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (Lactuca sativa L. var. Longifolia Compositae) en hidroponía* [Tesis de pregrado)]. Universidad Rafael.
- Google Maps. (2024). *ubicación geográfica del ensayo* [Ubicación geográfica del ensayo]. <https://www.google.com/maps/@-0.2643624,-79.4325654,6978m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4?entry=ttu>
- Grageda-Cabrera, O. A., González-Figueroa, S. S., Vera-Núñez, J. A., Aguirre-Medina, J. F., y Peña-Cabriales, J. J. (2018). Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 281-289.
- Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra latinoamericana*, 17(3), 221-229.
- Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Ríos-Rincón, F. G., Reyes-Estrada, O., y Bernal-Barragán, H. (2010). Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia*, 35(4), 284-289.
- Hosainy, A., Hoseini, H., PourMirzayi, H. R., y Fazaeli, H. (2015). Performance of fattening

- lambs fed hydroponic barley green fodder. *Animal Sciences Journal*, 28(106), 157-168.
<https://doi.org/10.22092/asj.2015.101357>
- Huterwal, G. (1960). *Cultivo de plantas sin tierra* (3ªed, Vol. 1). Editorial Hobby.
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.
- Jiménez, J. (2013). *Producción de forraje verde hidropónico de trigo y cebada, en diferentes épocas de cosecha en la quinta experimental punzara* [Tesis de Grado]. Universidad de Loja.
- Juárez-López, P., Morales-Rodríguez, H. J., Sandoval-Villa, M., Danés, A. G., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R., Aguirre-Ortega, J., Alejo-Santiago, G., y Ortiz-Catón, M. (2013). *Producción de forraje verde hidropónico*. 13.
- Juárez-López, P., Morales-Rodríguez, H., Sandoval-Villa, M., Gómez, A., Cruz-Crespo, C., y Juárez-Rosete, R. (2019). Evaluación de densidades de siembra en maíz, arroz y frijol vigna en la producción de forraje verde hidropónico. *Revista investigaciones agropecuarias*, 1(2), 15-27.
- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: Siembra y producción de pasturas*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., y Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121-126.
- López-Anchondo, A. N., López-Ortiz, C. E., Mejía-Hernández, C. M., y López-de-la-Cruz, D. (2016). Hidroponía una alternativa sustentable para el cultivo sin suelo: Características y aspectos básicos. *Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente*, 4, 31-54.
- Lozano, W. (2023). *Producción de forraje verde hidropónico de trigo (Triticum sativum), avena (Avena sativa) y cebada (Hordeum vulgare) bajo efecto de invernadero en San Miguel – Cajamarca* [Tesis de Grado, Universidad Nacional De Cajamarca].
<http://190.116.36.86/bitstream/handle/20.500.14074/5810/TESIS%20%20%20WILDER%20LOZANO%20ROMERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Macay-Anchundia, M. Á., Pesantez-Muñoz, M. J., Cevallos-López, V. C., y López-Mejía, F. X. (2024). Caracterización de la producción de *Megathyrus maximus* (Jacq.) BK Simon y *SWL Jacobs* y *Urochloa decumbens* (Stapf) RD Webster en pastoreo con caprino. *Pastos y Forrajes*, 47.
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, Ma. E., Universidad Autónoma Chapingo, Cristobal-

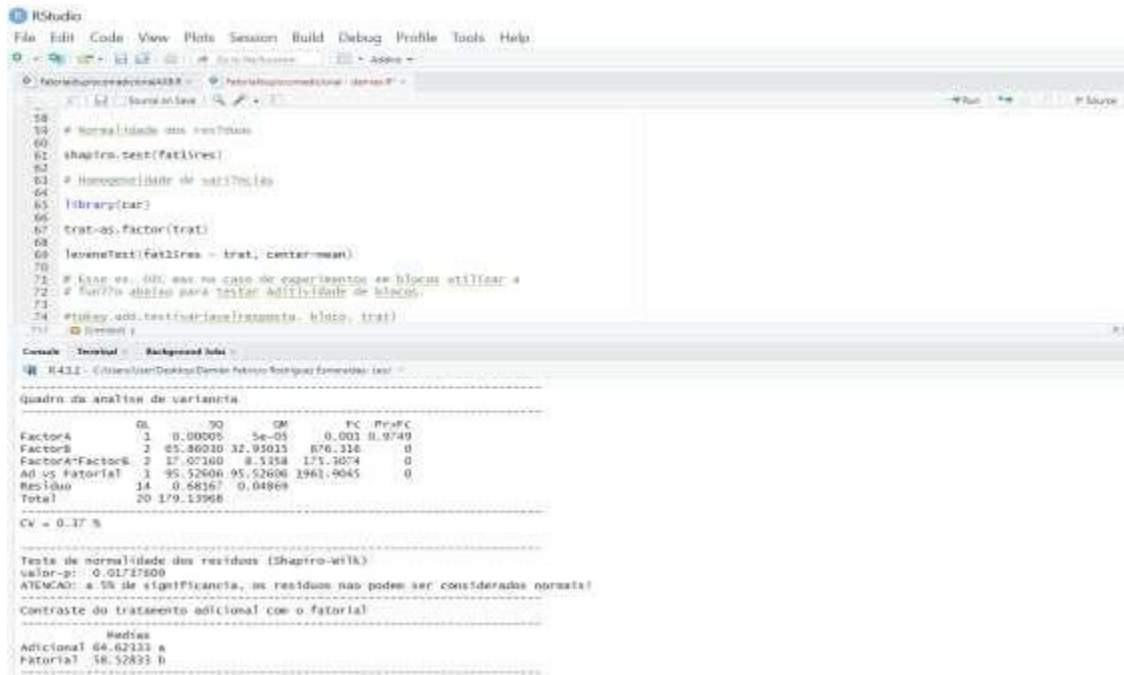
- Acevedo, D., Universidad Autónoma Chapingo, Ríos-Sánchez, E., y Universidad Autónoma Chapingo. (2013). Mineral Nutrition of hidroponic green forage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIX(2), 211-223. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>
- Mejía-Castillo, H. J., y Orellana Núñez, F. S. (2019). Forraje verde hidropónico: Una alternativa de producción ante el cambio climático. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 5(9), 1103-1120. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7947>
- Morales, D. B., Jiménez, L. S., Burneo, J. I., y Capa, E. D. (2020). Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-16. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386
- Moreno, I., Ramírez, A., Palma, R., y Iglesias, L. (2001). El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 55-67.
- Muller, L., Manfron, P., Santo, O., Medeiros, S., Haut, V., Dourado, D., Binotto, E., y Banderia, A. (2005). Producción y composición bromatológicas de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L) con diferentes densidades de siembra y días de cosecha. *Brasil. Zootecnia Tropical*, 23(2), 105-119.
- Núñez-Torres, O. P., Lozada-Salcedo, E. E., Rosero-Peñaherrera, M. A., Cruz-Tobar, E. S., y Aragadvay-Yungan, R. G. (2017). Evaluación de avena hidropónica (*Arrhenatherum elatius*) en la alimentación de conejos en la etapa de engorde. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(1), 59-71.
- Núñez-Torres, O. P., y Rodríguez-Barros, M. A. (2019). Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(1), 24-37.
- Ñíguez, M. (1988). *Producción de forraje en condiciones de hidroponía II. Selección de especies y evaluación de cebada y trigo* [Tesis de Grado]. Universidad de Concepción.
- Olesen, I., Groen, A., y Gjerde, B. (2000). Definition of animal breeding goals for sustainable production systems. *Journal of Animal Science*, 78(3), 570-582.
- Pérez, L. S., Rivera, J. R. E., Rangel, P. P., Reyna, V. de P. Á., Velázquez, J. A. M., Martínez, J. R. V., y Ortiz, M. M. (2012). Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia*, 37(3), 215-220.
- Ramírez-Viquez, C., y Soto-Bravo, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 79-91.
- Rivera, A., Moronta, M., González-Estopiñán, M., González, D., Perdomo, D., García, D. E., y

- Hernández, G. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia tropical*, 28(1), 33-41.
- Rojas, J. L. M., Viramontes, U. F., Wong, J. A. C., y Gil, A. P. (2006). Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación sorgo-trigo para forraje. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 6(2), 145-152.
- Romero, M. E., Córdova, G., y Hernández, E. O. (2009). Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Universitaria*, 19(2), 11-19.
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. de P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., y Márquez-Hernández, C. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 355-360.
- Sales, R. de, y Guimarães, J. A. C. (2017). O método analítico-sintético de Julius Kaiser: Um pioneirismo para o tratamento temático da informação. *Transinformação*, 29, 125-139. <https://doi.org/10.1590/2318-08892017000200001>
- Salvador-Castillo, J. M., Bolaños-González, M. A., Cedillo-Aviles, A. K., Vázquez-Chena, Y., Varela-de Gante, S. A., y Meza-Discua, J. L. (2022). Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de Avena sativa y *Hordeum vulgare*. *Terra Latinoamericana*, 40.
- Sánchez Del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. del C., Contreras-Magaña, E., y Morales Gómez, 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.
- Sarguera, R. B., Montero, A. R. C., y Quinter, A. P. (2024). El método inductivo-deductivo es solo una entelequia filosófica. *Revista Cubana de Educación Superior*, 43(2 may-ago), 261-279.
- Silva, L. (2013). *Tratamiento pre germinativo de las semillas de trigo (Triticum sativum), avena (Avena sativa) y cebada (Hordeum vulgare) en cultivos hidropónicos* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10545/1/Tesis-103%20%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20327.pdf>
- Soto, M. A. C., Reyes, A. S. J., Ahumada, J. A. R., Cervantes, M. G., Lozano, R. G. R., y Barragán, H. B. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*, 37(12), 906-913.
- Soto-Bravo, F., y Ramírez-Viquez, C. (2018). Efecto de la nutrición mineral en el rendimiento y las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz. *Pastos y Forrajes*, 41(2), 106-113.

- Tarrillo, H. (2007). *Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal* [Forraje Hidropónico E.I.R].
- Temple, D., y Manteca, X. (2020). Animal Welfare in Extensive Production Systems Is Still an Area of Concern. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 545902. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.545902>
- Valle, N. S. (2022). *Evaluación agronómica del Trigo (Triticum aestivum L) y Maíz (Zea mays) con el método de cultivo forraje verde hidropónico, bajo las condiciones de la amazonia ecuatoriana*. [Tesis de Maestría, Universidad Estatal Amazónica]. https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/1125/1/Valle_Nancy.pdf
- Valverde-Lucio, Y., Ayón-Villao, F., Orlando-Indacochea, F., Alcívar-Cobeña, J. L., y Gabriel-Ortega, J. (2018). Producción de tres variedades de Forraje verde hidropónico con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(2), 120-126.
- Vargas-Martínez, A. (2008). *Evaluación productivo-ambiental de dos genotipos de maíz (Zea mays L.) en forraje verde hidropónico bajo invernadero* [Tesis de Maestría]. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Durango.
- Vargas-Rodríguez, C. F. (2007). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19(2), 233. <https://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>
- Vega, R., y Quispe, W. (2008). *Guía y Manual de Producción de forraje verde Hidropónico* (p. 12). Doble Creativa.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., y Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.

8 ANEXOS

Anexo 1. *análisis estadístico del diseño de bloques completamente al azar A x B más el adicional en el programa RStudio*



```
18 # Normalidade dos resíduos
19
20 # Shapiro-Wilk
21 shapiro.test(fat1$res)
22
23 # Homocedestade de variâncias
24 library(lme4)
25 trat<-as.factor(Trat)
26
27 lmerTest(fat1$res ~ trat, center=mean)
28
29 # Caso ex. 001, em caso de experimentos se hipoc utilizar a
30 # função abaixo para testar Aditividade de blocos.
31 #
32 #library(add.testforindependence.blocos.trat)
33 #
34 #
35 #
```

Quadrante de análise de variância

	GL	SQ	CM	FC	Pr>F
FactorA	1	0.00005	5e-05	0.001	0.9749
FactorB	2	25.86010	12.93005	0.76	0.48
FactorA:FactorB	2	17.00360	8.50180	1.71	0.074
Ad vs Fatorial	3	95.52606	47.76303	1.961	0.045
Resíduo	14	0.68167	0.04869		
Total	20	179.13968			

CV = 0.17 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk)

valor-p: 0.01778209

ATENÇÃO: a 5% de significância, os resíduos não podem ser considerados normais!

Contraste do tratamento adicional com o fatorial

	Medias
Adicional	64.62133 a
Fatorial	58.52833 b

Anexo 2. *Siembra del forraje hidropónico de trigo 3 días en oscuridad*



Anexo 3. *Día 3 después de sembrar en cada una de las bandejas 1 kg de semilla de trigo y primera aplicación de los biofertilizantes*



Anexo 4. *Forraje verde hidropónico de trigo a los 10 días*



Anexo 5. *cosecha del forraje*



Anexo 6. *Envío de las muestras para su análisis bromatológico*



Anexo 7. *Análisis bromatológico de los tratamientos*

AGROLAB
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AGROPECUARIO

RESULTADOS: ANÁLISIS DE BROMATOLÓGICO

Datos del cliente		Referencia	
Cliente:	Sr. DAMIÁN FABRICIO RODRÍGUEZ	Número Muestra:	8536
		Fecha Ingreso:	16/7/2024
Tipo muestra:	FORRAJE HIDROPÓNICO DE TRIGO	Impreso:	24/7/2024
Identificación:	TESTIGO / R1	Fecha entrega:	26/7/2024

BASE	COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA					
	HUMEDAD	PROTEINA	EXT. ETereo	CENIZA	FIBRA	E.L.N. OTROS
	%	%	% Grasa	%	%	%
Húmeda	77,13	4,16	0,77	0,75	2,29	14,89
Seca		18,20	3,38	3,29	10,01	65,12

RESULTADOS: ANÁLISIS DE BROMATOLÓGICO

Datos del cliente		Referencia	
Cliente :	Sr. DAMIÁN FABRICIO RODRÍGUEZ	Número Muestra:	8542
		Fecha Ingreso:	16/7/2024
Tipo muestra:	FORRAJE HIDROPÓNICO DE TRIGO	Impreso:	24/7/2024
Identificación:	T3 - 100% AMIND TECH / R1	Fecha entrega:	26/7/2024

BASE	COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA					
	HUMEDAD	PROTEINA	EXT. ETereo	CENIZA	FIBRA	E.L.N.N OTROS
	%	%	% Grasa	%	%	%
Húmeda	81,17	4,36	0,73	0,66	2,39	10,69
Seca		23,17	3,87	3,49	12,70	56,77

RESULTADOS: ANÁLISIS DE BROMATOLÓGICO

Datos del cliente		Referencia	
Cliente :	Sr. DAMIÁN FABRICIO RODRÍGUEZ	Número Muestra:	8546
		Fecha Ingreso:	16/7/2024
Tipo muestra:	FORRAJE HIDROPÓNICO DE TRIGO	Impreso:	24/7/2024
Identificación:	T5 - 50% ALGA FER / R1	Fecha entrega:	26/7/2024

BASE	COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA					
	HUMEDAD	PROTEINA	EXT. ETereo	CENIZA	FIBRA	E.L.N.N OTROS
	%	%	% Grasa	%	%	%
Húmeda	80,18	4,63	0,79	0,65	2,34	11,21
Seca		24,38	3,97	3,29	11,80	56,56

NOTA: Los datos de cada uno de los parámetros del análisis están reportados en base húmeda y base seca



Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas Tesis final

10%
Textos
sospechosos

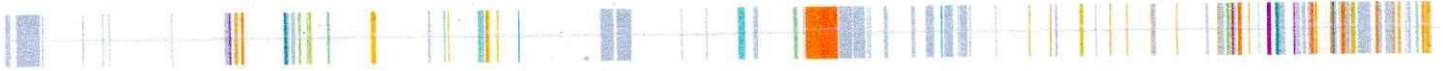
9% Similitudes
0% similitudes entre
comillas (ignorado)
2% entre las fuentes
mencionadas
< 1% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Damián Fabricio Rodríguez Esmeraldas Tesis final.docx
ID del documento: 540ec81113dcb2252a2994f24f1e9328ff3b5712
Tamaño del documento original: 6,8 MB

Depositante: David Vera Bravo
Fecha de depósito: 30/7/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 30/7/2024

Número de palabras: 13.613
Número de caracteres: 90.171

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	scielo.org.co http://scielo.org.co/pdf/ccta/v21n3/es_0122-8706-ccta-21-03-1386.pdf 87 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (461 palabras)
2	TESIS Compilatio Carabali Frixon.docx TESIS Compilatio Carabali Frixon #986d5a El documento proviene de mi grupo 8 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (417 palabras)
3	Tesis Cedeño Lenin Compilatio.docx Tesis Cedeño Lenin Compilatio #5533be El documento proviene de mi grupo 4 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (377 palabras)
4	TESIS FINAL Axel Cevallos.docx TESIS FINAL Axel Cevallos #r500db El documento proviene de mi grupo 7 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (294 palabras)
5	www.redalyc.org https://www.redalyc.org/journal/573/57371833004/57371833004.pdf 73 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (242 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	es.slideshare.net TESIS CHILE PIMIENTO HIDROPÓNICO URL PDF https://es.slideshare.net/AlexAntonio6/Informe-final-tesis-evaluacion-de-sustrato	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	repositorio.uileam.edu.ec https://repositorio.uileam.edu.ec/bitstream/123456789/51337/1/UILEAM-AGRO-0232.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
3	universidadagricola.com El forraje verde hidropónico (FVH) como tecnología apta... https://universidadagricola.com/el-forraje-verde-hidroponico-fvh-como-tecnologia-apta-para-peque...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
4	www.doi.org https://www.doi.org/10.5897/AJMR2012.2326	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
5	repositorio.unc.edu.pe https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4177/T016_71463282_T.pdf?sequence...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)

Fuentes ignoradas

Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	revistacta.agrosavia.co Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hid... https://revistacta.agrosavia.co/html/1386/	3%		Palabras idénticas: 3% (461 palabras)
2	doi.org Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y conv... https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art.1386	3%		Palabras idénticas: 3% (461 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://doi.org/10.2307/3899409>
- <https://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf>
- <https://aefa-agronutrientes>
- <https://www.facebook.com/ForrajeVerdeHidroponicoFVHeHidroponiaActual>
- <https://www.google.com/maps/@-0.2643624>

