

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



TESIS:

**Rendimiento de forraje verde hidropónico de *Avena sativa*
“avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo”
en tres condiciones nutricionales, Ayacucho - 2024**

Para optar el título profesional de:
BIÓLOGO, ESPECIALIDAD: BIOTECNOLOGÍA

PRESENTADO POR:
Bach. Christian Hansel ALEJANDRO AYALA

ASESORA:
Mg. Paula GARCÍA GODOS ALCÁZAR

COASESOR:
Mg. Reynán CONDOR ALARCÓN

AYACUCHO - PERÚ

2025

A mis padres Maritza B. Ayala Salazar y Ramiro J. Alejandro Tolentino por ser quienes estuvieron a mi lado en toda mi formación académica y ser quienes han ayudado a construir la persona que ahora soy.

A mi hija Kiara, hermanos y Diana quienes me apoyaron y son el pilar de mis logros.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme acogido y ser parte de ella, también a los diferentes docentes que impartieron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología, Especialidad de Biotecnología, por enseñarme conocimientos que me ayudarán a trazar un mejor futuro como profesional.

A mi asesora, Mg. Paula García Godos Alcázar, por su valioso apoyo y constante orientación, que posibilitó concluir satisfactoriamente la ejecución de la investigación.

A mi co-asesor Mg. Reynán Condor Alarcón, por el gran respaldo brindado para lograr esta nueva meta, impartíendome sus conocimientos, los cuales hoy se ven reflejados en la culminación eficaz del presente trabajo de investigación.

A mis padres Ramiro José Alejandro Tolentino y Maritza Beatriz Ayala Salazar, por brindarme su apoyo incondicional y facilitarme el invernadero convencional para poder realizar el presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

	Página
CARÁTULA	I
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
RESUMEN	XIX
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. MARCO CONCEPTUAL	7
2.2.1. Origen de la hidroponía	7
2.2.2. Hidroponía	8
2.2.3. Forraje verde hidropónico (FVH)	8
2.2.4. Factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico	9
2.2.5. Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico	11
2.2.6. Microorganismos eficaces (EM)	12
2.2.7. Ventajas del uso de microorganismos eficaces	15
2.2.8. Solución hidropónica (SH) para la producción de FVH	15
2.2.9. Fertilizantes sintéticos (FS) con N, P y K en la solución nutritiva	17
2.2.10. <i>Triticum aestivum</i> . var. Gavilán “trigo”	19
2.2.11. <i>Hordeum vulgare</i> . var. UNA- 80 “cebada”	21
2.2.12. <i>Avena sativa</i> . var. INIA 901- Mantaro 15 “avena”	22
2.2.13. Biomasa	24
2.2.14. Conformación de la biomasa aérea	24
2.2.15. Conformación de la biomasa radicular	24
2.2.16. Atura de la planta	24
2.2.17. Rendimiento	24
2.2.18. Marcos Normativos	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27

3.1. Localización del lugar de estudio	27
3.1.1. Ubicación geopolítica	27
3.1.2. Coordenadas geográficas	27
3.1.3. Mapa de ubicación	28
3.2. Tipo de investigación	29
3.3. Población y muestra	29
3.3.1. Población	29
3.3.2. Muestra	29
3.4. Diseño experimental	29
3.5. Metodología y recolección de datos	31
3.5.1. Instalación del sistema de forraje verde hidropónico	31
3.5.2. Activación de los microorganismos eficaces (EM-1®)	31
3.5.3. Preparación de la solución nutritiva la Molina	32
3.5.4. Preparación del fertilizante sintético	33
3.5.5. Limpieza y desinfección de semillas	33
3.5.6. Evaluación del porcentaje de germinación	34
3.5.7. Pre-germinación	35
3.5.8. Siembra	35
3.5.9. Riego	36
3.5.10. Cosecha y evaluación de variables	37
3.6. Análisis estadístico	38
IV. RESULTADOS	39
V. DISCUSIÓN	57
VI. CONCLUSIONES	69
VII. RECOMENDACIONES	71
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
IX. ANEXOS	81

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Elementos minerales esenciales para las plantas de forraje verde hidropónico.	16
Tabla 2. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo”.	21
Tabla 3. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada”.	22
Tabla 4. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena”.	23
Tabla 5. Tratamientos y variables para la producción de forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena”, <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” y <i>Triticum aestivum</i> “trigo”.	29
Tabla 6. Promedios de los tratamientos aplicados para la evaluación del forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena” utilizando microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.	40
Tabla 7. Promedios de los tratamientos aplicados para la evaluación del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” utilizando microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.	41
Tabla 8. Promedios de los tratamientos aplicados para la evaluación del forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” utilizando microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa político y ubicación del sector de estudio: Tenajeria, distrito de Soras, provincia de Sucre, departamento de Ayacucho.	28
Figura 2. Distribución de unidades experimentales bajo un diseño completamente al azar (DCA) de los 13 tratamientos de <i>Avena sativa</i> “avena”.	30
Figura 3. Distribución de unidades experimentales bajo un diseño completamente al azar (DCA) de los 13 tratamientos de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada”.	30
Figura 4. Distribución de unidades experimentales bajo un diseño completamente al azar (DCA) de los 13 tratamientos de <i>Triticum aestivum</i> “trigo”.	30
Figura 5. Porcentaje de germinación promedio (cuatro repeticiones) de granos de <i>Avena sativa</i> “avena”, <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” y <i>Triticum aestivum</i> “trigo” durante cinco días.	43
Figura 6. Promedio de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.	44
Figura 7. Promedio de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.	45
Figura 8. Promedio del rendimiento (kg/m ²) del forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.	46
Figura 9. Promedio de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.	47

- Figura 10. Promedio de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 48
- Figura 11. Promedio del rendimiento (kg/m²) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 49
- Figura 12. Promedio de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 50
- Figura 13. Promedio de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 51
- Figura 14. Promedio del rendimiento (kg/m²) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 52
- Figura 15. Promedio de la biomasa aérea (kg) en 15 días de los dos mejores tratamientos del forraje verde hidropónico de la avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 53
- Figura 16. Promedio de la biomasa radicular (kg) en 15 días de los dos mejores tratamientos del forraje verde hidropónico de la avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 54
- Figura 17. promedio del rendimiento (kg/m²) en 15 días de los dos mejores tratamientos del forraje verde hidropónico de la avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 55

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Condiciones ambientales en el invernadero durante la producción de forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena” a 3630 m s.n.m. en 15 días.	81
Anexo 2. Condiciones ambientales en el invernadero durante la producción de forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” a 3630 m s.n.m. en 15 días.	82
Anexo 3. Condiciones ambientales en el invernadero durante la producción de forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” a 3630 m s.n.m. en 15 días.	83
Anexo 4. Porcentaje de germinación para la producción de forraje verde hidropónico de la <i>Avena sativa</i> “avena”, <i>Triticum aestivum</i> “trigo” y <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” a los cinco días, con cuatro repeticiones.	83
Anexo 5. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa total (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	84
Anexo 6. Datos del análisis de varianza de la altura de las plantas de <i>Avena sativa</i> “avena” en el rendimiento de FVH en tres condiciones nutricionales.	84
Anexo 7. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa aérea (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	84
Anexo 8. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa radicular (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	84
Anexo 9. Datos del análisis de varianza del rendimiento (kg/m ²) del FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	85
Anexo 10. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa total (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	85

Anexo 11. Datos del análisis de varianza de la altura de las plantas de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en el rendimiento de FVH en tres condiciones nutricionales.	85
Anexo 12. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa aérea (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	85
Anexo 13. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa radicular (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	86
Anexo 14. Datos del análisis de varianza del rendimiento (kg/m ²) del FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” con tres nutrientes.	86
Anexo 15. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa total (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	86
Anexo 16. Datos del análisis de varianza de la altura de las plantas de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en el rendimiento de FVH en tres condiciones nutricionales.	86
Anexo 17. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa aérea (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	87
Anexo 18. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa radicular (kg/0,15 m ²) del FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	87
Anexo 19. Datos del análisis de varianza del rendimiento (kg/m ²) del FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	87
Anexo 20. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa total de FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	88
Anexo 21. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la altura de las plantas del FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	88
Anexo 22. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa aérea de FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	89

Anexo 23. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa radicular de FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	89
Anexo 24. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% del rendimiento (kg/m ²) del FVH de <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	90
Anexo 25. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa total de FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	90
Anexo 26. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la altura de las plantas del FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	91
Anexo 27. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa aérea de FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	91
Anexo 28. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa radicular de FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	92
Anexo 29. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% del rendimiento (kg/m ²) del FVH de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	92
Anexo 30. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa total de FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	93
Anexo 31. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la altura de las plantas del FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	93
Anexo 32. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa aérea de FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	94
Anexo 33. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa radicular de FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	94

Anexo 34. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% del rendimiento (kg/m ²) del FVH de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	95
Anexo 35. Estadístico descriptivo de la biomasa total (kg) del forraje verde hidropónico de la <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	95
Anexo 36. Estadístico descriptivo de la altura de la planta (cm) del forraje verde hidropónico de la <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	96
Anexo 37. Estadístico descriptivo de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de la <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	96
Anexo 38. Estadístico descriptivo de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de la <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	97
Anexo 39. Estadístico descriptivo del rendimiento (kg/m ²) del forraje verde hidropónico de la <i>Avena sativa</i> “avena” en tres condiciones nutricionales.	97
Anexo 40. Estadístico descriptivo de la biomasa total (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	98
Anexo 41. Estadístico descriptivo de la altura de la planta (cm) del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	98
Anexo 42. Estadístico descriptivo de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	99
Anexo 43. Estadístico descriptivo de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	99
Anexo 44. Estadístico descriptivo del rendimiento (kg/m ²) del forraje verde hidropónico de <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” en tres condiciones nutricionales.	100

Anexo 45. Estadístico descriptivo de la biomasa total (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	100
Anexo 46. Estadístico descriptivo de la altura de la planta (cm) del forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	101
Anexo 47. Estadístico descriptivo de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	101
Anexo 48. Estadístico descriptivo de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	102
Anexo 49. Estadístico descriptivo del rendimiento (kg/m ²) del forraje verde hidropónico de <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales.	102
Anexo 50. Constancia de identificación taxonómica de <i>Triticum aestivum</i> L. var. Gavilán.	103
Anexo 51. Constancia de identificación taxonómica de <i>Hordeum vulgare</i> L. var. UNA- 80.	104
Anexo 52. Constancia de identificación taxonómica de <i>Avena sativa</i> L. var. INIA 901 – Mantaro 15.	105
Anexo 53. Vista fotográfica de la Instalación de estantes y bandejas para evaluar el rendimiento de avena, cebada y trigo de FVH en un invernadero convencional en Tenajeria, Soras, Sucre, Ayacucho.	106
Anexo 54. Siembra de semillas de cebada, trigo y avena para evaluar el porcentaje de germinación en un invernadero convencional en Tenajería, Soras, Sucre, Ayacucho.	107
Anexo 55. Activación de Microorganismos Eficaces en un invernadero convencional en Tenajeria, Soras, Sucre, Ayacucho.	108
Anexo 56. Procedimiento y evaluación de variables en la obtención de FVH de la Avena, cebada y trigo en tres condiciones nutricionales en un invernadero convencional.	109

Anexo 57. Observación del desarrollo de FVH en tres condiciones nutricionales de la avena, cebada y trigo a los 15 días.	110
Anexo 58. Observación del desarrollo e inocuidad del tapete radicular en avena, cebada y trigo en tres condiciones nutricionales.	111
Anexo 59. Evaluación de la biomasa en kg/0,15 m ² de la avena cebada y trigo en tres condiciones nutricionales.	112

RESUMEN

La disponibilidad de pastos en las zonas altoandinas constituye una limitante para la alimentación del ganado; por ello, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar el rendimiento del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo”, con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. Se empleó un diseño completamente al azar con trece tratamientos (T1-T13) y cinco repeticiones en bandejas de 0,15 m² en un invernadero convencional, variando nutrientes y frecuencias de riego. Para el análisis estadístico se utilizaron ANOVA y Tukey al 95% para analizar las diferencias entre tratamientos. En la evaluación, se analizaron los tratamientos que lograron rendimientos superiores al tratamiento control en cada especie. Como resultado, la cebada fue la especie que logró el mayor rendimiento a los 15 días, con un promedio de 23,23 kg/m² en el tratamiento T2, al emplear microorganismos eficaces activados al 0,4 % con cuatro dosificaciones. En el trigo destacó el tratamiento T6 mediante el uso de una solución hidropónica con 5 ml de A y 2 ml de B diluidos en un litro de agua, con cuatro dosificaciones, alcanzando 21,05 kg/m². Finalmente, la avena logró 19,93 kg/m² en el tratamiento T12, mediante la aplicación de fertilizante sintético con 2,5 g diluido en 1,5 litros de agua y cuatro dosificaciones. Los resultados evidenciaron que la incorporación de microorganismos eficaces favoreció significativamente el rendimiento del forraje verde hidropónico, especialmente en la cebada, posicionándose como una opción viable y ecológica.

Palabras clave. Forraje Verde Hidropónico (FVH), Solución Hidropónica (SH), Fertilizante Sintético (FS) y Microorganismos Eficaces Activados (ME-A).

I. INTRODUCCIÓN

Producir alimentos verdes para los animales en grandes cantidades es un problema de la actualidad, esto implica aplicar diversos métodos artificiales para producir forraje, como el forraje verde hidropónico que garantiza la seguridad alimentaria de los animales obteniendo mejores cualidades en cuanto a producción (Khaziev et al., 2021). En el Perú la diversidad climática y la baja calidad de los pastos limitan el progreso adecuado de la ganadería, en la sierra los pastos dependen de las precipitaciones pluviales, y la ausencia de lluvias afecta la producción en cantidad y calidad; por este motivo los productores agropecuarios complementan los pastos con alimentos concentrados que en muchas ocasiones suelen ser costosos. El forraje verde hidropónico es un método de producción de biomasa vegetal que se produce de 9 a 15 días, en cualquier época del año, pequeños espacios y con requerimientos mínimos, obteniendo pastos de alta calidad nutricional, buena salubridad, agradable y altamente digerible para los animales (Contreras et al., 2015).

Las condiciones meteorológicas adversas como sequías, heladas e inundaciones frecuentes que vienen aumentando en los últimos años en regiones alto andinas del Perú, tienen un impacto directo en la actividad ganadera (Ministerio del Ambiente- SINIA, 2014). Estos eventos climáticos extremos limitan en largos tiempos la disponibilidad de pastos verdes ocasionando alta mortandad de ganado y animales menores por la nutrición deficiente o falta de pastos para la alimentación animal (Castro, 2025). A nivel nacional la producción de forraje verde hidropónico (FVH) se viene implementando como una alternativa de complemento a la producción convencional de pastos, para amortiguar la carencia de forraje causadas por los diferentes fenómenos climatológicos que van en aumento a medida que pasan el tiempo (Agro Rural, 2014), en nuestra región las

implementaciones de pastos están basados en planes de desarrollo agrario con siembra de pastos a campo abierto (Perú Agro, 2025), que son afectados en épocas de sequía por la falta de agua y heladas constantes que generan una gran pérdida económica a los pequeños productores que soportan la severidad del tiempo atmosférico.

La implementación de tecnologías como el sistema de forraje verde hidropónico es una alternativa para optimizar el sistema pecuario, y demostrar a los pequeños y medianos agricultores que se puede producir pastos de buena calidad en las zonas altonadinas, de manera sustentable y ocupando pequeños espacios, mejorando así su calidad de vida. Por esta razón la siguiente investigación tuvo los siguientes objetivos.

Objetivo general

Evaluar el rendimiento de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo” con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.

Objetivos específicos

- Evaluar la biomasa total del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.
- Determinar la altura del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.
- Estimar la biomasa aérea del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.
- Calcular la biomasa radicular del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.
- Determinar la productividad en kg/m² de forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

En la investigación realizada por Delgado (2016) sobre la producción de *Avena sativa* “avena” como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, menciona que el mayor porcentaje de germinación fue en cinco días a 20°C; la mayor biomasa lo obtuvo con el método FAO resultando 9,60 kg/0,24 m², le siguió el tratamiento de Tarrillo (8,170 kg/0,240 m²) y el tratamiento de la Molina (7,90 kg/0,24 m²) por un kg de semilla invertida. En la variable altura la FAO alcanzó el mejor resultado con 27,4 cm, seguido de La Molina 26,30 cm y Tarrillo con 24,50 cm. En la variable longitud de raíz el método Tarrillo alcanzó un mejor resultado con 3,790 cm; La Molina 3,48 cm y la FAO con 3,310 cm. Concluyendo que los tres métodos son rentables (beneficio- costo mayor a uno) siendo el tratamiento empleado por la FAO el más recomendable para producir forraje verde hidropónico (FVH) ya que alcanzó un mejor resultado estadístico.

De acuerdo con Díaz (2019), se administraron abonos foliares (japaj húmico, 4n-20 y biol) en cebada para evaluar su efecto en el rendimiento del forraje verde hidropónico. Los tratamientos promovieron un crecimiento progresivo de la biomasa vegetal, obteniendo como resultados en cuanto a la altura en los días 6, 8, 12, 16 y 18 de 3,44; 5,70; 10,52; 15,31 y 17,29 cm respectivamente; y respecto a la altura radicular en los días 6, 8, 12, 16 y 18 los resultados fueron 2,20; 3,28; 4,56; 5,69 y 6,19 cm en el orden correspondiente. La biomasa obtenida fue de 2,54 kg por cada 500 g de semilla seca en bandejas de 60x40 cm. Concluyendo que con el tratamiento agua + 4N-20 hay mejores resultados en cuanto a la altura y aumento de la biomasa en la producción de FVH.

Mientras que, en la investigación desarrollada por Flores y Chilon (2019), quienes evaluaron la aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico de dos variedades de cebada (*Hordeum*

vulgare L.), obtuvieron como resultado de que la variedad IBTA 80 registró el mayor tamaño en promedio con 23,04 cm en la dosis de 30% V1D3 y en la variedad criolla el mayor tamaño fue de la dosis 30% con 20,63 cm V2D3. Referente a la longitud de la raíz en promedio destaca la V1D3 con 12,52 cm y 12,52 cm V2T. Registraron que el mejor rendimiento de FVH por metro cuadrado fue de la V1D1 con 17,32 kg/m² por cada 2,33 kg de semilla invertida. Los mejores resultados respecto a la calidad nutricional fueron en nitrógeno total 1,94% en la V2T; contenido de fósforo 0,32% en la V1D1, valor de potasio 75% en la V1D2; contenido de materia orgánica 92,3% en la V1D3; mayor porcentaje de proteína en la V2T con 12,2%; 5% de cenizas en la V1D2; materia seca 14,6% en la V2D1. En el análisis económico preliminar, la variable de rentabilidad en relación al beneficio-costo fue más alta en la V2T, con un valor de 1,62.

De igual manera, Tubon (2022) evaluó la producción y calidad nutritiva de *Arrhenatherum elatius* "avena" de corte e hidropónica. El autor evidenció que el tratamiento T1 logró mayor altura a los 75 días con la densidad de 0,15 kg/m², mientras que en el FVH no se identificó diferencias significativas en cuanto al crecimiento, pero sí respecto al peso, siendo el tratamiento T2 (empleando soluciones nutritivas) con mejores resultados comparados al T3. En la comparación del valor nutritivo el T2 destacó en proteínas, grasas y fibra sin diferencias significativas en los tratamientos T2 y T3. Registró que el tratamiento T2 tuvo mejores resultados en beneficio/costo ganando 0,44 dólares por dólar gastado. Concluyendo que el forraje verde hidropónico tiene mejores índices productivos.

También Bedolla-Torres et al. (2015) realizaron un estudio donde emplearon levaduras de las especies *Debaryomyces hansenii* var. *Fabry*, *Yarrowia lipolytica* YIBCS002, *Yarrowia lipolytica* var. *BCS* y *Candida pseudointermedia* en la producción de forraje verde hidropónico, para evaluar el contenido nutricional de *Zea mays L.* en diferentes fases de crecimiento: semilla- plántula (5 cm) plántula-planta (20 cm). Como resultado todas las levaduras aumentaron el contenido de proteína cruda, cenizas, lípidos, humedad y energía bruta en todas las fases del proceso de forraje verde hidropónico. La cantidad de electrolitos (Na, K, Cl, Ca, Mg y sulfatos) fue diferente de acuerdo a la levadura empleada. Llegando a la conclusión de que al agregar levaduras del género *Debaryomyces*, *Candida* y *Yarrowia* mejoraron la calidad de nutrientes en el cultivo de forraje verde hidropónico.

Así mismo, Morales et al. (2020) evaluaron la producción de forrajes de *Avena sativa* L. “avena” y *Triticum vulgare* L. “trigo” bajo el sistema hidropónico y convencional. Logrando como resultado la mejor altura promedio para FVH en el trigo 17,67 cm y avena 82,78 cm a campo abierto. El rendimiento de biomasa en trigo para FVH fue 23,57 kg/m² de materia verde y 3,10 kg/m² de materia seca. En cambio para la obtención de porcentaje de proteína cruda lograron mejores resultados a campo abierto siendo el trigo mayor a 19,90% seguido de la avena, mientras que en el FVH obtuvieron resultados alrededor del 10%. En cuanto al beneficio costo registraron un puntaje favorable de 1,46 en la producción de FVH de trigo lo que indica que consiguieron un beneficio de 0,46% por dólar invertido, mientras que en los demás tratamientos los valores fueron menores a uno.

En un estudio realizado por Albert et al. (2016), evaluaron el rendimiento productivo de FVH de *Zea mayz* “maíz”, *Avena strigosa* “avena” y *Triticum vulgare* “trigo”, realizaron las evaluaciones en el día 10 y 12, y registraron que la materia verde obtenida en el trigo fue de 8,18 a 10,73 kg/m² siendo superior al de la avena y maíz que fueron 4,49 a 4,96 kg/m² y 3,91 a 4,64 kg/m² para el día 10 y 12 respectivamente. La materia seca obtenida en el día 10, fue mayor en el maíz, avena y trigo respecto al día 12. No encontraron diferencia en los resultados de proteína bruta en ambos días, pero se observó mejores resultados en la avena 24,25%, 25,88% y trigo 21,46%, 22,1% respecto al maíz 12,93%, 12,89%.

Con el propósito de evaluar el efecto de distintas dosis de las soluciones nutritivas A y B, se llevó a cabo un estudio sobre la germinación hidropónica y el valor nutricional de *Hordeum vulgare* “cebada”, desarrollado por Ordoñez et al. (2018). Los resultados mostraron que el tratamiento T3 (A 0,75 ml y B 0,25 ml) alcanzó los mejores efectos en las variables estudiadas excepto el contenido de cenizas, concluyendo que la mezcla de las soluciones nutritivas en las concentraciones de 0,750 ml A y 0,250 ml B fue la más exitosa en la germinación hidropónica de *Hordeum vulgare*.

Los hallazgos desarrollados por Robles (2018) muestran que la sustitución de alfalfa por forraje verde hidropónico de cebada en cuyes en crecimiento produjo resultados interesantes. En su estudio los tratamientos T1 (alfalfa) y T2 (FVH) presentaron resultados similares; mientras que los tratamientos T3 (alfalfa al 10% del peso vivo con alimento balanceado) y T4 (alimento balanceado con FVH de cebada al 10% de su peso vivo) tuvieron mejores resultados. Emplear alfalfa

para el tratamiento en cuyes alcanzó numeración favorable para todos los tratamientos sin diferencias significativas. Evaluando los costos apreció que sale más económico la alimentación solo con forrajes, pero empleando alimentos balanceados se puede acortar el tiempo de producción de cuyes; llegando a la conclusión de que se puede reemplazar la alfalfa por FVH en la producción de cuyes ya que se tiene beneficios como el ahorro de agua, ahorro de espacios y punto ecológico.

En la búsqueda de alternativas sostenibles para la producción agrícola, Machaca (2021) se orientó a evaluar el impacto de distintas concentraciones de microorganismos eficaces en el cultivo de forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Zea mays* “maíz”, los mejores resultados respecto a la altura se observaron en el trigo y cebada con EMa al 0,25%. Con relación al tamaño de la raíz la cebada mostró mayor crecimiento con el tratamiento EMa al 0,25% y EMa 0,50% registrando 8,490 y 8,00 cm respectivamente. La cebada alcanzó un mejor resultado en cuanto al área foliar con el tratamiento EMa 0,25% que fue de 6,81 cm² seguido de 5,81 cm² en trigo y 5,66 cm² en cebada con el tratamiento EMa 0,50%, apreció que los mejores resultados lo obtuvo en la cebada en comparación al trigo y maíz. El rendimiento por metro cuadrado fue de 8,340; 7,490 y 7,250 kg/m² en la cebada con los tratamientos EMa 0,50%; EMa 0,10% y EMa 0,25% respectivamente, seguida del trigo y maíz. Concluyendo que los microorganismos eficaces tienen un mejor rendimiento en las concentraciones EMa 0,50%, y EMa 0,25% en el cultivo de FVH.

Con el objetivo de potenciar el desarrollo de forraje hidropónico en condiciones de invernadero, Jordan (2024) llevó a cabo un estudio en el que evaluó la interacción entre fitohormonas (AIB, AG3 y BAP) y el bioestimulante Agrispon en la producción de forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* L. “cebada” y *Triticum aestivum* L., “trigo”. Empleó seis tratamientos: T₀ (agua como control), T₁ (AIB 0,10 mg/L y AG3 0,50 mg/L), T₂ (AIB 0,10 mg/L y BAP 0,10 mg/L), T₃ (AG3 0,50 mg/L y BAP 0,10 mg/L), T₄ (AIB 0,10 mg/L, AG3 0,50 mg/L y BAP 0,10 mg/L) y T₅ (2,50 ml/L Agrispon) obteniendo como resultado con el T₅ mayor longitud aérea y mayor colchón radicular; mientras que con el T₄ los resultados de biomasa vegetal fue mejor comparado a los otros tratamientos; respecto al estudio del valor nutricional en el T₄ la cebada tuvo mejores resultados continuando con el trigo. Llegando a la conclusión que el empleo de

bioestimulantes como el Agrispon acelera el desarrollo radicular y longitud de las hojas mientras que las fitohormonas mejoran la conversión de la biomasa vegetal y la evaluación nutricional.

Analizando el rendimiento del forraje verde hidropónico (FVH) y su influencia en la ganancia de peso de borregos, Sánchez Del Castillo et al. (2013) llevaron a cabo una investigación utilizando distintas densidades de siembra en trigo y cebada, empleando densidades de 4,7; 5,2 y 5,7 kg/m² para trigo y 3,5; 3,9 y 4,3 kg/m² para cebada. El mejor resultado en trigo fue de la densidad 4,7 kg/m² rindiendo 30,2 kg/m² cuya conversión de semilla a forraje fresco fue de 1 a 6,4; mientras que en la cebada el mejor resultado fue de la densidad 3,5 kg/m² obteniendo 32,8 kg/m² convirtiendo la semilla de 1 a 9,3 de forraje fresco. En cuanto a la ganancia de peso en borregos empleando FVH de trigo más concentrados consiguieron ganancias diarias de peso vivo de 159 g en comparación a un sistema de pastoreo más alimentos concentrados con ganancias de 136 g diarios y solo alimentos concentrados con ganancias de 116 g diarios. Concluyendo que emplear FVH en la ganancia de peso de borregos de raza Pelibuey es una buena alternativa.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Origen de la hidroponía

La hidroponía como técnica de cultivo sin suelo tiene sus orígenes documentados en el siglo XIX, cuando el fisiólogo John Woodward realizó las primeras investigaciones sobre la asimilación de soluciones nutritivas por los árboles, arbustos y vegetales; aunque existen antecedentes históricos de prácticas similares, como los jardines de Babilonia. Posteriormente en los años de 1920 a 1929 el Dr. William Frederick Gericke fisiólogo de la Universidad de Berkeley en California empezó a producir cultivos a campo abierto sin suelo, por esta razón se le considera padre de la hidroponía (López, 2018).

La hidroponía inicia en los océanos primitivos, por tanto es anterior al cultivo en tierras, se piensa que inició en la antigua Babilonia con los Jardines Colgantes, posiblemente siendo uno de los intentos prósperos de sembrar plantas sin tierra; hay antecedentes de que este método fue empleado en la antigua India, China, Egipto, la cultura Maya y también en algunas tribus en el lago Titicaca. Existen

referencias de que en América los primeros en usar la hidroponía como agricultura fueron los Aztecas en el lago Tenochtitlán (Beltrano y Giménez, 2015).

La práctica hidropónica fue empleada en la segunda guerra mundial como autoconsumo en los soldados estadounidenses y británicos; en la actualidad la producción de cultivos hidropónicos va aumentando considerablemente, siendo muy exitosos en países desarrollados y también puede ser empleado con procedimientos muy sencillos en huertos familiares. En el presente el Dr. Gene Giacomelli, de la Universidad de Arizona en Estados Unidos, trabaja en la NASA en un modelo de invernadero para la producción de plantas de manera hidropónica en la Luna y el planeta Marte; en nuestro planeta científicos alemanes lograron producir hortalizas en la Antártida (López, 2018).

2.2.2. Hidroponía

El vocablo hidroponía proviene de la expresión griega hydro, cuyo significado es agua y el significado de ponos, es trabajo. Habitualmente se entiende como la producción de plantas en una solución que contiene los elementos necesarios para su crecimiento. En la productividad de pastos hidropónicos la particularidad es obtener forraje verde sin la necesidad de sustrato, en bandejas que contienen las semillas con la humedad necesaria para el crecimiento (Abarca et al., 2016).

Consiste en la producción de plantas por medio de soluciones nutritivas líquidas que le aportan nutrición mineral en reemplazo del suelo como fuente nutritiva, dando como resultado un producto de excelente calidad alimentaria que se pueden producir de manera industrial optimizando el rendimiento por área (Quelca, 2019).

La hidroponía es una técnica de cultivo de plantas con minerales disueltos en agua en proporciones equilibradas, que son incorporados a través de un sistema de riego sin necesidad de suelo (FAO, 2002).

2.2.3. Forraje verde hidropónico (FVH)

Es un tipo de forraje que se obtiene a partir de la germinación y crecimiento de semillas de cereales; se produce en invernadero en un medio acuoso sin necesidad de suelo, donde las variables independientes como la luz, T° y humedad son controladas. Esta tecnología de producción permite el ahorro de agua, reduciendo los costos de producción y mayor aprovechamiento en el uso del espacio (Juarez et al., 2013; Salvador et al., 2022).

El FVH es el procedimiento de las germinaciones de los granos de cereales como gramíneas y leguminosas; se obtiene en reducido tiempo empleando soluciones nutritivas con tamaño promedio de 30 cm aproximadamente, son de alta calidad nutritiva y es proporcionado a los animales. La masa forrajera comprende: raíz, semilla, tallo y hojas (FAO, 2002; Zagal et al., 2016).

El FVH está basado en aprovechar el poder de germinación de los cereales como el trigo, avena, cebada y maíz; durante la germinación y la fase inicial de crecimiento, las semillas movilizan y metabolizan sus reservas endospermáticas, las cuales proporcionan los nutrientes y la energía necesarios para el desarrollo inicial de la plántula. La germinación de granos se considera como un sistema hidropónico debido a que se produce en bandejas empleando agua sin la necesidad de suelo bajo condiciones controladas. En el proceso de producción de FVH se puede emplear fuentes nutritivas como el biol obteniendo efectos positivos en cuanto al rendimiento en kg/m² (Machaca, 2018).

El FVH es un sistema de producción agrícola donde se utilizan diferentes métodos en espacios reducidos sacándole provecho al máximo, para obtener forrajes de buena calidad en poco tiempo y varias cosechas al año; su rendimiento por área aumenta con la adición de fuentes nutritivas (Luna, 2014).

Emplear la tecnología de producción de forrajes verdes es importante en regiones secas e infértiles. La hidroponía mejora la calidad de los cultivos en poco espacio y reduce el uso de agua comparado a métodos tradicionales (Agius et al., 2019).

2.2.4. Factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico (FVH)

La productividad y la calidad del FVH están influenciadas directamente por el tiempo de remojo, la calidad de la semilla, variedad, temperatura, pH, % de humedad, soluciones nutritivas, profundidad de la bandeja, densidad de siembra y presencia de microorganismos (Zagal-Tranquilino et al., 2016).

2.2.4.1. Condiciones y características de la semilla

Las semillas deben de ser de buena calidad con adaptación a condiciones locales con buena germinación, rendimiento eficiente, costos rentables, libres de impurezas y residuos tóxicos; deben de estar limpias y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1%. El logro de una buena productividad de FVH inicia con

la selección de la semilla (gramínea y leguminosa) en cualidades fisiológicas y calidad genética con promedios de germinación no menor al 75% (FAO, 2002). La semilla es una forma de reposo que normalmente se encuentra deshidratada, con el metabolismo suspendido o lento, la reactivación del metabolismo inicia cuando la semilla absorbe el agua, siendo la humedad indispensable para iniciar el proceso enzimático acompañadas de la temperatura, oxigenación y luz (Luna, 2014).

Varios investigadores sustentan que la germinación por sí sola aumenta la capacidad nutritiva de la semilla sin el requerimiento del suelo, siendo una manera fácil de alimentar a los animales con forraje verde hidropónico con elevado nutriente, masa y volumen en sectores donde el agua es limitada (Abarca et al., 2016).

2.2.4.2. Condiciones de iluminación

Para producir FVH la iluminación es importante durante el proceso de la fotosíntesis en la producción de biomasa, no necesita exposición directa al sol, un 50% de sombra con 12 a 14 horas luz es suficiente para producir FVH (FAO, 2002; Juárez et al., 2013).

La luz es indispensable en el proceso de fotosíntesis para la producción de biomasa, donde se encontrarán compuestos de vital importancia para alimentar a los animales, cuando hay carencia de luz la planta se dirige al lugar que la produce debilitando al tallo, las hojas se decoloran y pueden ocasionar la muerte de la planta (Gomez, 2018)

2.2.4.3. Condiciones de temperatura para forraje verde hidropónico (FVH)

La temperatura adecuada para la productividad de FVH está entre los 18°C a 26°C, depende de la especie cultivada. Para la avena, trigo y cebada las temperaturas óptimas de germinación está entre los 18°C a 21°C (FAO, 2002; Zagal-Tranquilino, 2016).

2.2.4.4. Condiciones de humedad para forraje verde hidropónico (FVH)

El porcentaje de humedad relativa óptimo en el invernadero que la planta necesita se encuentra entre 60 y 80%; en la productividad de FVH, el porcentaje de humedad en las bandejas debe mantenerse altas por encima del 90% para

asegurar la germinación y el desarrollo de las plántulas, a esto se incluye una buena ventilación para evitar contaminación con microorganismos (FAO, 2002).

2.2.4.5. Condiciones de conductividad eléctrica (CE) para forraje verde hidropónico (FVH)

La concentración diluida de nutrientes en el agua que se aplica al cultivo se mide en microSiemens por centímetro (uS/cm), en en forraje verde hidropónico la CE en la solución nutritiva debe de estar entre 1500 a 2000 uS/cm para que la planta absorba los nutrientes esenciales que se encuentra diluidas en el agua (Mejía y Reyes, 2020) y para la FAO (2002) la conductividad debe de estar por debajo de 1000 uS/cm.

2.2.4.6. Condiciones de pH de la solución nutritiva para forraje verde hidropónico (FVH)

El pH óptimo para la producción de FVH en gramíneas debe de estar en los valores de 5,2 a 7, en caso de las leguminosas con pH cercano a 7, valores de pH superiores a 7 o inferiores a 5 hacen que los nutrientes disueltos en el agua se precipiten, por tanto la planta no absorbe los nutrientes necesarios (FAO, 2002).

2.2.4.7. Condiciones de densidad de siembra

La concentración de semillas por metro cuadrado recomendable es 2,2 kg a 3,5 kg, la siembra en bandejas no debe sobrepasar los 1,5 cm de altura (FAO, 2002), mientras que Tarillo (2008) sostiene sembrar granos en charolas con densidades de 5 kg/m².

2.2.5. Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico (FVH)

2.2.5.1. Ventajas

Según FAO (2002) y Abarca et al. (2016). Las ventajas en la productividad de FVH son las siguientes:

- Ahorro de agua, se emplea 13,2 a 20 L de agua por cada kg de grano producido, en comparación a la producción en campo abierto que va desde 270 a 635 L de agua por cada kg de grano.
- Ahorro de espacio, produciendo 72 kg de forraje en 1 m² en 14 días con estantes de 3 pisos.

- Producción de forraje aptas para la alimentación entre 10 a 15 días con un crecimiento acelerado si se incluye macro y micro nutrientes.
- El alimento producido es inocuo, el producto es netamente orgánico que ayudan en el metabolismo del animal.
- Alto valor nutritivo rico en vitaminas A y D, altamente digestible por la baja presencia de celulosa y lignina.
- Tienen un costo económico bajo a largo plazo, donde en un inicio las charolas y el módulo son los únicos que tienen mayor valor.
- Se aprovecha el 100% de la planta.

2.2.5.2 Desventaja

Es dificultoso para personas sin conocimientos en la productividad de FVH por ende se transforma en una desventaja, requiere cuidado constante y necesita una inversión inicial en infraestructura y materiales de producción; aunque utilizando materiales comunes se aminora los gastos logrando buenos resultados (Vivas y Mejía, 2022).

2.2.6. Microorganismos eficaces (ME)

Los microorganismos eficaces están constituidos por un consorcio de bacterias fotosintéticas, bacterias ácido-lácticas y hongos de fermentación (levaduras). Estos microorganismos son conocidos en la medicina y en la producción de alimentos desde tiempos muy antiguos, siendo benéficos para el agua, el suelo y los seres vivos; a lo largo del tiempo han sido seleccionados por sus propiedades. En la agricultura los microorganismos son los que promueven el crecimiento de las plantas como nutrientes funcionales e inhiben enfermedades (Gonzales y Quispe, 2020).

Los microorganismos eficaces (ME) son un producto líquido hecho a base de más de 80 especies de microorganismos aeróbicos, anaeróbicos y fotosintéticos, que muestran efectos benéficos en el tratamiento de aguas residuales, en la reducción de malos olores, en producir alimentos y están libres de compuestos agroquímicos. El estudio de los ME inicia con mayor profundidad en la década de los 70 en la Universidad Ryukyus de Japón por el docente Teruo Higa quien buscó alternativas empleando ME en la producción de alimentos orgánicos (Tanya y Leiva, 2019).

Los ME a lo largo del tiempo fueron evolucionando y actuando como probióticos ambientales ayudando a fijar el nitrógeno, solubilizando el fósforo y potasio; transforman los compuestos orgánicos en sustancias asimilables por las plantas, manteniendo la humedad necesaria del suelo mejorando su capacidad. También producen vitaminas, enzimas y hormonas que ayudan en la estimulación significativa en el crecimiento de la planta (Quispe y Salas, 2022).

Los ME son un producto orgánico que evita la contaminación ambiental compuesta principalmente por bacterias fotosintéticas, bacterias ácido lácticas y levaduras, se emplean en la agricultura como una fuente orgánica con la finalidad de sustituir los fertilizantes sintéticos, actuando eficientemente en el incremento de la producción, reducen los riesgos frente al ataque de plagas y enfermedades de la planta; no son tóxicos ni perjudiciales para el ser humano ni tienen modificación genética (Quispe y Chávez, 2017).

2.2.6.1 Bacterias ácido lácticas (BAL)

Las bacterias ácido lácticas, son bacterias Gram positivas y anaeróbicas, pueden crecer en presencia de oxígeno, producen únicamente ácido láctico a partir de la fermentación de carbohidratos, son tolerantes desde 3,2 hasta 9,6 de pH, estas características les facilita vivir en diferentes medios. Los géneros representativos son los Lactobacillus, Bifidobacterium, Streptococcus, Lactococcus y Pediococcus, estos microorganismos se aplican en la industria alimentaria para producir, productos lácticos como el yogurt, queso, bebidas como la cerveza, producir abonos orgánicos, etc. (Tanya y Leiva, 2019).

Las BAL son microorganismos que generan ácido láctico a partir de hidratos de carbono sintetizados por las levaduras y bacterias fotosintéticas; los ácidos lácticos inhiben microorganismos patógenos (efecto conservante y protector). Últimamente se emplea BAL (Lactobacillus) para remediar ambientes contaminados y degradados, obteniendo un ambiente en mejores condiciones. En la agricultura se inocula BAL para obtener mejores resultados en el crecimiento de la planta (Soto et al., 2017; Huaman, 2015).

Estas bacterias elaboran ácidos lácticos a partir de los carbohidratos procedentes de las bacterias fototróficas y levaduras, estos ácidos agilizan el procedimiento de descomposición de la materia orgánica, impulsa la fermentación de la celulosa,

para ser aprovechado por los cultivos y eliminan microorganismos no benéficos (IICA et al., 2013).

2.2.6.2. Bacterias fotosintéticas

Son microorganismos que pueden desarrollarse en ausencia y presencia de oxígeno, las especies que la representan son *Rhodopseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*. Utilizan los exudados de las raíces de las plantas como fuente de carbono, también la luz y calor del suelo como fuente de energía. Las *Rhodopseudomonas palustris* elaboran aminoácidos, azúcares, vitaminas y ácidos orgánicos que son aprovechados por las plantas y microorganismos autótrofos para su desarrollo (Su et al., 2017), así mismo forman películas rosadas en la superficie de aguas estancadas, tienen un metabolismo diverso, además son litotróficas, fijan nitrógeno, sintetizan tetrapiroles y vitamina B12 (Tanya y Leiva, 2019). Aprovechan las sustancias benéficas secretadas por la raíz como el sulfuro de hidrógeno para producir sustancias como aminoácidos, ácidos nucleicos, azúcares y sustancias bioactivas que benefician el crecimiento de la planta. Son microorganismos que utilizan la luz solar y el calor del suelo para modificar las sustancias con emanación de olores desagradables como el gas metano, amoníaco, ácido sulfídrico, etc. en ácidos orgánicos que no tienen mal olor; por tanto se puede usar en baños, cocinas, habitaciones, lugares ocupados por animales, etc (Gonzales y Quispe, 2020).

2.2.6.3. Levaduras

Las levaduras que conforman los microorganismos eficaces son de la especie *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*; por tanto utilizan una fuente variada de carbono como la sacarosa, glucosa, galactosa, maltosa, fructosa, suero hidrolizado y alcohol. Estas levaduras necesitan como fuente de nitrógeno el amoníaco, la úrea y aminoácidos; no utilizan los nitritos ni nitratos, estos últimos son absorbidos por las plantas para su desarrollo (Fayemi y Ojokoh, 2014).

Las levaduras también necesitan Ca, Fe, Zn, Cu, P y Mg estos últimos lo adquieren del ácido fosfórico y sulfato de magnesio respectivamente, a cambio sintetizan sustancias antimicrobianas a partir de los azúcares y aminoácidos producidos por las bacterias fotosintéticas que ayudan a la planta a sobrevivir en condiciones adversas. *Saccharomyces cerevisiae* son levaduras heterótrofas que utilizan compuestos orgánicos como fuente de energía, no requieren luz para su

desarrollo y puede crecer en condiciones con o sin oxígeno, ya que es son organismos anaerobios facultativos (S. K. Meena & Meena, 2017).

Utilizan los azúcares y aminoácidos producidos por las bacterias fotosintéticas para sintetizar sustancias que actúan como hormonas y enzimas naturales que estimulan el crecimiento de las raíces y el desarrollo de la planta (Gonzales y Quispe, 2020).

2.2.7. Ventajas del uso de microorganismos eficaces

Según Tanya y Leiva (2019) las ventajas del uso de microorganismos eficaces en la agricultura son las que se menciona.

- Ayudan a guardar nutrientes en el suelo para que las plantas lo utilicen en su desarrollo.
- Solubilizan los minerales compuestos de fósforo del suelo, que generalmente contiene Al, Fe, Mn y Ca para que la planta lo pueda asimilar.
- Colaboran con las plantas a resistir factores estresantes.
- Aumenta la velocidad y el porcentaje de germinación.
- Cooperan en la descomposición de la materia orgánica y en la incrementación de nutrientes, aumentando la velocidad de germinación y desarrollo de la planta.
- Controlan plagas, enfermedades y malos olores.
- Fijan nitrógeno que ayuda en el proceso fotosintético a la planta.
- Tiene costos bajos y se utiliza en todo sistema de producción agrícola.
- Adecuado para aplicar por riego foliar y no es tóxico para el ambiente ni para el ser humano.
- De fácil elaboración y a largo plazo mejora el suelo para la agricultura y desarrollo del cultivo.

2.2.8. Solución hidropónica (SH) para la producción de FVH

Las soluciones hidropónicas son un conjunto de fórmulas compuesta de elementos químicos esenciales, disueltos en el agua para el desarrollo de la planta; por consiguiente estas soluciones se modifican de acuerdo a la especie de la planta, fenología, su genética y el medio ambiente. Los elementos que necesitan en mayor proporción son N, P, K, Ca y Mg, en menor proporción son el B, Fe, Mg, Zn, Cl y Mo. La peculiaridad en el crecimiento y rendimiento de un

cultivo guarda relación entre los cationes y aniones, la concentración se representa por la conductividad eléctrica (Cajo, 2016).

Son 16 los elementos esenciales para el desarrollo de la mayoría de las plantas, divididos entre macro y micro elementos, la formulación se separa en solución concentrada A y solución concentrada B con la finalidad de evitar precipitados en las reacciones. La fórmula adecuada para el crecimiento de una planta depende de la variedad, fenología, estación, horas luz, intensidad de luz, clima, T°, etc. Las soluciones nutritivas no se echan directamente a las plantas ya que se encuentran en altas concentraciones, estas concentraciones se diluyen en pequeñas cantidades en el agua; su adición dependerá de diferentes factores como el clima y estado de desarrollo de la planta (Santana, 2016).

Es el medio líquido que contiene elementos esenciales para el adecuado desarrollo de la planta, una solución nutritiva completa para producir FVH debe tener: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, molibdeno, hierro, manganeso, zinc, boro, cobre y níquel. En el medio líquido los nutrientes se encuentran en forma de iones para que las plantas lo absorban ya que en su forma elemental no pueden. Una buena solución nutritiva está estrechamente relacionada con la conformación de la misma solución, relación con los iones disueltos, la conductividad eléctrica y el pH (Medrano, 2017).

Según la FAO (2002) para la producción de forraje verde hidropónico todas las plantas necesitan elementos necesarios para su crecimiento, en términos generales se constituye de 13 elementos minerales divididos en dos grupos, los macronutrientes (solución concentrada A) que las plantas requieren en mayor cantidad y micronutrientes (solución concentrada B) las plantas lo requieren en menor cantidad pero son esenciales para el desarrollo de las plantas. En la siguiente tabla se muestran los respectivos elementos.

Tabla 1. Elementos minerales esenciales para las plantas de forraje verde hidropónico.

ELEMENTOS MINERALES	SÍMBOLO QUÍMICO
MACRONUTRIENTES	
Nitrógeno	N
Fósforo	P
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mg
Azufre	S
MICRONUTRIENTES	

Hierro	Fe
Manganeso	Mn
Zinc	Zn
Boro	B
Cobre	Cu
Molibdeno	Mo
Cloro	Cl

Fuente: FAO (2002).

2.2.8.1. Conductividad eléctrica (CE) en una solución hidropónica

La conductividad eléctrica (CE) del agua para que tenga excelentes resultados en el crecimiento de las plantas debe de encontrarse por debajo de los 2500 uS/cm; CE mayores a 2500 uS/cm son inapropiadas o dudosas (James et al., 1982, como se citó en Alvares et al., 2018). Sin embargo para la producción de FVH la CE debe de ser menor a 1000 uS/cm por ser una técnica de desarrollo temprano de plántulas forrajeras (FAO, 2002).

La conductividad eléctrica mide la cantidad de sales disueltas en el agua y estima la capacidad de conducción eléctrica del agua, se expresa en uS/cm permitiendo conocer si la solución para el cultivo hidropónico carece o excede de nutrientes, la conductividad recomendada es entre 1500 a 2500 uS/cm (Cajo, 2016).

2.2.8.2. pH del agua para una solución hidropónica

El pH del agua para las condiciones adecuadas en la producción de FVH debe de encontrarse entre 5,5 y 6,6 (Juárez et al., 2013).

2.2.9. Fertilizantes sintéticos (FS) con N, P y K en la solución nutritiva

En los últimos años el uso de fertilizantes inorgánicos, se ha vuelto indispensable en la agricultura para contrarrestar la falta de nutrientes en el suelo y aumentar el rendimiento, surgiendo varios productos para la producción agrícola a campo abierto y en ambientes controlados; por lo tanto para saber el requerimiento nutricional de una planta se debe realizar estudios específicos. Los minerales de uso indispensable en la planta son el nitrógeno, fósforo y potasio (Lagunes, 2017). Existen varios fertilizantes en la industria con diferentes composiciones, presentaciones y modos de aplicación, su particularidad es que tiene una alta solubilidad en el agua e ingresan a la planta de manera pasiva o activa. Se recomienda usar en concentraciones adecuadas para no generar un impacto

negativo con el medio ambiente, se debe tener en cuenta también mezclar con abonos orgánicos al suelo para aminorar los costos e incrementar la producción (Tlelo-Cuautle et al., 2020).

Los compuestos químicos son fertilizantes simples que contienen una serie de nutrientes como el sulfato de potasio, nitrógeno nítrico, Nitrógeno amoniacal, anhídrido fosfórico soluble en el agua, óxido de potasio soluble en el agua, Fe, Mg, Cu, Mn, Zn, Mo, B, vitaminas y sustancias húmicas que tengan propiedades de uso en la fertirrigación en un rango de pH de 4 a 6,5. Su preparación es simple, se agrega la concentración en la cantidad de agua necesaria para el rociado en las plantas (Santana, 2016).

2.2.9.1. Nitrógeno (N)

El nitrógeno en las plantas es absorbido por las raíces en forma de NO_3^- y NH_4^+ . El NO_3^- por acción de la enzima nitrato reductasa lo convierte a NO_2^- y a su vez la enzima nitrito reductasa lo convierte a NH_4^+ ; el nitrógeno es uno de los elementos que se encuentra en mayor cantidad en la planta y es fundamental en la formación estructural de la planta, mejorando el contenido nutritivo, formando parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, encimas de la clorofila y alcaloides (Condori y Flores, 2019).

En suelos pobres el nitrógeno es escaso, las plantas absorben el nitrógeno en forma de NO_3^- y NH_4^+ disueltos en agua, el amonio se utiliza como suplemento ya que en concentraciones elevadas causan daños en la fisiología de la planta: El nitrato de potasio es una fuente de nitrógeno pero con costo elevado, el nitrato de sodio se puede utilizar pero el sodio suele incrementarse en la solución sin tener contribución con las plantas, el sulfato de amonio tiene un precio cómodo, proporciona el amonio y el azufre necesario; el sulfato monoamónico y diamónico también son buenos en la complementación del nitrógeno en forma amoniacal (Fatecha et al., 2017).

2.2.9.2. Fósforo (P)

El fósforo es el elemento más importante después del nitrógeno para el crecimiento y buen funcionamiento de la planta, cumpliendo funciones fisiológicas y bioquímicas siendo parte de moléculas estructurales como los fosfolípidos, nucleótidos y ácidos nucleicos, también interviene en la transferencia de energía y comunicación celular (Arias et al., 2020).

El fósforo es un macro elemento que las plantas incorporan en su sistema en formas químicas específicas para producir energía, su carencia impacta en la productividad de las plantas, es esencial para la división y crecimiento de las células, entonces la carencia de este elemento se ve manifestada en la falta de crecimiento de la planta, falta de maduración y mínima producción de granos (Arredondo, 2020).

Frecuentemente el fósforo asimilable en el suelo es limitado y afecta en el desarrollo del cultivo. El fósforo se encuentra en cada célula de la planta, particularmente se encuentra en mayor cantidad en las semillas y en las partes jóvenes de las plantas; la deficiencia de este elemento se observa en las plantas cuando las hojas presentan un verde oscuro apagado cambiando de color a un tono rojizo o púrpura, con tallos finos, cortos y pequeñas hojas (Freyre, 2012).

2.2.9.3. Potasio (K)

El potasio se absorbe en forma de K^+ , activa una gran cantidad de procesos para conservar el agua en la planta, la presión de turgencia en las células, abrir y cerrar los estomas, estimula la acumulación y traslado de los carbohidratos elaborados recientemente, fortalece el sistema radicular, previene el marchitamiento y su presencia es importante en la calidad y sanidad del cultivo (Charca, 2023).

El potasio en los suelos se encuentra de manera aceptable, pero no disponibles en su totalidad para las plantas, su función guarda relación con los procesos metabólicos, como regular la temperatura, abrir y cerrar las estomas, participa en el metabolismo, en la síntesis de hidratos de carbono, proteínas y está presente en las actividades enzimáticas (Alonso, 2024).

El potasio se encuentra de forma orgánica e inorgánica, el potasio ingresa a la planta como K^+ del suelo hacia la raíz, por gradiente hídrico, gracias a la transpiración de la planta; por tanto su exceso genera depresión en las plantas por el desbalance entre nitrógeno y potasio (Hernández, 2014).

2.2.10. *Triticum aestivum*. var. Gavilán “trigo”

2.2.10.1. Ubicación taxonómica (Clasificación) y morfología del trigo

Según el sistema de clasificación de Cronquist (1981) el trigo se clasifica de la siguiente manera:

Clase : Liliopsida

Subclase	: Commelinidae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Género	: Triticum
Especie	: aestivum
Nombre científico	: <i>Triticum aestivum</i> L.
Variedad/cultivar	: Gavilán
Nombre común	: Trigo

La identificación taxonómica a nivel de especie y variedad fue realizada por una bióloga especialista en taxonomía y sistemática vegetal, conforme al sistema de clasificación de Cronquist mediante evaluación directa de la muestra vegetal. La constancia correspondiente se presenta en el Anexo 50.

Según Kirby (2002) citado por Loayza (2014) la morfología del trigo se define de la siguiente manera.

a. Raíz. El trigo tiene dos tipos de raíces, las seminales que se originan de los primordios radiculares del embrión y luego salen 4 a 5 raíces seminales que sostienen a la planta; seguidamente nacen las raíces adventicias, estas son más gruesa y crecen en forma horizontal, brotan a partir de 3 a 7 nodos situados en la base de la planta.

b. Tallo. El tallo es recto, cilíndrico y hueco, poco ramificado de tipo herbáceo, mide de 60 a 120 cm, compuesto por nudos e internudos, con hojas opuestas y alternas, cada hoja se encuentra insertada en cada nudo.

c. Hojas. Las hojas son lanceoladas, alargadas y de nerviación paralela, con vainas que abrazan al tallo, lígulas membranosas y aurículas que rodean ligeramente el tallo.

d. Inflorescencia. La inflorescencia es una espiga terminal, compuesta por un eje central (raquis) con espiguillas alternas. Cada espiguilla contiene varias flores (flósculos) protegidos por glumas, lemma y palea.

e. Flor. Autógama, conformado por tres estambres, dos estigmas plumosos que inicia del ovario, protegidos por dos brácteas (lemma y palea).

f. Grano. De forma ovoide con un surco en el lado central, el pericarpio le brinda protección y el endospermo es la masa principal del grano que contiene las sustancias de reserva.

2.2.10.2. Valor nutricional del trigo

Tabla 2. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo”.

INDICADOR %	BASE SECA
Proteína cruda	22
Fibra detergente neutro	39
Fibra detergente ácido	16
Materia seca	3,2

Fuente: FAO (2002).

2.2.11. *Hordeum vulgare*. var. UNA-80 “cebada”

2.2.11.1. Ubicación taxonómica (Clasificación) y morfología de la cebada

Según el sistema de clasificación de Cronquist (1981) la cebada se clasifica de la siguiente manera:

Clase	: Liliopsida
Subclase	: Commelinidae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Género	: Hordeum
Especie	: vulgare
Nombre científico	: <i>Hordeum vulgare</i> L.
Variedad/cultivar	: UNA-80
Nombre común	: Cebada

La identificación taxonómica a nivel de especie y variedad fue realizada por una bióloga especialista en taxonomía y sistemática vegetal, conforme al sistema de clasificación de Cronquist mediante evaluación directa de la muestra vegetal. La constancia correspondiente se presenta en el Anexo 51.

De acuerdo a Palacios (2008) citado por Escobar (2018) la cebada tiene la siguiente morfología.

a. Raíz. El tipo de raíz es fasciculado, con raíces seminales embrionarias y raíces adventicias nodales en la planta adulta, de poca profundidad de 120 cm aproximadamente; el 60% de su peso se encuentra en los primeros 25 cm.

b. Hoja. Estrechadas de color verde claro, conformada por vainas y láminas unidas a la lígula con dos prolongaciones membranosas.

c. Tallo. El tamaño del tallo varía desde los 50 cm hasta los 100 cm dependiendo de la variedad, presenta entre 6 a 8 nudos con el lado central más ancho que los extremos.

d. Flor. Son autógamias, se abren después de la fecundación, está conformado por tres estambres un pistilo y dos estigmas.

e. Grano. De tipo cariósipide generalmente con las glumillas (lema y palea) adheridas, excepto en las cebadas desnudas.

2.2.11.2. Valor nutricional de la cebada

Tabla 3. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada”.

INDICADOR %	BASE SECA
Proteína cruda	19,4
Digestibilidad	85
Fibra cruda	16
grasa	3,2
Carbohidratos	58,4

Fuente: Gómez (2012).

2.2.12. Avena sativa. var. INIA 901- Mantaro 15 “avena”

2.2.12.1. Ubicación taxonómica (Clasificación) y morfología de la avena

Según el sistema de clasificación de Cronquist (1981) la avena se clasifica de la siguiente manera:

Clase : Liliopsida

Subclase : Commelinidae

Orden : Poales

Familia : Poaceae

Género : Avena

Especie : sativa

Nombre científico : *Avena sativa* L.

Variedad Cultivar : INIA 901- Mantaro 15

Nombre común : Avena

La identificación taxonómica a nivel de especie y variedad fue realizada por una bióloga especialista en taxonomía y sistemática vegetal, conforme al sistema de

clasificación de Cronquist, mediante evaluación directa de la muestra vegetal. La constancia correspondiente se presenta en el Anexo 52.

Según Tipe (2017) la morfología de la avena se describe de la siguiente manera:

a. Raíces. La avena está formada por dos tipos de raíces, las seminales o primarias que se forman de la radícula en la germinación del grano y las adventicias o permanentes que nacen desde la base de la corona y crecen desde los inicios del macollo hasta el nacimiento de la inflorescencia; cada macollo secundario brota su propio sistema de raíces permanentes.

b. El tallo. Es cilíndrico formado de 4 a 5 internudos huecos y con la misma cantidad de nudos compactos, el internudo es la sección del tallo que se encuentra entre dos nudos, el internudo superior se encarga de sostener la inflorescencia. El tallo principal es el que se forma primero y luego los macollos mientras la planta crece.

c. Las hojas. Se encuentran adheridas directamente al tallo, compuesta por una vaina foliar, limbo ancho, alargado, con cilios en sus márgenes, son lisos, la nervadura es paralela y la punta aguda.

d. Inflorescencia. Está formada por un raquis central con nudos donde nacen los verticilos que está formado por varios raquis secundarios, y a partir de estos nacen los pedicelos quienes mantienen firme las espiguillas que están conformadas por varias flores.

e. Flor. Llamadas flósculos o florecillas, compuestas por brácteas que forman la cáscara del grano en la madurez, cada flor posee 3 estambres, un pistilo y dos lodículos, es autógama y rara vez hay polinización cruzada.

f. Grano. Está cubierta por la lema (cubierta dorsal) y la palea (cubierta ventral) en conjunto llamadas cáscara.

2.2.12.2. Valor nutricional de la avena

Tabla 4. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”.

INDICADOR	UNIDAD	BASE SECA
Proteína cruda	%	18,8
Energía metabolizable	Kcal/KgMs	3216
digestibilidad	%	83
proteína digestible	%	90

Fuente: Gómez (2012)

2.2.13. Biomasa

La biomasa es la proporción general de materia viviente en un determinado espacio expresada en peso por unidad de superficie o de volumen (Martínez y Leyva, 2014). La biomasa es un tipo de fuente de energía renovable constante y almacenable de procedencia orgánica que se forman por un proceso biológico a partir de la materia que conforman los seres vivos; en las plantas en el proceso fotosintético consumen la energía del sol en la clorofila y convierte el CO₂ más el agua en carbohidratos (Bustamante et al., 2016).

2.2.14. Conformación de la biomasa aérea

La biomasa aérea en forraje verde hidropónico está conformada hasta los primeros 15 días por las hojas, concretamente por el mesocótilo, coleótilo, primera hoja y segunda hoja (Birgi et al., 2018).

2.2.15. Conformación de la biomasa radicular

La biomasa radicular o parte basal en forraje verde hidropónico en los primeros 15 días está conformada por las raíces, restos de semillas germinadas y semillas sin germinar (Birgi et al., 2018)

2.2.16. Atura de la planta

La altura de la planta es el tamaño logrado de una especie determinada en un determinado tiempo, medido en metros, desde el nivel del suelo hasta la parte superior de los tejidos de la planta, en caso de las herbáceas la altura debe pertenecer desde el inicio del cuello hasta el punto más alto de la copa (Pérez et al., 2013).

2.2.17. Rendimiento

El rendimiento de FVH está estrechamente relacionado a la producción de biomasa en un área y tiempo determinado; normalmente en un sistema hidropónico se produce forraje en poco tiempo de 9 a 15 días obteniendo mayores rendimientos en pequeños espacios con poca cantidad de agua en un ambiente controlado y sin necesidad de suelo fértil (FAO,2002).

2.2.18. Marcos Normativos

Ley General del Ambiente del Perú (Ley N° 28611, 2005)

Respalda el presente estudio al establecer en el Art. 1 el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales; el Art. 5 el principio de sostenibilidad como base del desarrollo ambiental; y el Art. 4 la promoción del uso de tecnologías limpias y prácticas de producción ambientalmente responsables. Asimismo, en los Arts. 9 y 11 se orientan al desarrollo sostenible y el uso eficiente de los recursos mediante la aplicación del conocimiento científico y tecnológico.

Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Ley N° 28245, 2004).

Menciona que la gestión ambiental se basa en principios de prevención, desarrollo sostenible y uso eficiente de los recursos (Art. 5). Así mismo responsabiliza al Estado y a los actores privados de asegurar actividades compatibles con la protección ambiental (Art. 7). Si bien la norma no hace referencia específica al forraje verde hidropónico, es posible sostener que la implementación de sistemas de producción como este, que optimizan el uso del agua y reducen la presión sobre el suelo agrícola y se alinean con los principios y responsabilidades establecidos por la ley.

Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales (Ley N° 26821, 1997)

Establece que el uso de los recursos debe asegurar su conservación y renovación (Art. 2 y 5) así mismo promueve la aplicación de tecnologías limpias y eficientes (Art. 4), aunque la ley no hace referencia específica al forraje verde hidropónico, puede sostener que la implementación de este sistema reduce el consumo de agua y minimiza impactos ambientales, alineándose con los principios de sostenibilidad.

Ley de Promoción y Desarrollo de la Agricultura Familiar (Ley N.° 30355, 2000) Fomenta el desarrollo de la agricultura familiar mediante el acceso a recursos, tecnologías y asistencias técnicas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del lugar de estudio

La producción de forraje verde hidropónico se realizó en el sector de Tenajeria ubicado dentro del distrito de Soras, provincia de Sucre, departamento de Ayacucho; a 3630 m s. n. m. en un invernadero convencional de 21 m². Tenajeria es un lugar no poblado apartado del centro urbano de Soras, usado únicamente para actividades agrícolas y ganaderas.

3.1.1. Ubicación geopolítica

Departamento : Ayacucho

Provincia : Sucre

Distrito : Soras

Sector : Tenajeria

3.1.2. Coordenadas geográficas

Altitud

- 3630 m s. n. m.

Coordenadas

- Este 650383,28 m E
- Norte 8435373,72 m S

3.1.3. Mapa de ubicación

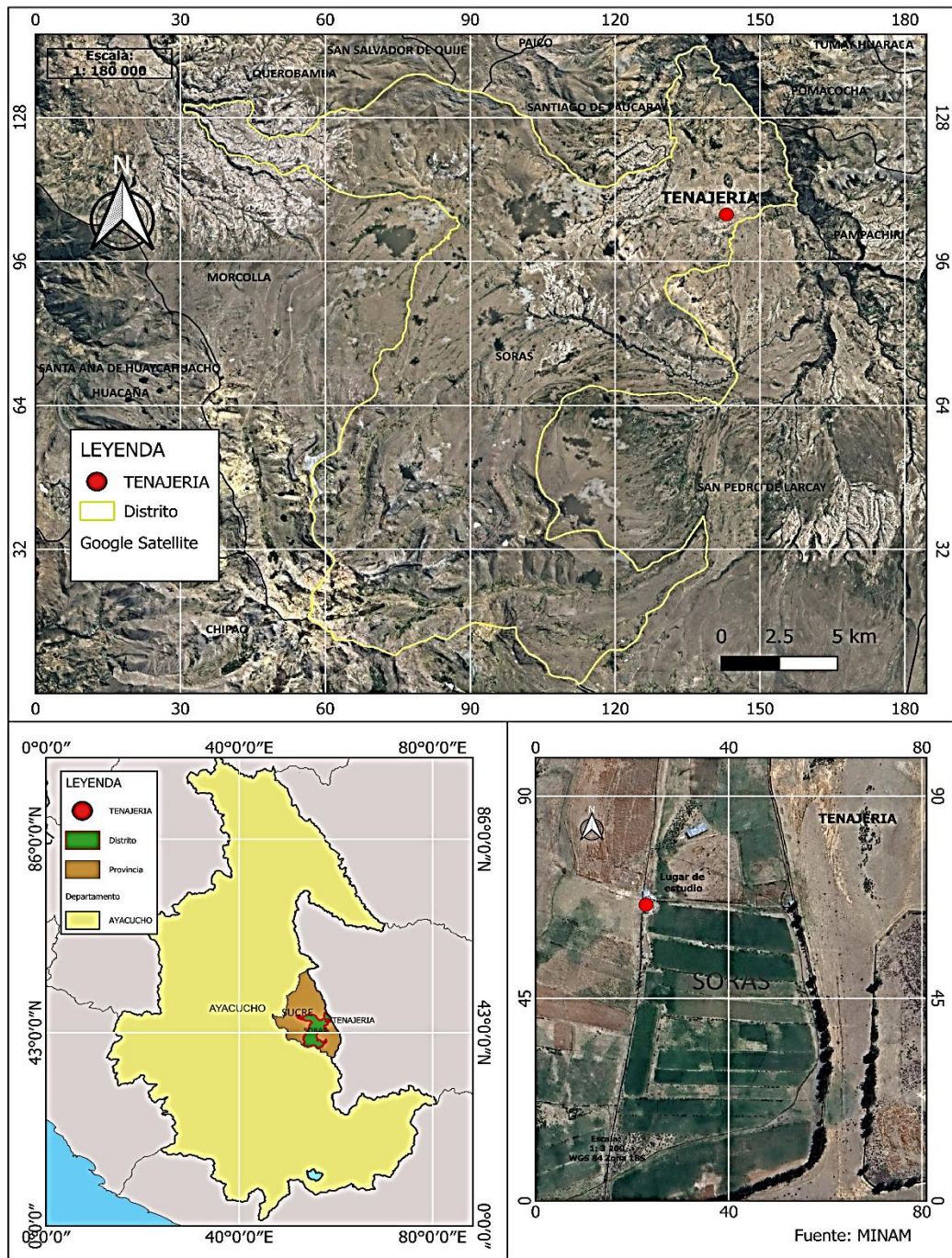


Figura 1. Mapa político y ubicación del sector de estudio: Tenajeria, distrito de Soras, provincia de Sucre, departamento de Ayacucho. Elaboración propia en ArcGIS a partir de imágenes satelitales del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2023).

3.2. Tipo de investigación

Experimental.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Plantas de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo”.

3.3.2. Muestra

195 bandejas de 52x29x3 cm con plantas de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo”.

3.4. Diseño experimental

El diseño estadístico se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA), con trece tratamientos y 5 repeticiones como se muestran en las siguientes tablas y figuras.

Tabla 5. Tratamientos y variables para la producción de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo”.

VARIABLE INDEPENDIENTE		VARIABLES DEPENDIENTES
TRATAMIENTOS	REPETICIONES	
T1: EMa 0,4% con 2 riegos/día	5	Biomasa (kg/bandeja)
T2: EMa 0,4% con 4 riegos/día	5	
T3: EMa 0,6% con 2 riegos/día	5	
T4: EMa 0,6% con 4 riegos/día	5	
T5: SH 5A 2B 1L agua con 2 riegos/día	5	Altura (cm)
T6: SH 5A 2B 1L agua con 4 riegos/día	5	
T7: SH 5A 2B 2L agua con 2 riegos/día	5	Biomasa aérea (kg/bandeja)
T8: SH 5A 2B 2L agua con 4 riegos/día	5	
T9: FS 2,5g 1L agua con 2 riegos/día	5	Biomasa radicular (kg/bandeja)
T10: FS 2,5g 1L agua con 4 riegos/día	5	
T11: FS 2,5g 1,5L agua con 2 riegos/día	5	Rendimiento (kg/m ²)
T12: FS 2,5g 1,5L agua con 4 riegos/día	5	
T13: control (solo agua)	5	

T8	T4	T13	T10	T4	T8	T10	T3	T9	T13	T9	T7	T2	T3	T7	T12	T1
T13	T3	T7	T8	T11	T13	T11	T6	T5	T2	T10	T11	T5	T4	T1	T11	
T2	T4	T3	T9	T4	T8	T10	T2	T6	T10	T12	T1	T1	T5	T7	T6	
T5	T7	T11	T12	T12	T2	T9	T9	T5	T13	T12	T8	T6	T3	T6	T1	

Figura 2. Distribución de unidades experimentales bajo un diseño completamente al azar (DCA) de los 13 tratamientos de *Avena sativa* “avena”

Modelo

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la ij-ésima respuesta, con el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

τ_i : Media global de tratamientos.

ε_{ij} : Efecto del i-ésimo tratamiento.

T3	T8	T6	T1	T11	T2	T3	T12	T2	T9	T8	T12	T1	T5	T6	T10	T3
T5	T4	T9	T4	T8	T11	T12	T13	T5	T13	T2	T8	T11	T10	T4	T12	
T11	T6	T13	T2	T9	T12	T13	T5	T8	T2	T10	T3	T1	T5	T6	T11	
T7	T4	T7	T3	T9	T6	T7	T4	T9	T1	T7	T13	T10	T10	T1	T7	

Figura 3. Distribución de unidades experimentales bajo un diseño completamente al azar (DCA) de los 13 tratamientos de *Hordeum vulgare* “cebada”

Modelo

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la ij-ésima respuesta, con el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

τ_i : Media global de tratamientos.

ε_{ij} : Efecto del i-ésimo tratamiento.

T6	T3	T7	T3	T5	T8	T10	T5	T13	T6	T7	T13	T11	T6	T4	T10	T4
T11	T8	T11	T1	T12	T8	T9	T1	T12	T4	T6	T13	T10	T10	T7	T9	
T4	T11	T2	T5	T8	T9	T12	T12	T1	T5	T1	T2	T1	T4	T2	T9	
T7	T5	T13	T7	T13	T10	T6	T9	T8	T12	T2	T3	T2	T11	T3	T3	

Figura 4. Distribución de unidades experimentales bajo un diseño completamente al azar (DCA) de los 13 tratamientos de *Triticum aestivum* “trigo”

Modelo

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la ij -ésima respuesta, con el i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

τ_i : Media global de tratamientos.

ε_{ij} : Efecto del i -ésimo tratamiento.

3.5. Metodología y recolección de datos

3.5.1. Instalación del sistema de forraje verde hidropónico

Los estantes de hidroponía fueron diseñados a base de cintas de madera (eucalipto) disponible en la zona; con dimensiones de 5,5 metros de largo y 55 cm de ancho por duplicado, con separaciones del suelo de 80 cm. La inclinación para el escurrido del agua en las bandejas tuvo 10° para evitar el encharcamiento (Chavarría et al., 2018). Las medidas de las bandejas fueron de 29x52 cm con una profundidad de 3 cm y cada bandeja con 5 agujeros en uno de los lados para evitar el encharcamiento.

Los estantes fueron instalados dentro de un invernadero convencional de 7x3 m de dimensión interna, con una altura central de 2,10 m y alturas laterales de 1,70 m, el invernadero fue construido con muros de adobe y un techo conformado por vigas de madera, cubierto con plástico agrofilm reforzado con malla raschel para prevenir desprendimientos por los vientos fuertes.

Finalmente, las condiciones de temperatura y porcentaje de humedad durante la producción de forraje verde hidropónico fueron monitoreados y controlados mediante el uso de un termohigrómetro.

3.5.2. Activación de los microorganismos eficaces (EM.1®)

De acuerdo a BioPunto, (2020) se siguió el siguiente procedimiento para activar los microorganismos eficaces.

- Se mezcló un litro de melaza y un litro de microorganismos eficaces de manera uniforme, en un recipiente de plástico que contenía 18 litros de agua libre de cloro, a una temperatura de 37,9°C dando como resultado un pH inicial de 4,99 y color café oscuro.
- La fermentación se realizó en un recipiente hermético durante 20 días dentro de un invernadero convencional con temperaturas que comprenden 38 °C de día y 4°C de noche.

- En el recipiente hermético se acopló un caño de plástico que estaba unido a una manguera que iba directo a un envase de plástico transparente que contenía agua para observar la salida de gases durante la fermentación.
- El microorganismo activado (EM-A) estuvo listo para su uso cuando dejó de producir gas en el recipiente transparente y presentó un pH de 3,45, medido con pH-metro digital. Asimismo, se observó una coloración café-naranja característica del proceso de fermentación.

Para la producción de FVH de avena, cebada y trigo se empleó las siguientes concentraciones:

- 0,4%, que corresponde a 80 ml de ME-A, los cuales se enrazaron a un volumen final de 20 L con agua.
- 0,6%, que corresponde a 120 ml de ME-A, los cuales se enrazaron a un volumen final de 20 L con agua.

3.5.3. Preparación de la solución nutritiva La Molina

La preparación de la solución concentrada A y la solución concentrada B fue siguiendo las recomendaciones del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de La Universidad Nacional Agraria La Molina (s.f).

3.5.3.1. Solución concentrada A

- Se agregó el nitrato de potasio en tres litros de agua, agitando hasta que se disolvió completamente.
- Luego se adicionó el nitrato de amonio sobre el nitrato de potasio disuelto agitando la solución.
- En un recipiente aparte se remojó el superfosfato triple en medio litro de agua durante una hora.
- Pasado la hora se agitó el superfosfato triple y se agregó en la solución de nitrato de potasio y nitrato de amonio, lavando varias veces el superfosfato que quedó en el recipiente y se agregó en la solución nitrato de potasio y nitrato de amonio, eliminando la arenilla que quedó en el fondo.
- Finalmente se agregó agua hasta completar cinco litros (volumen final).

3.5.3.1. Solución concentrada B

- Se agregó el sulfato de magnesio en un litro de agua, hasta que esté completamente disuelto.
- En otro recipiente se disolvió la mezcla de los micronutrientes en 100 ml de agua hervida, y se agregó a la solución de sulfato de magnesio.
- Seguidamente se añadió el quelato de hierro agitando hasta que se disuelva.
- Finalmente se adicionó agua hasta completar dos litros (volumen final).

En la investigación para la producción de FVH de avena, cebada y trigo se trabajó con dos concentraciones, cuya conductividad eléctrica osciló entre 640 a 1155 uS/cm y el pH entre 5,5 a 6,5.

- 5 ml de solución A y 2 ml de solución B para 2 litros de agua cuya conductividad eléctrica fue de 640 a 690 uS/cm.
- 5 ml de solución A y 2 ml de solución B para 1 L de agua cuya conductividad eléctrica fue de 1100 a 1155 uS/cm.

3.5.4. Preparación del fertilizante sintético

Para producir forraje verde hidropónico (FVH) se empleó el fertilizante foliar NPK 20-20-20, soluble, con proporciones equilibradas de nitrógeno, fósforo y potasio (1:1:1), además hierro, zinc, vitamina B1 y otro microelementos. La dosis recomendada por Serfi (2022) fue de 1 kg/200 L de agua, destinadas a plantas que se encuentran entre la cuarta y sexta hoja verdadera en adelante. Sin embargo, en esta investigación, debido a que las plantas de avena, cebada y trigo se encontraban en un desarrollo inicial, se utilizó una dosis más diluida que la indicada, cuyas conductividades eléctricas oscilaron entre 1200 a 1500 uS/cm y el pH de 5,5 a 6,5.

- 2,5 g para 1 L de agua cuya conductividad eléctrica fue de 1440 a 1500 uS/cm.
- 2,5 g para 1,5 L de agua cuya conductividad eléctrica fue de 1200 a 1255 uS/cm.

3.5.5. Limpieza y desinfección de semillas

Para el lavado y desinfección de las semillas de avena, cebada y trigo se empleó una concentración de hipoclorito de sodio comercial siguiendo la recomendación de la FAO (2002) de 10 ml de hipoclorito de sodio en 1 L de agua, dejando las semillas por tres minutos en la solución clorada, luego se procedió a enjuagar con agua limpia.

3.5.6. Evaluación del porcentaje de germinación

3.5.6.1. Evaluación del porcentaje de germinación de la cebada y trigo

El porcentaje de germinación se realizó siguiendo el protocolo de Vivas y Mejía (2022) empleando placas Petri que a continuación se detalla.

- Se seleccionó una muestra al azar de 400 semillas de cebada y 400 semillas de trigo de la porción para la producción de FVH.
- Antes de colocar las semillas en las placas Petri se remojó las semillas de cebada y trigo por 24 h con el respectivo oreo por una hora luego de las primeras doce horas de remojo para estimular la oxigenación.
- Se formó cuatro grupos conformado por 100 semillas cada una y se agrupó por especie en las placas Petri para poder determinar el porcentaje de germinación.
- Se etiquetaron las placas por grupos y se le proporcionó un ambiente oscuro con un plástico negro dentro del invernadero convencional.
- Con la ayuda de un pulverizador manual se humedeció las semillas cuando fue necesario evitando el encharcamiento.
- Al quinto día de siembra se contó las semillas que emergieron en cada placa Petri, y fueron promediadas para sacar el porcentaje de germinación con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{promedio de las semillas germinadas} \times 100}{\# \text{ de semillas sembradas}}$$

3.5.6.2. Evaluación del porcentaje de germinación de la avena

Para evaluar el porcentaje de germinación de la avena se siguió el protocolo descrito de Vivas y Mejía (2022) con modificaciones:

- Se seleccionó una muestra al azar de 400 semillas de avena de la porción para la producción de FVH.
- Antes de colocar las semillas en las placas Petri se realizó el remojo solo una hora ya que la avena no soportó remojos con periodos largos.
- Se formó cuatro grupos conformado por 100 semillas cada una y se agrupó en las placas Petri para poder determinar el porcentaje de germinación.
- Se realizó el etiquetado proporcionándole un ambiente oscuro con un plástico negro dentro del invernadero convencional.
- Seguidamente se realizó oreos constantes cada 4 h durante el día para estimular la oxigenación ya que la avena fue muy exigente.

- Con la ayuda de un pulverizador manual se humedeció las semillas cuando fue necesario evitando el encharcamiento.
- Al quinto día de siembra se contó las semillas que emergieron en cada placa Petri, y fueron promediadas para sacar el porcentaje de germinación con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{promedio de semillas germinadas} \times 100}{\# \text{ de semillas sembradas}}$$

3.5.7. Pre-germinación

3.5.7.1. Pre-germinación de la cebada y trigo

- Las semillas de cebada y trigo fueron colocadas en agua limpia dentro de un tacho por 24 h, para activar el metabolismo del proceso pre-germinativo.
- Las 24 h se separaron en dos partes.
- Primero se sumergieron las semillas en agua las primeras 12 h.
- Luego se orearon las semillas por 1 h en un costal de malla raschel, con la finalidad de ayudar en la oxigenación.
- Seguidamente se sumergieron las semillas por otras 12 h (FAO, 2002).

3.5.7.2. Pre-germinación de la avena

- Las semillas de avena fueron colocadas en agua limpia dentro de un tacho por una hora para activar el metabolismo del proceso pre-germinativo, esto es debido a que la avena necesitó poco tiempo de remojo ya que no soportó estar mucho tiempo sumergido en el agua.
- Luego se orearon las semillas cada cuatro horas durante el día por tres días en un costal de malla raschel con la finalidad de ayudar en la oxigenación.
- Finalmente cuando aparecieron las primeras radículas con medidas de 0,5 a 1,0 cm se procedieron a sembrar en las bandejas (Vilcara y Pampa, 2023).

3.5.8. Siembra

Según la FAO (2002), para la producción de forraje verde hidropónico se recomienda una densidad de siembra de 2,2 a 3,5 kg de semillas por metro cuadrado. En esta investigación se empleó 3,4 kg de semillas por metro cuadrado en bandejas con dimensiones de 52x29x3 cm.

- En cada bandeja se empleó 512 gramos de semillas secas (peso inicial) de avena, cebada y trigo.
- En caso de la cebada y trigo la siembra se realizó en las bandejas luego de las 24 h de la pre-germinación.
- Mientras que para la avena la siembra se realizó al cuarto día de la pre-germinación cuando aparecieron las primeras radículas 0,5 a 1,0 cm (Vilcara y Pampa, 2023).
- Finalmente se realizó el tapado de las semillas con plástico negro para estimular la completa germinación y desarrollo inicial de la planta.
- El desarrollo inicial de la planta de cebada fue al quinto día, el desarrollo inicial de las plantas de trigo fue al sexto día y de las planta de la avena al séptimo día.

3.5.9. Riego

- El riego se realizó mediante nebulización, utilizando únicamente agua proveniente de un manantial. Para ello, se aprovechó la presión natural del agua, la cual fue conducida hasta el invernadero mediante una manguera. Durante los primeros días el riego se aplicó a todas las bandejas que contenían las semillas de avena, cebada y trigo, de acuerdo al requerimiento del cultivo y las condiciones ambientales del invernadero.
- A partir de la aparición de las primeras hojas, 2 cm aproximadamente, se dosificó por pulverización los microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético por 5 días siguiendo prácticas técnicas recomendadas en literatura especializada sobre forraje verde hidropónico (FAO,2002).
- En la cebada, las hojas aparecieron al quinto día, por lo que la aplicación de nutrientes, se realizó desde el día 5 hasta el día 9. En el caso del trigo, la emergencia de las hojas ocurrió al sexto día, y la dosificación se extendió hasta el día 10. Finalmente, en la avena, las hojas aparecieron al séptimo día, por lo que la aplicación de nutrientes se efectuó hasta el día 11.
- Los tratamientos con dos dosificaciones se realizó en los siguientes horarios 7 h 00 y 18 h 00 y los tratamientos con cuatro dosificaciones en los siguientes horarios 7 h 00; 9 h 00; 16 h 00 pm y 18 h 00 empleando las siguientes concentraciones.

- En los horarios que no se aplicaron nutrientes se regó por nebulización con agua a las 12 h 00 y 14 h 00 pm por minuto y medio para mantener húmedas las plantas.
- Una vez finalizada la dosificación de nutrientes en las diferentes concentraciones, se procedió a regar solo con agua mediante nebulización los días que restan, aplicando 1 minuto y medio cada cuatro horas, hasta el día 13. En el día 14, únicamente se realizó un riego por minuto y medio en el horario de mayor luminosidad, siguiendo las prácticas técnicas recomendadas en literatura sobre forraje verde hidropónico (FAO, 2002).

3.5.10. Cosecha y evaluación de variables

La cosecha y evaluación de variables se realizó el día 15.

Evaluación de la biomasa total. Para evaluar la biomasa total se pesó las plantas de avena, cebada y trigo contenidas en las bandejas de 0,15 m², considerando todas las bandejas correspondientes a cada tratamiento, siguiendo prácticas técnicas descritas en la literatura sobre forraje verde hidropónico (FAO, 2002).

Determinación de la altura de la planta. Para determinar la altura de la planta se eligió diez plantas por bandeja mediante un muestreo aleatorio simple, en todas las bandejas correspondientes a cada tratamiento. Cada planta fue medida con una regla milimetrada desde el cuello hasta el punto más alto de la copa, siguiendo criterios de muestreo en cultivos de alta densidad (Gómez y Gómez, 1984; Contreras et al., 2015).

Estimación de biomasa aérea. Para obtener la biomasa aérea de las plantas de avena, cebada y trigo se cortó a todas las plantas en la base del mesocótilo en todas las bandejas correspondientes a cada tratamiento. La biomasa aérea en forraje verde hidropónico hasta los primeros 15 días está conformada por el mesocótilo, coleóptilo, primera hoja y segunda hoja, siguiendo criterios de evaluación de forraje verde hidropónico (Birgi et al., 2018).

Cálculo de la biomasa radicular. Para determinar la biomasa radicular de las plantas de avena, cebada y trigo se cortaron todas las plantas en la base del mesocótilo en todas las bandejas correspondientes a cada tratamiento. Esta fracción del forraje verde hidropónico hasta los 15 días incluyó raíces, restos de semillas germinadas y semillas no germinadas, siguiendo criterios de evaluación

de forraje verde hidropónico (Birgi et al., 2018), ya que la estructura del tapete impidió una separación individual sin dañar la muestra.

Evaluación del rendimiento. La evaluación del rendimiento se realizó a partir de la biomasa, calculando la producción de materia verde en kilogramos por metro cuadrado a los 15 días por cada tratamiento, siguiendo prácticas técnicas descritas en la literatura sobre forraje verde hidropónico (FAO, 2002).

3.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la investigación fueron analizados utilizando Minitab, mediante un ANOVA unifactorial para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos. Posteriormente, la comparación de medias se realizó empleando la prueba de Tukey al 95%, disponible en Minitab, para identificar las diferencias significativas entre los tratamientos.

IV. RESULTADOS

Tabla 6. Promedios de los tratamientos aplicados para la evaluación del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena” utilizando microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.

Fuente de nutrientes	Conc.	Frecuencia de dosificaciones por día	Tto.	Biomasa total (kg)	Altura de la planta (cm)	Biomasa aérea (kg)	Biomasa radicular en (kg)	Rendimiento (kg/m ²)
Microorganismos eficaces activados	0,4%	2	T ₁	2,93 ± 0,15 a	14,43 ± 0,77 ab	0,68 ± 0,09 ab	2,25 ± 0,16 ab	19,45 ± 0,99 a
		4	T ₂	2,89 ± 0,08 ab	14,40 ± 0,68 ab	0,63 ± 0,04 ab	2,26 ± 0,05 ab	19,16 ± 0,51 ab
	0,6%	2	T ₃	2,67 ± 0,19 ab	14,45 ± 0,99 ab	0,66 ± 0,08 ab	2,01 ± 0,15 bcd	17,70 ± 1,28 ab
		4	T ₄	2,87 ± 0,13 ab	14,04 ± 0,60 ab	0,58 ± 0,09 bc	2,29 ± 0,07 a	19,00 ± 0,88 ab
Solución hidropónica	5A2B (1 L _{H2O})	2	T ₅	2,84 ± 0,08 ab	15,05 ± 0,55 a	0,72 ± 0,07 ab	2,11 ± 0,08 abc	18,80 ± 0,51 ab
		4	T ₆	2,90 ± 0,19 ab	14,92 ± 0,49 a	0,76 ± 0,07 a	2,14 ± 0,14 abc	19,21 ± 1,26 ab
	5A2B (2 L _{H2O})	2	T ₇	3,0 ± 0,10 a	14,34 ± 0,73 ab	0,71 ± 0,05 ab	2,29 ± 0,07 a	19,87 ± 0,68 a
		4	T ₈	2,79 ± 0,14 ab	14,43 ± 1,06 ab	0,66 ± 0,09 ab	2,13 ± 0,07 abc	18,50 ± 0,94 ab
Fertilizante sintético	2,5 g (1 L _{H2O})	2	T ₉	2,57 ± 0,27 bc	14,90 ± 1,07 a	0,62 ± 0,13 ab	1,95 ± 0,16 cd	17,02 ± 1,78 bc
		4	T ₁₀	2,92 ± 0,18 ab	15,09 ± 0,72 a	0,76 ± 0,01 a	2,15 ± 0,18 abc	19,35 ± 1,20 ab
	2,5 g (1,5 L _{H2O})	2	T ₁₁	2,70 ± 0,13 ab	14,61 ± 0,48 ab	0,70 ± 0,04 ab	2,0 ± 0,10 bcd	17,91 ± 0,83 ab
		4	T ₁₂	3,01 ± 0,18 a	15,46 ± 0,71 a	0,77 ± 0,05 a	2,24 ± 0,15 ab	19,92 ± 1,17 a
Sin nutrientes	H ₂ O		T ₁₃	2,25 ± 0,12 c	13,24 ± 0,50 b	0,45 ± 0,07 c	1,81 ± 0,07 d	14,95 ± 0,76 c

Prueba de Tukey. Las medias que no comparten una letra en las columnas son significativamente diferentes (p<0,05).

* 5 ml de la solución A (5A)

* 2 ml de la solución B (2B)

Tabla 7. Promedios de los tratamientos aplicados para la evaluación del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” utilizando microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.

Fuente de nutrientes	Conc.	Frecuencia de dosificaciones por día	Tto	Biomasa total (kg)	Altura de la planta (cm)	Biomasa aérea (kg)	Biomasa radicular (kg)	Rendimiento (kg/m ²)
Microorganismos eficaces (ME-A)	0,4%	2	T ₁	3,34 ± 0,10 a	17,43 ± 0,81 a	0,90 ± 0,04 abc	2,44 ± 0,07 abc	22,14 ± 0,67 a
		4	T ₂	3,50 ± 0,12 a	16,80 ± 1,43 ab	0,98 ± 0,03 ab	2,52 ± 0,13 a	23,23 ± 0,78 a
	0,6%	2	T ₃	3,14 ± 0,18 abc	16,50 ± 0,80 ab	0,81 ± 0,06 bc	2,33 ± 0,11 abc	20,82 ± 1,20 abc
		4	T ₄	3,42 ± 0,06 a	17,29 ± 1,05 a	0,93 ± 0,07 abc	2,50 ± 0,06 ab	22,71 ± 0,43 a
Solución hidropónica	5A2B (1 L _{H2O})	2	T ₅	3,22 ± 0,21 ab	17,25 ± 1,05 a	0,88 ± 0,08 abc	2,34 ± 0,12 abc	21,34 ± 1,32 ab
		4	T ₆	3,29 ± 0,06 ab	17,18 ± 1,19 a	0,99 ± 0,04 a	2,30 ± 0,03 abcd	21,85 ± 0,41 ab
	5A2B (2 L _{H2O})	2	T ₇	3,22 ± 0,12 ab	16,69 ± 1,00 ab	0,90 ± 0,05 abc	2,33 ± 0,07 abc	21,38 ± 0,92 ab
		4	T ₈	3,27 ± 0,15 ab	16,61 ± 1,09 ab	0,90 ± 0,05 abc	2,37 ± 0,11 abc	21,70 ± 1,02 ab
Fertilizante sintético	2,5 g (1 L _{H2O})	2	T ₉	3,16 ± 0,10 abc	17,16 ± 0,61 ab	0,93 ± 0,04 abc	2,23 ± 0,09 cde	20,93 ± 0,7 abc
		4	T ₁₀	3,28 ± 0,04 ab	18,06 ± 0,75 a	0,99 ± 0,04 a	2,29 ± 0,06 abcd	21,78 ± 0,29 ab
	2,5 g (1,5.L _{H2O})	2	T ₁₁	2,93 ± 0,16 bc	16,93 ± 1,00 ab	0,88 ± 0,12 abc	2,05 ± 0,07 de	19,43 ± 1,12 bc
		4	T ₁₂	3,17 ± 0,13 ab	16,85 ± 1,23 ab	0,91 ± 0,05 abc	2,26 ± 0,14 bcde	21,02 ± 1,9 ab
Sin nutrientes	H ₂ O		T ₁₃	2,79 ± 0,09 c	15,01 ± 0,43 b	0,77 ± 0,07 c	2,03 ± 0,07 e	18,53 ± 0,64 c

Las medias que no comparten una letra en las columnas son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

* 5 ml de la solución A (5A)

* 2 ml de la solución B (2B)

Tabla 8. Promedios de los tratamientos aplicados para la evaluación del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” utilizando microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.

Fuente de nutrientes	conc.	Frecuencia de dosificaciones por día	Tto.	Biomasa total (kg)	Altura de la planta (cm)	Biomasa aérea (kg)	Biomasa radicular (kg)	Rendimiento (kg/m ²)
Microorganismos eficaces activados	0,4%	2	T ₁	2,88 ± 0,08 abc	12,11 ± 0,36 ab	0,83 ± 0,04 abc	2,05 ± 0,10 ab	19,08 ± 0,53 abc
		4	T ₂	2,87 ± 0,07 abc	12,52 ± 0,97 ab	0,83 ± 0,08 abc	2,04 ± 0,06 ab	19,04 ± 0,50 abc
	0,6%	2	T ₃	2,90 ± 0,07 abc	12,60 ± 0,54 ab	0,89 ± 0,05 ab	2,01 ± 0,10 ab	19,22 ± 0,47 abc
		4	T ₄	3,06 ± 0,27 ab	12,71 ± 1,75 ab	0,88 ± 0,08 abc	2,19 ± 0,19 ab	20,32 ± 1,79 ab
Solución hidropónica	5A2B (1 L _{H2O})	2	T ₅	2,81 ± 0,20 abc	12,14 ± 0,93 ab	0,83 ± 0,08 abc	1,99 ± 0,14 ab	18,66 ± 1,35 abc
		4	T ₆	3,17 ± 0,16 a	13,77 ± 0,89 a	0,95 ± 0,06 a	2,22 ± 0,12 a	21,05 ± 1,07 a
	5A2B (2 L _{H2O})	2	T ₇	2,72 ± 0,22 bc	12,33 ± 0,11 ab	0,78 ± 0,06 bc	1,94 ± 0,17 ab	18,04 ± 1,45 bc
		4	T ₈	2,91 ± 0,18 abc	12,95 ± 0,52 a	0,83 ± 0,05 abc	2,09 ± 0,15 ab	19,31 ± 1,19 abc
Fertilizante sintético	2,5 g (1 L _{H2O})	2	T ₉	2,69 ± 0,24 c	12,80 ± 0,62 ab	0,77 ± 0,05 bc	1,92 ± 0,21 b	17,85 ± 1,57 c
		4	T ₁₀	2,81 ± 0,19 abc	13,03 ± 0,30 a	0,86 ± 0,04 abc	1,95 ± 0,15 ab	18,65 ± 1,23 abc
	2,5 g (1,5L _{H2O})	2	T ₁₁	2,69 ± 0,11 c	12,75 ± 0,58 ab	0,76 ± 0,04 cd	1,93 ± 0,08 b	17,83 ± 0,72 c
		4	T ₁₂	2,96 ± 0,15 abc	12,81 ± 1,02 ab	0,86 ± 0,07 abc	2,09 ± 0,11 ab	19,60 ± 1,02 abc
Sin nutrientes	H ₂ O		T ₁₃	2,18 ± 0,06 d	11,09 ± 0,23 b	0,62 ± 0,02 d	1,58 ± 0,06 c	14,44 ± 0,37 d

Las medias que no comparten una letra en las columnas son significativamente diferentes (p<0,05).

* 5 ml de la solución A (5A)

* 2 ml de la solución B (2B)

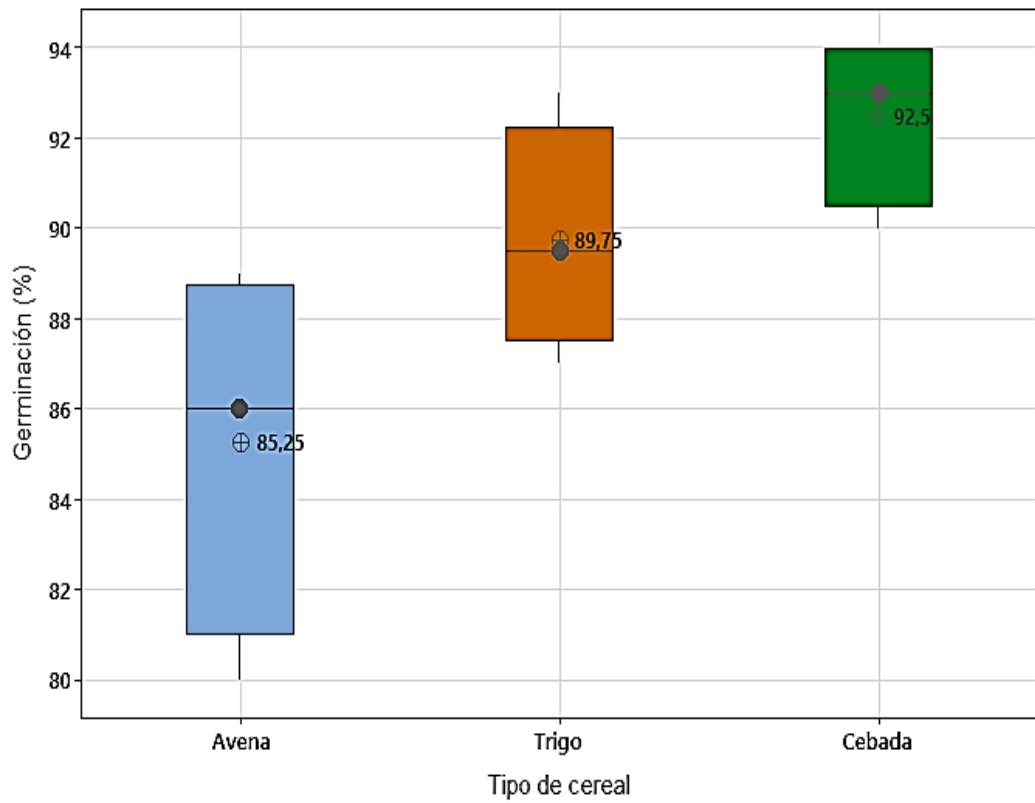
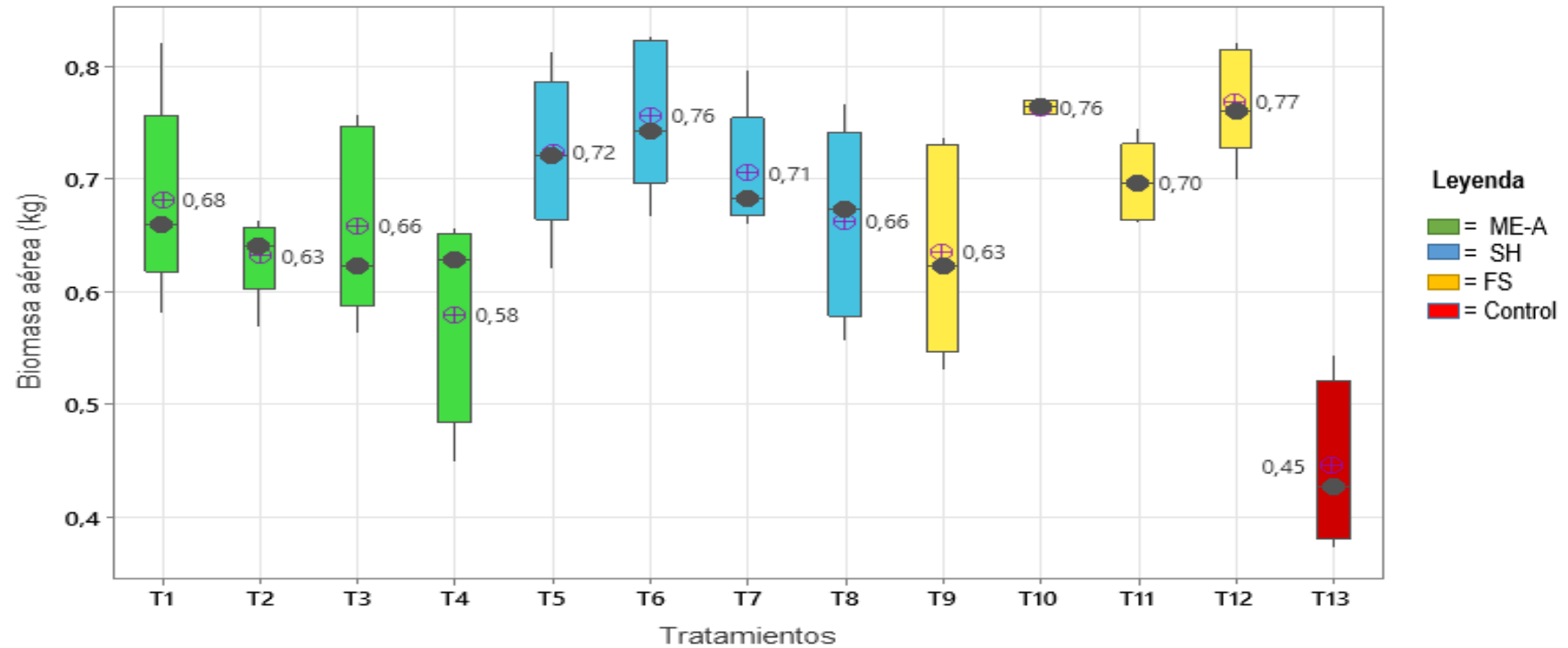


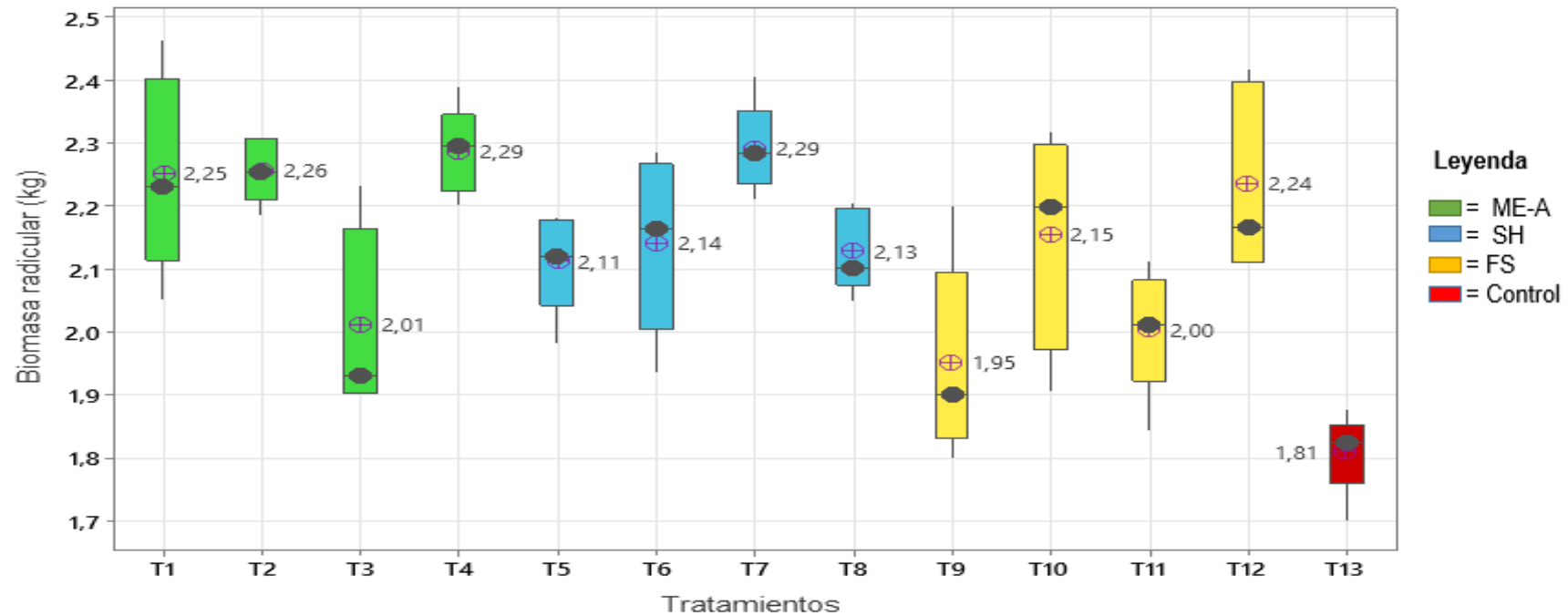
Figura 5. Porcentaje de germinación promedio (cuatro repeticiones) de granos de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo” durante cinco días.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

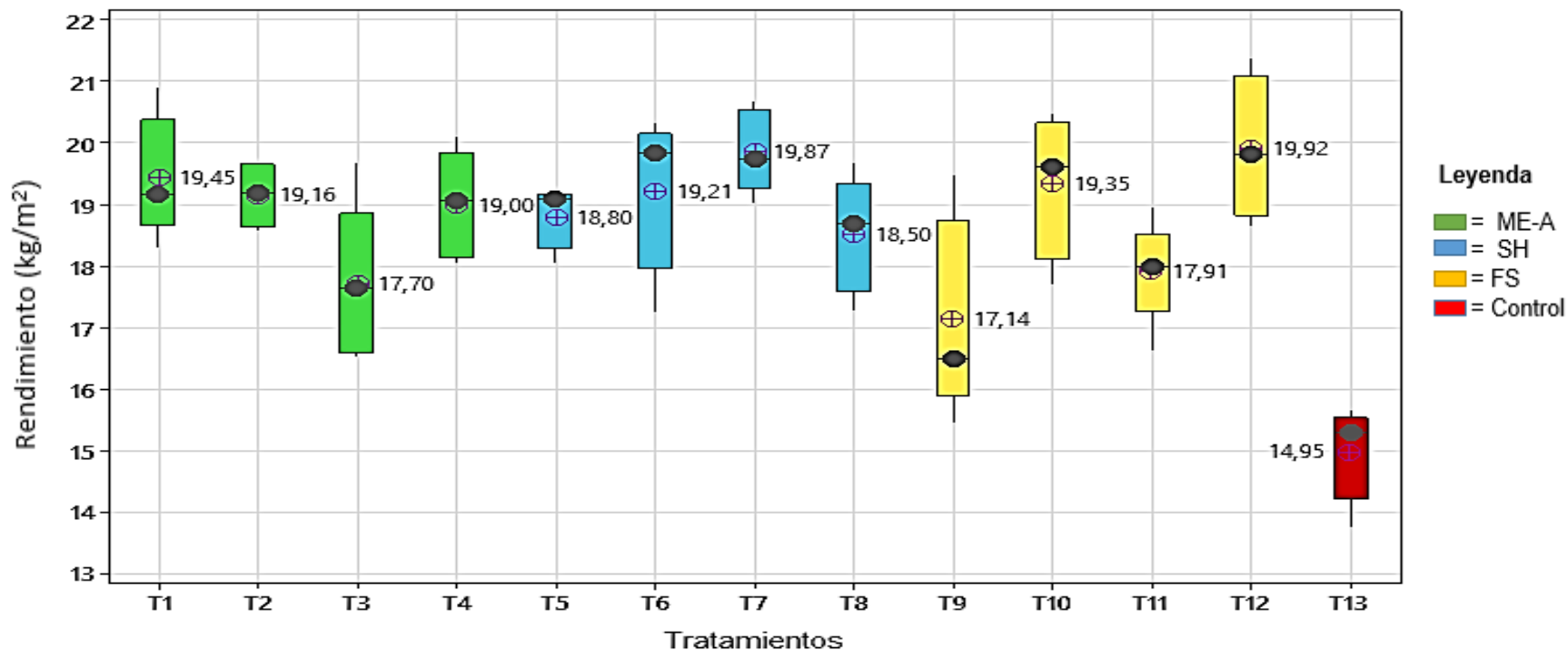
Figura 6. Promedio de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

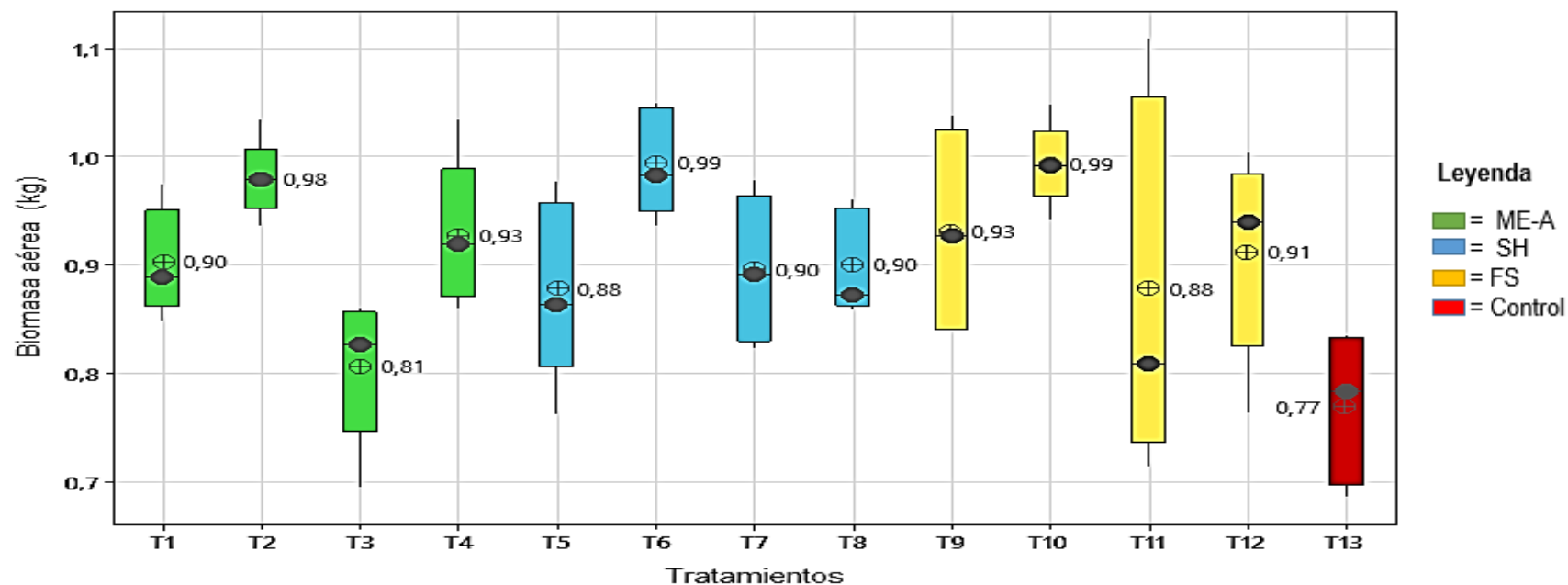
Figura 7. Promedio de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

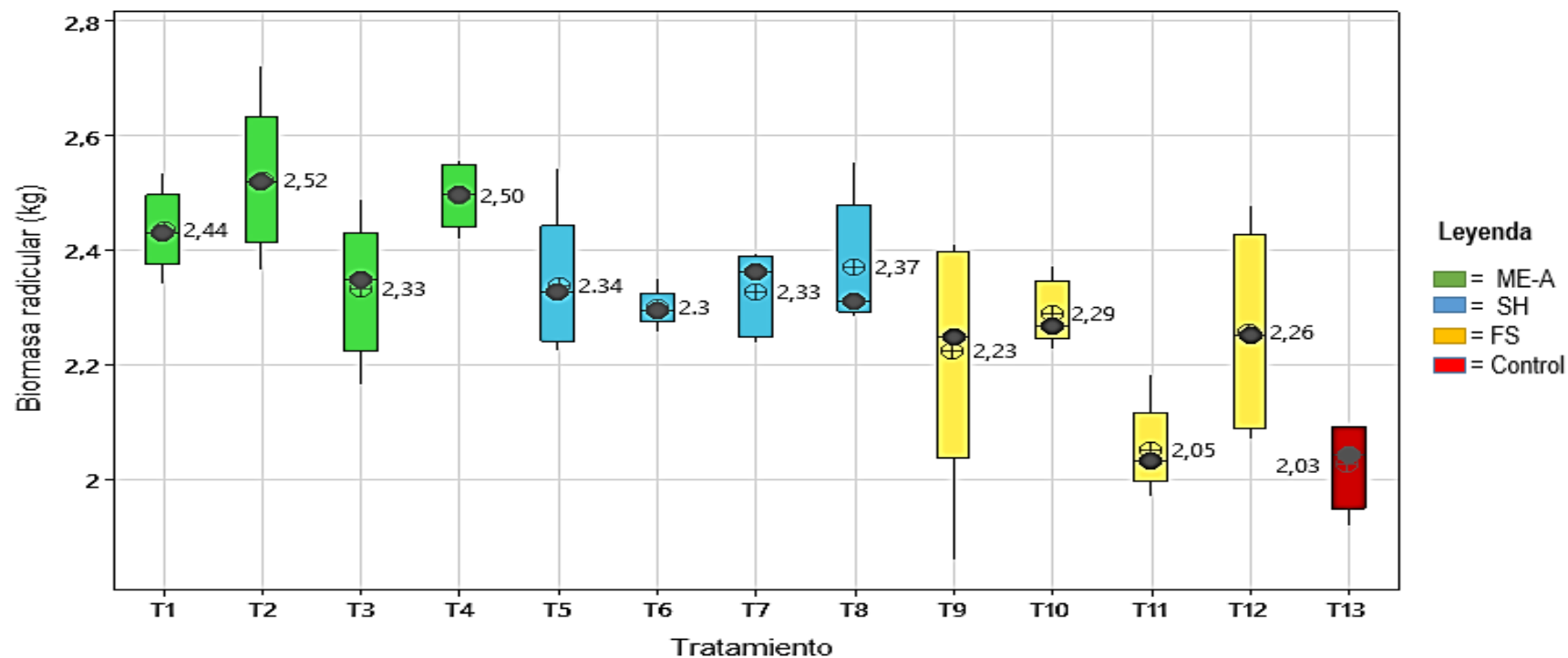
Figura 8. Promedio del rendimiento (kg/m²) del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

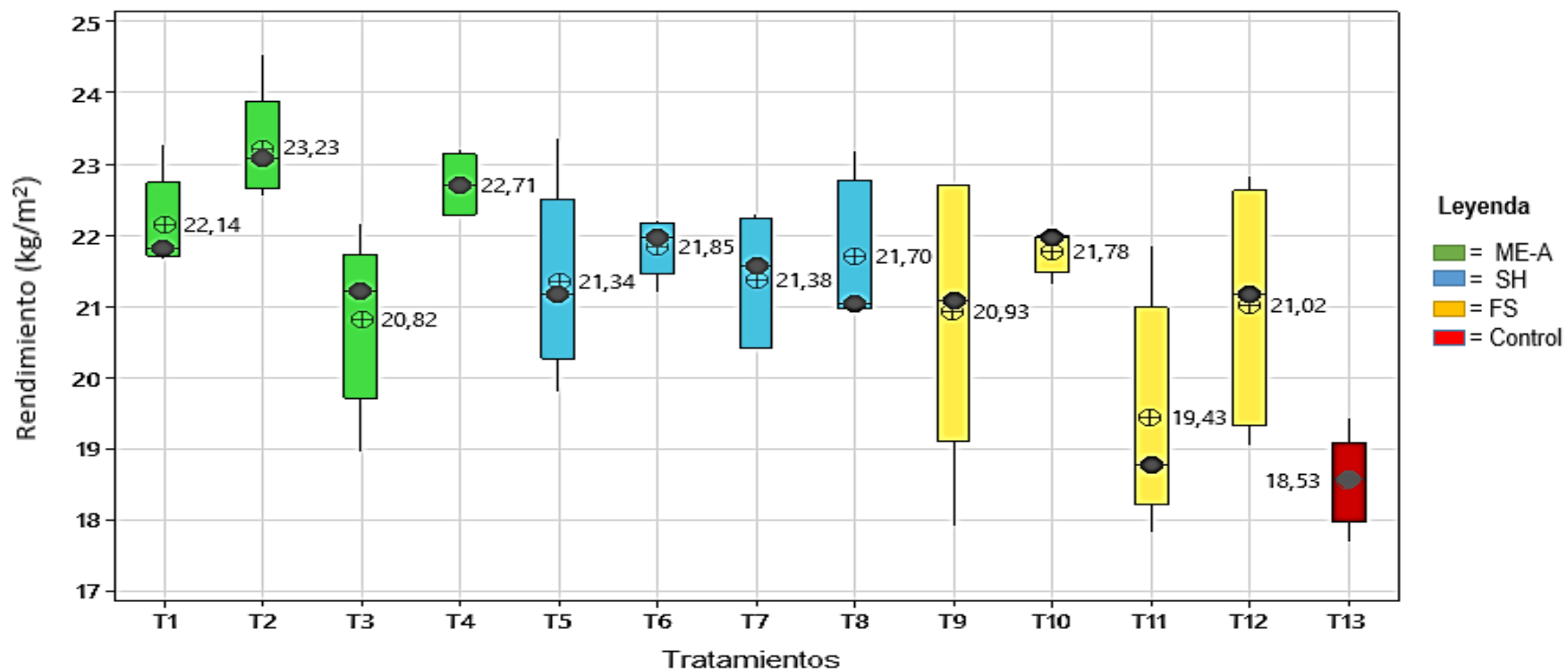
Figura 9. Promedio de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

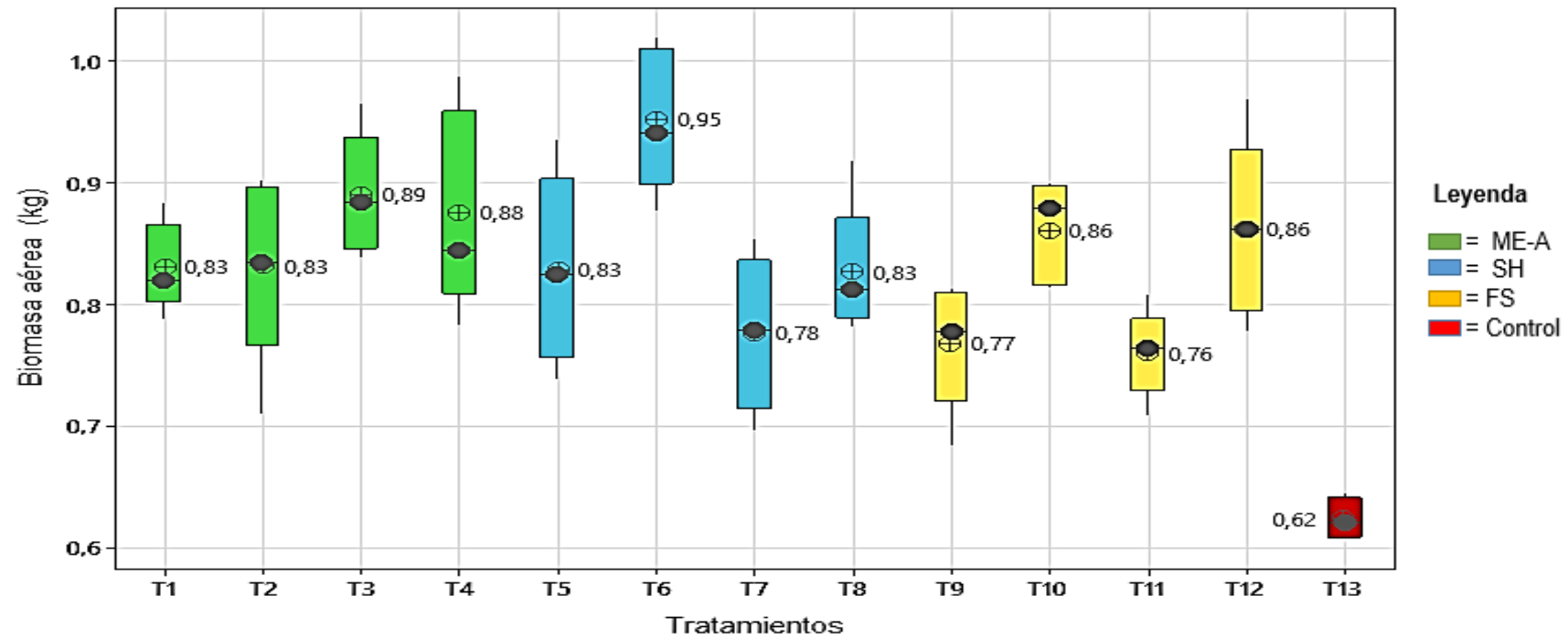
Figura 10. Promedio de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

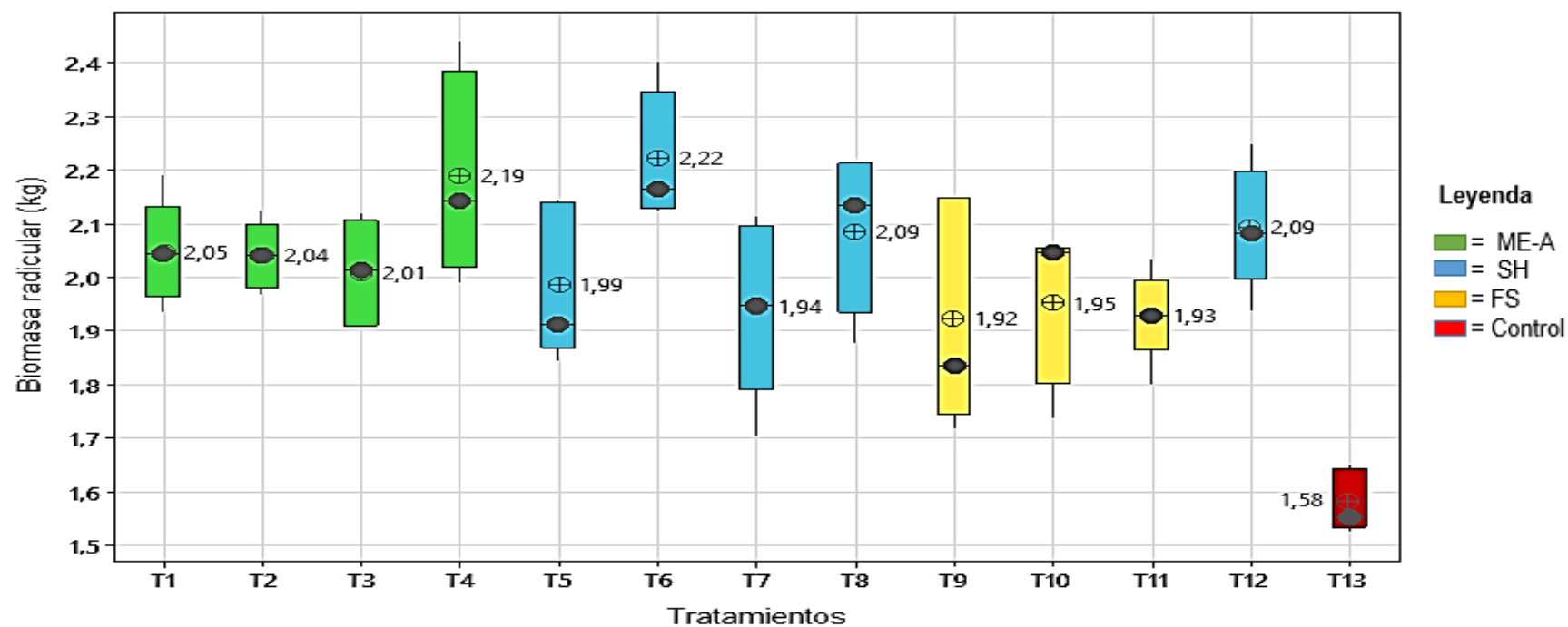
Figura 11. Promedio del rendimiento (kg/m²) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

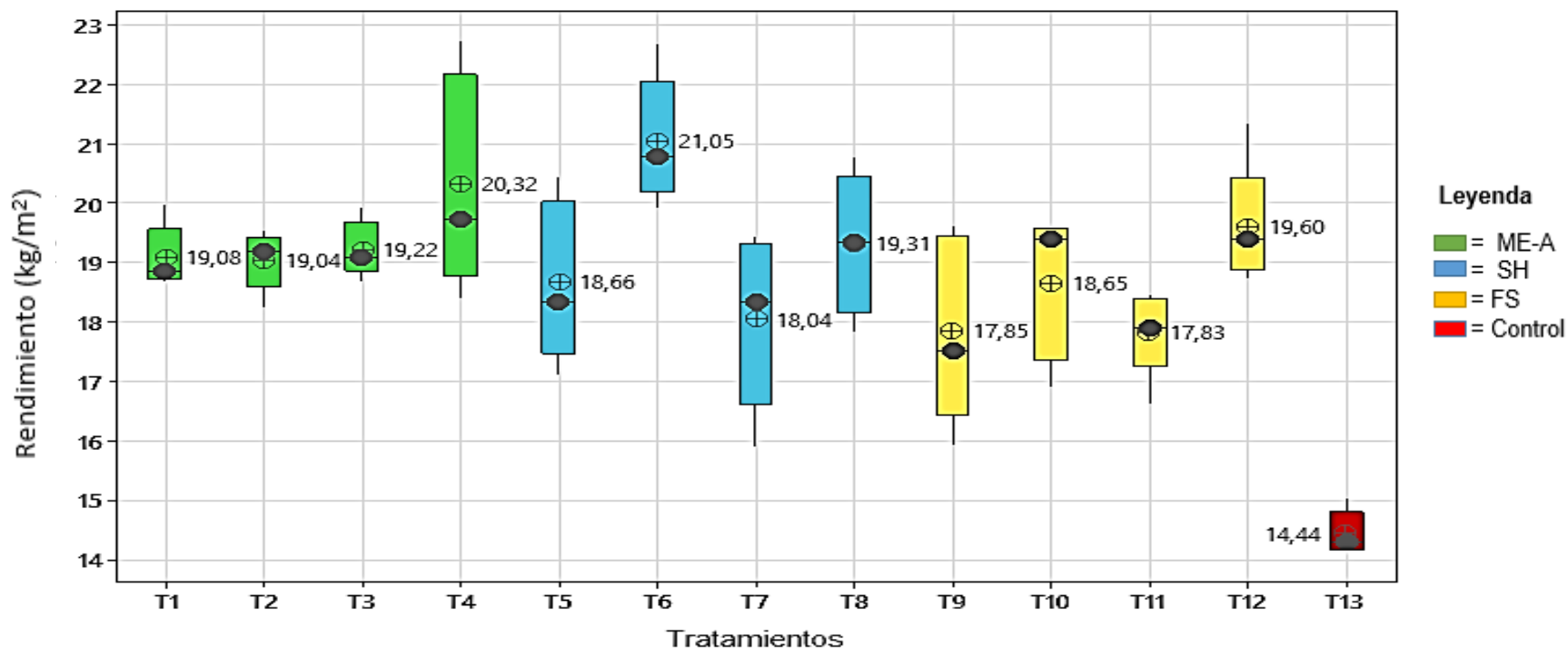
Figura 12. Promedio de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

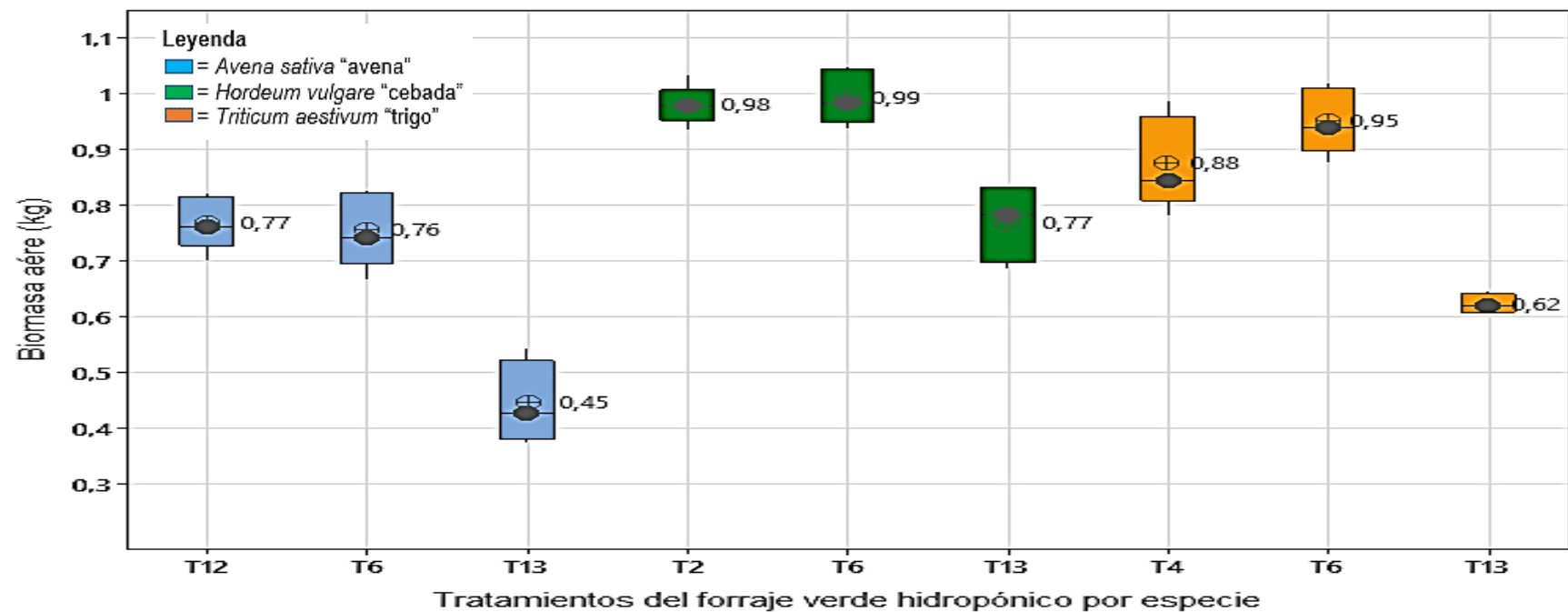
Figura 13. Promedio de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Conc.	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	5A2B/1 L	5A2B/1 L	5A2B/2 L	5A2B/2 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1 L	2,5 g/1,5 L	2,5 g/1,5 L	-
Aplicaciones/día	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B.

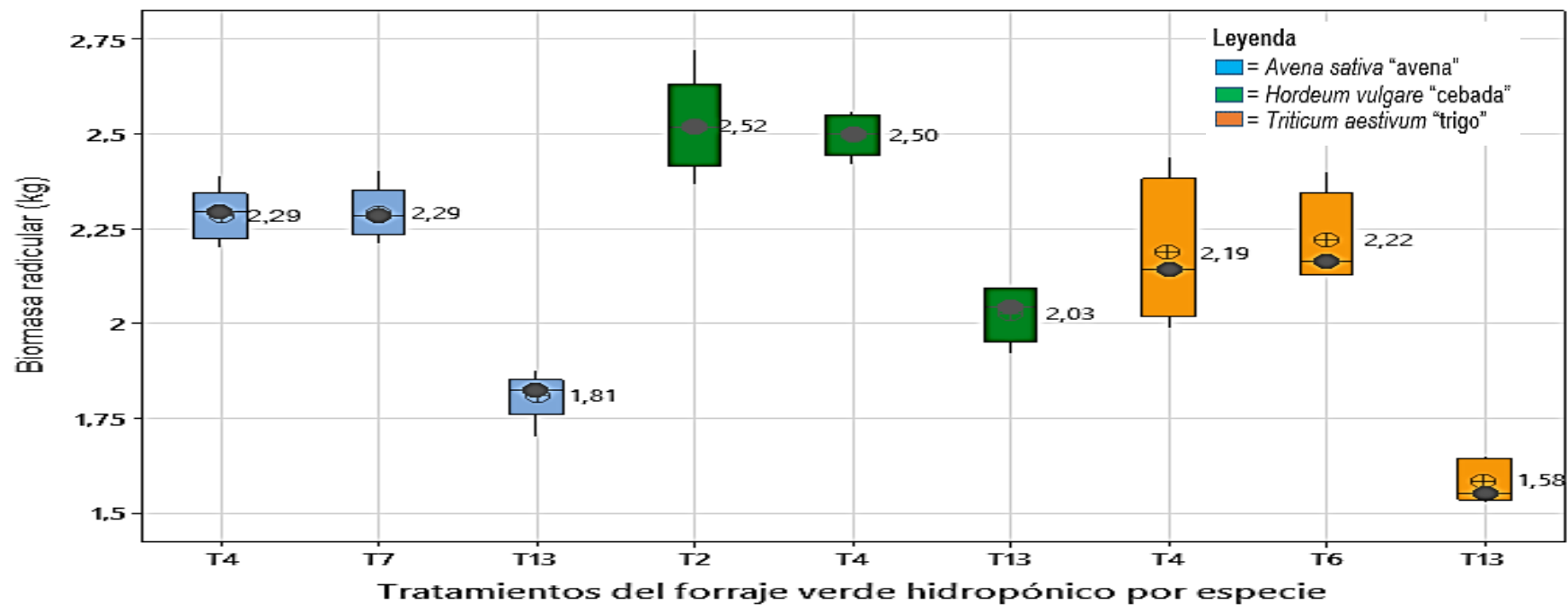
Figura 14. Promedio del rendimiento (kg/m^2) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” a los 15 días, bajo 13 tratamientos con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamiento	T12	T6	T13	T2	T6	T13	T4	T6	T13
Nutriente	FS (2,5g/1,5 L)	SH (5A2B/1 L)	-	ME-A (0,4%)	SH (5A2B/1 L)	-	ME-A (0,6%)	SH (5A2B/1 L)	-
Aplicaciones	4	4	-	4	4	-	4	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B. **T13:** tratamiento control.

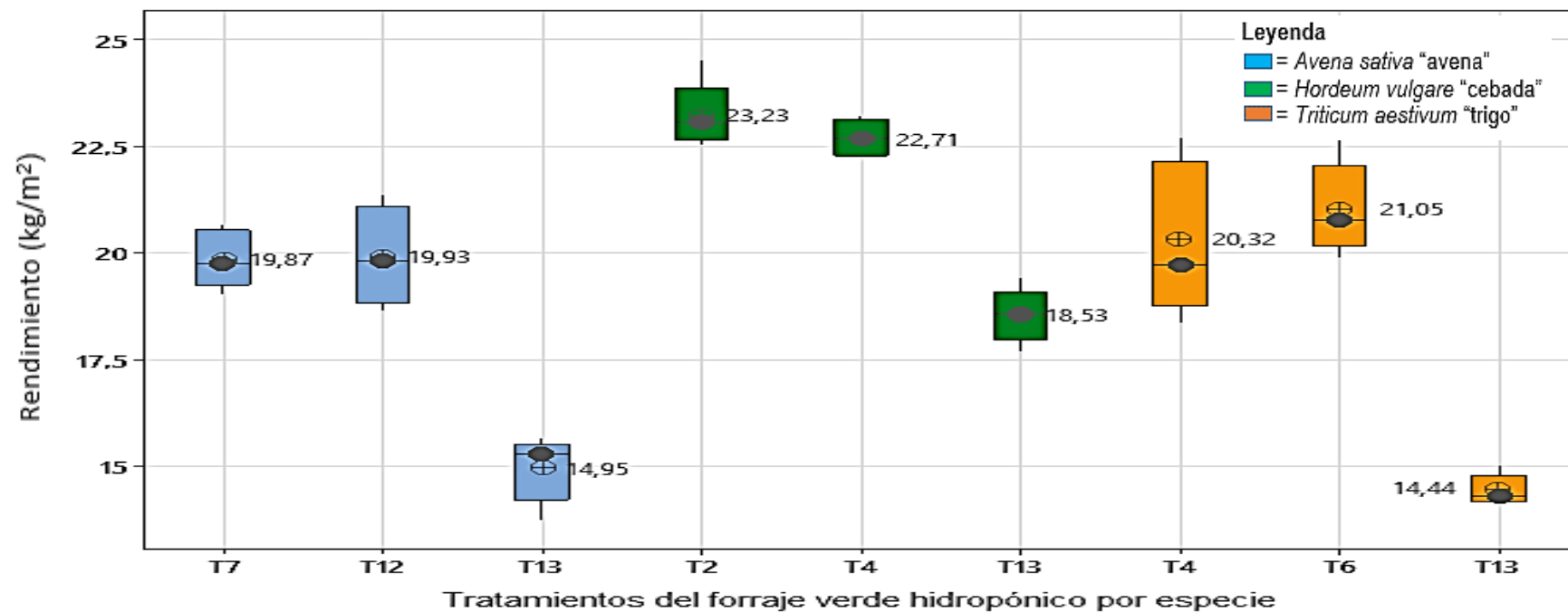
Figura 15. Promedio de la biomasa aérea (kg) en 15 días de los dos mejores tratamientos del forraje verde hidropónico de la avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamiento	T4	T7	T13	T2	T4	T13	T4	T6	T13
Nutriente	ME-A (0,6%)	SH (5A2B/2 L)	-	ME-A (0,4%)	ME-A (0,6%)	-	ME-A (0,6%)	SH (5A2B/1 L)	-
Aplicaciones	4	2	-	4	4	-	4	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B. **T13:** Tratamiento control.

Figura 16. Promedio de la biomasa radicular (kg) en 15 días de los dos mejores tratamientos del forraje verde hidropónico de la avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.



Tratamiento	T7	T12	T13	T2	T4	T13	T4	T6	T13
Nutriente	SH (5A2B/2 L)	FS (2,5 g/1,5 L)	-	ME-A (0,4%)	ME-A (0,6%)	-	ME-A (0,6%)	SH (5A2B/1 L)	-
Aplicaciones	2	4	-	4	4	-	4	4	-

ME-A: Microorganismos eficaces activados. **SH:** Solución hidropónica. **FS:** Fertilizante sintético. **5A:** 5 ml de la solución A **2B:** 2 ml de la solución B. **T13:** Tratamiento control.

Figura 17. Promedio del rendimiento (kg/m^2) en 15 días de los dos mejores tratamientos del forraje verde hidropónico de la avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.

V. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados de la biomasa total de forraje verde hidropónico (FVH) de la avena (Tabla 6), el tratamiento T12 que consistió en aplicar 2,5 g de fertilizante sintético (FS) disuelto en 1,5 L de agua con cuatro dosificaciones diarias y una conductividad eléctrica (CE) aproximada de 1200 a 1255 uS/cm, registró la mayor biomasa alcanzando 3,01 kg/0,15 m², seguido del tratamiento T7 correspondiente a la aplicación de solución hidropónica (SH) a razón de 5 ml de A y 2 ml de B para 2 L de agua, y una CE aproximada de 640 a 690 uS/cm con dos dosificaciones diarias obteniendo 3,0 kg/0,15 m² a partir de 512 g de semilla invertida con porcentaje de germinación de 85,25%. La producción de biomasa estuvo sometida a temperaturas promedio entre 6,52 °C de noche y 36,65 °C de día, con humedad relativa de 28,18 a 81,27% (Anexo 1). La alta biomasa observada en T12 y T7 puede explicarse por la disponibilidad inmediata de macronutrientes esenciales como N, P y K que favorecieron la división celular y fotosíntesis tal como indican (Condori y Flores, 2019) y (Charca, 2023), estos resultados frente al tratamiento control (sin nutrientes) nos sugieren que los balances adecuados de nutrientes actuaron como un amortiguador fisiológico frente a las fluctuaciones térmicas, siendo clave para alcanzar altos niveles de biomasa en condiciones ambientales variables a 3630 m s.n.m. Cabe mencionar que los microorganismos eficaces también mostraron un rendimiento superior al control, lo que sugiere un efecto positivo en la producción de biomasa.

Estos hallazgos de biomasa total en la avena son similares a los reportados por Villalta (2014), quien obtuvo una biomasa de 3,23 kg/0,15 m² a los 21 días con microorganismos eficaces al 0,25%. También estos datos son más altos que los obtenidos por Huiza (2015), que alcanzó 1,98 kg/0,15 m² utilizando té de humus al 20%. De la misma manera superan los 0,81 kg/0,15 m² con SH y los 0,63 kg/0,15 m² utilizando té de humus de lombriz reportados Alvarez (2018). Estos estudios

resaltan la importancia de los nutrientes en la optimización de la biomasa, lo que coincide con los hallazgos actuales evidenciando su potencial como una alternativa sostenible frente a la escasez de suelo agrícola y agua.

En cuanto a la altura del FVH de las plantas de avena (Tabla 6) el tratamiento T12 con 2,5 g de fertilizante sintético (FS) en 1,5 L de agua y frecuencia de dosificación cuatro veces al día, evidenció la media más alta con 15,46 cm, esto sugiere que una conductividad eléctrica (CE) aproximada de 1200 a 1255 uS/cm de FS y cuatro dosificaciones diarias tiene un efecto positivo en el crecimiento de las plantas de avena. Asimismo los demás tratamientos mostraron promedios superiores al del tratamiento control T13 (13,24 cm), lo que indica que la falta de nutrientes y bioestimulantes tiene un impacto negativo significativo en el crecimiento de las plantas.

Las medidas de la altura de la avena obtenidas en esta investigación 15,46 cm en el T12 es similar a los 15,59 cm reportados por Morales et al. (2020), quienes aplicaron macro y micro nutrientes en el mismo período de tiempo. Estos resultados también son consistentes con los de Villalta (2014), con un valor de 15,7 cm de forraje hidropónico de avena utilizando una concentración de 0,25% de ME. Aunque este valor es inferior al obtenido por Alvarez (2018), con una altura de 18,24 cm bajo condiciones similares, inoculando té de humus. Igualmente Delgado (2016), obtuvo 27,4 cm a los 24 días de producción de FVH. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en este estudio la medición de la altura de FVH de avena se realizó a los 15 días, y es probable que a los 24 días, los resultados se asemejen a los reportados por (Delgado, 2016).

La biomasa aérea del FVH de avena (Figura 6) fue significativamente diferente mayor al emplear FS y SH. El tratamiento T12, con 2,5 g de FS diluido en 1,5 L de agua y cuatro aplicaciones, generó la mayor biomasa aérea con 0,77 kg. De la misma manera el T6 empleando SH con 5 ml de A y 2ml de B para 1 L de agua logró 0,76 kg. Este estudio demuestra que se obtiene mayor biomasa aérea en la avena cuando las conductividades eléctricas se encuentran entre 1100 y 1255 uS/cm y a cuatro dosificaciones diarias durante cinco días a partir del séptimo día a 3630 m s.n.m. Al menos en este ensayo los microorganismos eficaces activados (ME-A) mostraron menor desempeño comparados al FS y SH; lo que demuestra que la disponibilidad inmediata de nutrientes en forma química tiene un impacto directo y positivo en la obtención de biomasa aérea en la avena. En cambio el tratamiento control T13 solo con agua presentó la biomasa más baja.

Estos logros de mayor biomasa aérea de la avena respecto al control sin nutrientes son reforzados por Díaz (2019), demostrando que para obtener una mayor biomasa aérea en FVH es necesario aplicar nutrientes, como es el caso del abono foliar (4N-20), lo cual favorece un mayor rendimiento. También es respaldado por Coaquira (2018), quien menciona que la aplicación de soluciones con diferentes concentraciones de nitrógeno promueve el desarrollo foliar en comparación al riego solo con agua. Por otro lado, Jordan (2024) indica que la aplicación de bioestimulantes, como el Agrispon, incrementa la altura de la planta por ende la biomasa aérea, obteniendo mejores resultados en comparación con un grupo control (solo agua).

Los resultados obtenidos sobre la biomasa radicular de FVH de la avena (Figura 7) muestran que el tratamiento T7 registró la mayor acumulación, con un valor de 2,29 kg/0,15 m², al aplicar SH 5 ml de solución A y 2 ml de solución B diluido en 2 L de agua cuya conductividad eléctrica fue 640 a 690 uS/cm; seguido del tratamiento T4 con 2,28 kg/0,15 m², aplicando ME-A al 0,6% con cuatro dosificaciones diaria. En este estudio se puede apreciar que una baja conductividad eléctrica favorece el desarrollo radicular, investigación que concuerda con FAO (2002) y Munns y Tester (2008), al indicar que las raíces jóvenes son sensibles al exceso de sales. Así mismo el uso de ME-A con mayor concentración y frecuencia de aplicación estimulan el desarrollo radicular. Confirmando la necesidad del aporte nutricional para el desarrollo radicular comparado al control (solo agua).

La información proporcionada en este estudio sobre la mayor biomasa radicular de la avena comparado al grupo control son respaldados con los hallazgos de Machaca (2021), quien al evaluar el efecto de microorganismos eficaces para la producción de FVH en cebada, trigo y maíz, observó un incremento significativo en el desarrollo radicular con el tratamiento EM-A al 0,25%. De manera similar, Díaz (2019) señaló que la adición progresiva de abono foliar (4N-20) favorece la formación de un colchón radicular más denso, lo cual también se refleja en los resultados de esta investigación al emplear fertilizante sintético y solución hidropónica. Además, Alvarez (2018), al emplear Té de humus de lombriz, destacó su capacidad para estimular el crecimiento de las raíces en avena y cebada, dato que refuerza la hipótesis que el uso de productos orgánicos como ME-A, tiene un impacto positivo en la biomasa radicular.

En el experimento (Figura 8), el tratamiento T12 que consistió en aplicar 2,5 g de fertilizante sintético (FS) disuelto en 1,5 L de agua, con cuatro aplicaciones diarias logró el mayor rendimiento de FVH de la avena, alcanzando un total de 19,93 kg/m² en 15 días. Este resultado indicó que una mayor frecuencia de aplicación y una CE que oscila de 1200 a 1255 uS/cm con pH entre 5,5 a 6,5 de SH favorecieron la disponibilidad de nutrientes, en consecuencia, el rendimiento de FVH en la avena. De manera similar el tratamiento T7 administrando solución hidropónica (SH) con 5 ml de la solución A y 2 ml de la solución B diluido en dos litro de agua y dos aplicaciones diarias obtuvo un rendimiento de 19,87 kg/m², demostrando que con menor CE (640 a 690 uS/cm) y menor frecuencia de aplicación también es posible obtener altos rendimientos, indicando que la composición nutricional es fundamental para obtener buenos rendimientos en el FVH de la avena. Finalmente, en los tratamientos con ME-A, el tratamiento T1, con una concentración del 0,4% y dos aplicaciones diarias, obtuvo un rendimiento de 19,45 kg/m², demostrando que este bioinsumo orgánico también fue eficaz para promover el rendimiento del FVH en la avena.

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) registrada en kg/m² de la avena en este estudio a los 15 días fue menor al de la cebada y trigo (Figura 15); pero mayores en relación al tiempo a los reportados por Villalta (2014), que indicó 21,39 kg/m² de FVH de avena con una concentración del 0,25% de ME a los 21 días. Por otro lado estos valores superan ampliamente a Albert et al. (2016), Huiza (2015) y Alvarez (2018), quienes alcanzaron rendimientos entre 4,4 kg/m² a 13,2 kg/m² empleando soluciones hidropónicas (5A2B) y té de humus de lombriz; estos autores coinciden en que la adición de nutrientes favorece el desarrollo de las plantas de avena frente a los cultivos no fertilizados.

La biomasa total destacada de la cebada (Tabla 7) en este estudio fue el tratamiento T2, logrando 3,5 kg/0,15 m², con la aplicación de microorganismos eficaces activados (ME-A) al 0,4% y cuatro frecuencias de aplicación por día. Le siguió el tratamiento T4 (ME-A al 0,6% con cuatro dosificaciones diarias) con 3,42 kg/0,15 m², superando a la solución hidropónica, fertilizante sintético y al tratamiento control sin nutrientes. Los resultados empleando ME-A se deben a las sustancias bioactivas liberadas en el proceso anaeróbico que promovieron el crecimiento vegetal como indica (Naik et al., 2020). Entre los efectos de los ME-A están la capacidad de inhibir microorganismos patógenos, mejorar la absorción de agua y nutrientes, y la creación de una microbiota equilibrada en el sistema

hidropónico, tal como señala (Quispe y Salas, 2022). Esta acción conjunta evitó el impacto del estrés ambiental, ya que la temperatura máxima promedio fue de 36,38C° y mínima de 6,07C° así como la humedad relativa variable promedio entre 86,7 y 39,3% (Anexo 2).

Los hallazgos sobre la biomasa total del FVH de la cebada en esta investigación con T2 (3,5 kg/0,15 m²) superan los reportados por Machaca (2021), que obtuvo 1,25 kg/0,15 m² con la aplicación de ME-A al 0,5% a partir de 354,8 g de semilla invertida. También se observó una mayor biomasa a la reportada por Flores y Chilon (2019), quienes registraron 2,58 kg/0,15 m² de biomasa con 349,5 g de semilla invertida. En general, los tratamientos aplicados en esta investigación demostraron ser más efectivos, logrando mayor eficiencia en la conversión de semilla a biomasa, lo que resalta la efectividad de estos métodos para promover la biomasa de la cebada.

Los tratamientos con fertilizante sintético (FS) con cuatro dosificaciones diarias (T10) CE de 1,440 a 1500 uS/cm y microorganismos eficaces activados (ME-A) con dos dosificaciones diarias (T1) al 0,4%, promovieron la mayor altura de FVH en las plantas de cebada, con medidas de 18,06 y 17,43 cm respectivamente (Tabla 7). Estos resultados evidencian que tanto la presencia, la frecuencia y tipos de insumos aplicados influyen significativamente en el desarrollo de la planta. La superioridad del tratamiento T10 se explica por la constancia y disponibilidad inmediata de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio) que favorecieron los procesos metabólicos como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas, coincidiendo con (Santana, 2016). Por otro lado el tratamiento T1 con microorganismos a una concentración menor, facilitó el crecimiento de las plantas de cebada. En cambio el tratamiento T13 (15,01 cm) registró la menor altura debido a la falta de insumos.

Los resultados de altura de la cebada obtenidos a los 15 días con T10 (18,06 cm) coincidieron con los reportados por Romero et al. (2009), mencionaron que las alturas alcanzadas fueron entre 15 a 20 cm mezclando paja de trigo para mantener la humedad. Sin embargo nuestros resultados superaron los obtenidos por Jordan (2024), que, al emplear fitohormonas, alcanzó 16,9 cm en 15 días. Por otro lado, Machaca (2021), al utilizar un 0,25% de ME-A, logró 21,99 cm en 21 días. Finalmente, (Flores y Chilon (2019), al utilizar bioestimulantes, lograron 23,04 cm con la variedad IBTA 80, un valor superior al de este estudio. En consecuencia los resultados fueron competitivos frente a los reportados, lo que sugiere que el uso

de nutrientes tiene un impacto positivo en el crecimiento de la cebada en comparación a los del tratamiento sin nutrientes.

Los valores alcanzados del FVH de la biomasa aérea de la cebada (Figura 9) evidenciaron un rendimiento destacado en los tratamientos T6 (0,99 kg) al utilizar solución hidropónica con CE aproximada de 1100 a 1155 uS/cm y T10 (0,99 kg) al aplicar fertilizante sintético con CE: 1200 a 1255 uS/cm y el tratamiento T2 al administrar microorganismos eficaces al 0,4%. La investigación demuestra que aplicar los nutrientes cuatro veces al día durante cinco días, a partir del quinto día de cultivo con un porcentaje promedio de humedad de 86,7 y 39,3% en el invernadero y conductividades eléctricas entre 1100 a 1255 uS/cm aproximadamente se obtiene buenos resultados de biomasa aérea; de la misma forma los microorganismos eficaces activados promovieron un ambiente ideal y ayudaron en la estimulación de producción de biomasa aérea en la cebada a 3630 m s.n.m. con temperaturas promedio de 36,38 °C de día y 6,07 °C de noche (Anexo 2).

Estos resultados de biomasa aérea de la cebada son respaldados por Salas-Pérez et al. (2010), mencionan que la aplicación de fertilizantes orgánicos promueve el desarrollo de los órganos de la planta incrementando la biomasa. Además, las investigaciones de Paredes et al. (2023) refuerzan estos hallazgos, ya que obtuvieron buenos resultados en el desarrollo de la parte aérea de la cebada en la producción de FVH al utilizar una solución hidropónica dosificando 5 ml de A y 2,5 ml de B. Igualmente, Díaz (2019) concuerda con los resultados en este estudio, señalando que el uso de nutrientes como Japaj Humico, 4N-20 y Biol también favorecieron la mayor producción de biomasa aérea.

En cuanto a los resultados de la biomasa radicular del forraje verde hidropónico (FVH) de la cebada (Figura 10), se observó que el tratamiento T2 (ME-A al 0,4%) generó la biomasa radicular más alta (2,52 kg), seguido del T4 (ME-A al 0,6%) logrando 2,5 kg, ambos con cuatro dosificaciones diarias; los dos tratamientos caracterizados por el uso de insumos biológicos y una mayor frecuencia de aplicación mostraron mayor rendimiento frente a los tratamientos con fertilizante sintético (FS) y el control. Este resultado se debe a que el FS, al estar formulado para aplicación foliar, promueve principalmente el desarrollo de la parte aérea, lo que reduce la inversión fisiológica en el sistema radicular. Mientras que los ME-A por la acción simbiótica favorecieron la disponibilidad de nutrientes, mejoraron la estructura radicular y estimularon la actividad enzimática de la rizósfera tal como

indica (Liu et al., 2024) . El control sin nutrientes simplemente reflejó el crecimiento radicular limitado por la ausencia de bioestimulantes y elementos esenciales.

Los datos obtenidos del FVH de la biomasa radicular fueron mayores a los del trigo y avena (Figura 16) y se respaldaron en estudios previos de FVH. Machaca (2021), al evaluar el efecto de la aplicación de ME-A en el desarrollo de las raíces de cebada, concluyó que las concentraciones del 0,25% tuvieron un efecto significativo en el crecimiento radicular. De manera similar, Díaz (2019) reporta que el uso de abonos foliares, particularmente el 4N-20, promovió un crecimiento notable de las raíces, con tapetes radiculares alcanzando una altura promedio de 5,69 cm. Flores y Chilón (2019), al investigar la producción de FVH de dos variedades de cebada, encontraron que la aplicación de abonos orgánicos líquidos favorecieron el alargamiento de las raíces y la formación de una mayor cantidad de raicillas, resultando en un incremento significativo de la biomasa radicular.

La respuesta referente al rendimiento del forraje verde hidropónico (FVH) de la cebada en kg/m² a los 15 días (Figura 11). Los tratamientos con microorganismos eficaces activados (ME-A) mostraron los valores más altos de productividad. En particular el tratamiento T2 (0,4% ME-A con cuatro dosificaciones diarias) logró un rendimiento promedio de 23,23 kg/m² y en segundo lugar se ubicó el T4 (0,6% ME-A con cuatro dosificaciones diarias) alcanzando 22,71 kg/m²; los tratamientos con ME-A mejoraron la absorción de nutrientes al favorecer la actividad microbiana benéfica en la rizósfera, el desarrollo radicular y una mayor tolerancia al estrés ambiental coincidiendo con (Jalal et al., 2023), especialmente a las variaciones de temperatura registradas con promedios de 6 a 36,38 °C, porcentaje de humedad mínima 39,35% y máxima 86,71% (Anexo 2) en un invernadero convencional a 3630 m s.n.m. Los ME-A favorecieron la acumulación de biomasa, lo cual es coherente con los altos rendimientos observados. Por otro lado, el menor desempeño del tratamiento control T13 (18,5 kg) se atribuyó a la ausencia de bioestimulantes y nutrientes, que limitó su desempeño. No obstante, el riego uniforme mediante nebulizadores ayudó a obtener resultados aceptables. Esta evidencia respalda el uso de FVH como alternativa para mejorar la alimentación animal en zonas altoandinas y enfrentar las condiciones climáticas adversas propias de la altura.

Los resultados de esta investigación 23,23 kg/m² (T2) en la cebada fueron altamente favorables en comparación con estudios previos, lo que demuestra la efectividad del uso adecuado de ME-A y nutrientes para mejorar los rendimientos

de FVH. Estos datos fueron superiores a los estudios de Birgi et al. (2018), señalaron un rendimiento entre 18 y 21 kg/m² de FVH en cebada utilizando diferentes fuentes de luz durante 15 días, mientras que Flores y Chilon (2019) alcanzaron 17,32 kg/m² con el uso de abonos orgánicos líquidos en el mismo período. Díaz (2019) por su parte reportó un rendimiento de 10,58 kg/m² con abonos foliares. En el estudio de Machaca (2021), la aplicación de ME-A al 0,5% resultó en un rendimiento de 8,34 kg/m².

Gracias a condiciones nutricionales óptimas, los tratamientos T6 (SH 5 ml A y 2 ml B diluido en 1 L de agua) con conductividad eléctrica CE: 1100 a 1155 uS/cm y T4 (ME-A al 0,6%) ambos con cuatro dosificaciones diarias alcanzaron las mayores biomásas totales del FVH del trigo con 3,17 kg y 3,06 kg respectivamente (Tabla 10). El buen rendimiento del T6 se explicó por la disponibilidad de macro y micronutrientes esenciales en la SH; al aplicarse cuatro veces al día garantizó un suministro constante de nutrientes, favoreciendo los procesos fisiológicos. En el caso del T4 la alta biomasa se relaciona a los beneficios de los microorganismos eficaces, los cuales producen fitohormonas que estimularon el crecimiento radicular y mejoraron su entorno optimizando la captación de nutrientes tal como indicó (Koh y Song, 2007).

El tratamiento T6 (3,17 kg/0,15 m²) alcanzó la mayor biomasa total de FVH del trigo superando al tratamiento control y a los reportados por Contreras et al. (2015), Valiente et al. (2016), y Machaca (2021), quienes presentaron valores significativamente menores bajo distintas condiciones y densidades de siembra. Además los resultados obtenidos del FVH del trigo en esta investigación fueron mayores a los reportados por Lozano (2023), evidenció 2,32 kg/0,15 m² de FVH de trigo por cada 512 g de semilla; lo que explica que la adición de nutrientes tienen efectos positivos en la ganancia de biomasa en el FVH. En cuanto a la conversión de las semillas, nuestros resultados coincidieron con los de Sánchez et al. (2013), señalaron una conversión de 1:6,4 en trigo empleando 705 g/0,15 m², mientras que en este estudio la relación fue de 1:6,1, resultado que indicó una eficiencia similar. Los hallazgos en esta investigación aportan información valiosa para el diseño de producción sustentable de FVH en zonas altoandinas abriendo puertas a nuevas investigaciones entre la interacción de microorganismos eficaces y nutrientes minerales.

La mejor altura promedio del FVH de trigo (Tabla 8) se observó en los tratamientos T6 (SH 5 ml de A y 2 ml de B diluido en 1 L de agua con cuatro dosificaciones CE:

1100 a 1150 uS/cm) alcanzando 13,77cm y T10 (FS 2,5 g/1 L, cuatro dosificaciones CE: 1440 a 1500 uS/cm) con 13,03 cm. La disponibilidad inmediata de nutrientes tanto en la solución hidropónica y fertilizante sintético para el FVH del trigo proporcionaron macronutrientes esenciales como N, P y K de fácil asimilación que estimularon el crecimiento de las hojas de trigo. Mientras que al aplicar ME-A no mostró un efecto significativo sobre la altura del forraje y también no fue significativamente diferente al grupo control (Anexo 30).

Los resultados en esta investigación respecto a la altura del trigo T6 con 13,77 cm al producir FVH, fueron similares y menores a los reportados en estudios previos. Contreras et al. (2015) encontraron resultados similares al utilizar la asociación de arveja con cebada y trigo, alcanzando una altura de 13,49 cm. Sin embargo, estos valores fueron inferiores a los de otros autores como Jordan (2024), quien obtuvo 17,8 cm en trigo utilizando fitohormonas en 14 días; Sánchez et al. (2013), lograron 21,28 cm. Además, los resultados fueron también más bajos que los reportados por Morales et al. (2020), con 17,67 cm en trigo, y por Machaca (2021) que alcanzó alturas de 21,64 cm con el tratamiento ME-A al 0,25% a los 21 días. Estas menores alturas probablemente se debieron a la mayor altitud 3630 m s.n.m, a mayores condiciones de radiación solar, a los cambios bruscos de temperatura que pudieron alterar el metabolismo de la planta, (FAO, 2002).

Referente a la biomasa aérea del forraje verde hidropónico del trigo (Figura 12) el tratamiento T6 (SH con 5 ml de solución A y 2 ml de solución B diluido en 1 L de agua, cuatro dosificaciones, CE: 1100 a 1155 uS/cm) presentó la mayor biomasa aérea (0,95 kg). La solución hidropónica balanceada, con macro y micronutrientes al estar disponible de manera inmediata y mantener una conductividad eléctrica adecuada, favoreció el aumento de biomasa aérea en el trigo. Además cuatro aplicaciones diarias manteniendo el porcentaje de humedad promedio máxima entre 85,14% y mínima 36,14% en el invernadero (Anexo 3), aseguraron una absorción constante sin estrés hídrico ni salino. Los demás tratamientos fueron significativamente diferentes al tratamiento control con excepción del T11.

Estos resultados de biomasa aérea del trigo son respaldados por Salas-Pérez et al. (2010) sostienen que el uso de fertilizantes orgánicos favorece el desarrollo de los órganos de la planta, que resulta en un aumento de la biomasa. Posteriormente, Díaz (2019) señaló que, para obtener una mayor biomasa aérea en forraje verde hidropónico, es necesario aplicar nutrientes como el abono foliar 4N-20, lo cual contribuye a un mejor rendimiento. Coaquira (2018) indicó que la

aplicación de soluciones con distintas concentraciones de nitrógeno, favorecen el desarrollo foliar en comparación al riego solo con agua.

Respecto a la biomasa radicular del trigo (Figura 13) los resultados evidenciaron que el tratamiento T6 (SH 5 ml de A y 2 ml de B diluido en 1 L de agua con cuatro dosificaciones diarias, CE: 1100 a 1155 uS/cm) generó la mayor biomasa radicular (2,22 kg), seguido de 2,18 kg con el T4 (ME-A al 0,6%, cuatro aplicaciones). Demostrando que tanto una nutrición mineral balanceada y microorganismos eficaces pueden estimular significativamente el crecimiento del sistema radicular del trigo. Estos hallazgos son el resultado de una adecuada disponibilidad de nutrientes y bioestimulantes, estabilidad hídrica con riego por nebulización y un entorno osmótico favorable; que favorecieron el crecimiento de las raíces. Estos resultados nos indican que una SH con conductividad eléctrica de 1100 a 1155 uS/cm y microorganismos eficaces al 0,6% son óptima para cultivos hidropónicos de trigo, superando al grupo control sin nutrientes a 3630 m s.n.m. en zonas altoandinas.

Estos estudios de la biomasa radicular del trigo son fortificados por Alvarez (2018), al emplear té de humus de lombriz, destacando su capacidad para estimular el crecimiento de las raíces en avena y cebada, que refuerza la idea que el uso de bioestimulantes tiene un impacto positivo en la biomasa radicular. Flores y Chilon (2019), al investigar la producción de FVH en dos variedades de cebada, encontraron que la aplicación de abonos orgánicos líquidos favoreció el alargamiento de las raíces y la formación de una mayor cantidad de raicillas, resultando en un incremento significativo de la biomasa radicular. Finalmente, Machaca (2021), al evaluar el efecto de la aplicación de ME-A en el desarrollo de las raíces de trigo y cebada concluyó que la concentración de 0,25% tuvo un efecto significativo en el crecimiento radicular.

El rendimiento del forraje verde hidropónico (FVH) del trigo (Figura 12) fue significativamente influenciado por el tipo de tratamiento nutricional y la frecuencia de aplicación con porcentajes de humedad promedio entre 85,14% y 36,14% en el invernadero convencional (Anexo 3). El tratamiento T6 con solución Hidropónica (SH) y cuatro dosificaciones diarias presentó el mayor rendimiento (21,05 kg/m²), seguido del tratamiento T4 con microorganismos eficaces activados al 0,6% (20,32 kg/m²). Este efecto con SH fue gracias al balance nutricional adecuado con disponibilidad inmediata y absorción gradual sostenida de nutrientes como el amonio (Hachiya y Sakakibara, 2017), al estímulo fisiológico microbiano que

favoreció la absorción y el crecimiento. Desde un enfoque fisiológico el uso de SH con conductividad eléctrica adecuada CE: 1100 a 1155 uS/cm y bioestimulantes microbianos al 0,6% acompañados de cuatro dosificaciones diarias mejoró la acumulación de biomasa, especialmente en condiciones extremas con temperaturas promedio de día 33,2 °C y 4,8 °C de noche (Anexo 3) a 3630 m s.n.m, hallazgos que fueron ampliamente significativos en comparación al tratamiento control. Esta evidencia experimental respalda el uso de forraje verde hidropónico como alternativa para la producción intensiva de forraje hidropónico en las zonas altoandinas.

Los valores de FVH de esta investigación T6 con 21,05 kg/m² del trigo en 15 días, superan a los reportados por Machaca (2021), que alcanzó solo 5,2 kg/m² de FVH de trigo al emplear microorganismos eficaces activados a los 21 días. También fueron más altos que los obtenidos por Cerillo et al. (2012), sostienen un promedio de 13 kg/m² de biomasa al cultivar FVH de trigo y avena a los 12 días.

Por otro lado, los resultados sobre el rendimiento en kg/m² del trigo son comparables a los de Morales (2020), logrando una producción de 23,57 kg/m² a los 15 días utilizando macro y micronutrientes. Sin embargo, no alcanzaron los niveles de Sanches (2013), con un rendimiento de 30,2 kg/m² de FVH a mayor densidad de siembra (4,70 kg/m²). Aunque no se lograron los niveles de rendimiento como el de (Sanches, 2013) los resultados obtenidos en esta investigación son superiores a otros estudios anteriores y muestran un avance significativo en el manejo de los nutrientes para mejorar el rendimiento del trigo.

En la presente investigación destacó el uso de microorganismos eficaces, los cuales no solo demostraron un rendimiento positivo, sino que también ofrecen beneficios adicionales en comparación con las soluciones hidropónicas y los fertilizantes sintéticos, por lo tanto al usarlo como alimento los microorganismos contenidos en el forraje verde hidropónico actúan como probióticos en el sistema digestivo del animal, ayudando a prevenir enfermedades gastrointestinales, reducir el crecimiento de patógenos y mejorar su salud y bienestar general (Reyes et al., 2008).

De acuerdo a los resultados presentados en las tablas 6, 7 y 8 correspondientes a la *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo” respectivamente, se evaluó el efecto de diferentes tratamientos sobre las variables de biomasa total, altura, biomasa aérea, biomasa radicular y rendimiento en kg/m² utilizando microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizantes

sintético, en función a la concentración y frecuencia de dosificación. Conforme al análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor (tratamientos) aplicado a cada especie se encontraron diferencias estadísticamente significativas (valor de $p < 0,05$); en base a esto se procedió a realizar la prueba de Tukey (con $\alpha = 0.05$). Es importante señalar que tanto el ANOVA como la prueba de Tukey fueron utilizados como herramientas estadísticas complementarias para respaldar y reforzar los resultados obtenidos.

VI. CONCLUSIONES

1. La cebada presentó la mayor biomasa en el tratamiento T2 (0,4 % de microorganismos eficaces activados) con 3,5 kg por bandeja; en el trigo destacó el tratamiento T6 (3,17 kg) con solución hidropónica, y en la avena el tratamiento T12 (3,01 kg) con fertilizante sintético, todos bajo cuatro riegos y con valores superiores al control.
2. La mayor altura de planta se registró en la cebada con el tratamiento T10 (18,06 cm) y en la avena con el tratamiento T12 (15,46 cm), ambos con fertilizante sintético, mientras que en el trigo destacó el tratamiento T6 (13,77 cm) con solución hidropónica, siendo estos valores superiores al grupo control.
3. El mayor rendimiento de biomasa aérea se obtuvo en la cebada (0,99 kg) y trigo (0,95 kg) con el tratamiento T6, basado en solución hidropónica, mientras que en la avena destacó el tratamiento T12 (0,77 kg) con fertilizante sintético, siendo estos tratamientos estadísticamente superiores al grupo control.
4. La mayor biomasa radicular se obtuvo en la cebada con el tratamiento T2 (2,52 kg) al aplicar microorganismos eficaces al 0,4 %, en avena con el tratamiento T7 (2,29 kg) y en trigo con el tratamiento T6, ambos con solución hidropónica, evidenciando un mejor desempeño al grupo control.
5. En la cebada, el tratamiento T2 alcanzó el mayor rendimiento (23,23 kg/m²) con microorganismos eficaces al 0,4 %, en el trigo destacó el tratamiento T6 (21,05 kg/m²) con solución hidropónica, y en la avena el tratamiento T12 (19,93 kg/m²) con fertilizante sintético, mostrando un claro aumento respecto al grupo control.

VII. RECOMENDACIONES

1. Seguir investigando sobre la producción de forraje verde hidropónico como una alternativa de solución frente a la escasez de tierras fértiles y agua en épocas críticas, como sequías y heladas, para asegurar la sostenibilidad y mejorar la rentabilidad de los pequeños y medianos productores.
2. Se recomienda realizar investigaciones sobre la interacción de microorganismos eficaces al 0,4% y 0,6% con solución hidropónica y fertilizantes sintéticos, a fin de determinar su efecto específico sobre el crecimiento y la producción de biomasa del forraje verde hidropónico
3. Evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra combinadas con la profundidad de las bandejas, en la avena, cebada y especialmente en el trigo, con el objetivo de optimizar el rendimiento de forraje verde hidropónico.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, P., Aguirre, C., Silva, L., Mora, D., & Carrasco, J. (2016). Producción de forraje verde hidropónico para la pequeña agricultura. *Instituto de Investigación Agropecuaria*, 56(321).
- Agius, A., Pastorelli, G., & Attard, E. (2019). Cows fed hydroponic fodder and conventional diet: Effects on milk quality. *Archives Animal Breeding*, 62(2), 517-525.
- Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (s.f). *Solución nutritiva de La Molina* [mezcla nutritiva]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Proyecto Red SICTA (Nicaragua), & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, M. (COSUDE). (2013). *Tecnología de bajo costo: Guía de manejo de microorganismos eficientes (ME)*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6123>
- Agro Rural. (2014). *Agro Rural capacita en instalación de módulos de producción de forraje hidropónico*. <https://www.gob.pe/institucion/agrorural/noticias/528032-agro-rural-capacita-en-instalacion-de-modulos-de-produccion-de-forraje-hidroponico>
- Albert, G., Alonso, N., Cabrera, A., Rojas, L., & Rosthoj, S. (2016). Evaluación productiva del forraje verde hidropónico de maíz, avena y trigo. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6(1), 7-10.
- Alonso, A. (2024). *Relación entre la concentración de potasio y sólidos solubles totales en el extracto celular del peciolo con el rendimiento y crecimiento en pepino (Cucumis sativus L.)* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <https://oai.uaaan.mx/handle/123456789/49868>
- Alvarez, N. J. (2018). *Respuesta del forraje verde hidropónico a la aplicación de dos soluciones nutritivas en avena (avena sativa) y cebada (hordeum vulgare) en carpa solar* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/20165/T-2608.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Arias, R. M., Lagunes, M., García, J. A., & De la Cruz, Y. (2020). Interacción entre cepas de hongos solubilizadores de fósforo y diferentes fuentes de nitrógeno sobre la solubilización y mineralización de fósforo. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 5(19), 1-19. <https://doi.org/10.11235/BUAP.05.19.01>
- Arredondo, J. A. (2020). *Establecimiento de simbiosis micorrízico-arbuscular en plantas de tomate tratadas con fertilizante fosfatado microencapsulado con almidón*. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/672>
- Bedolla-Torres, M. H., Espinosa, A. P., Palacios, O. A., Choix, F. J., Valle, F. de J. A., Aguilar, D. R. L., Villavicencio, J. L. E., de la Pena, R. de L., Trujillo, A. G., & Serrano, N. Y. A. (2015). La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz. *Revista argentina de microbiología*, 47(3), 236-244.
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- BioPunto. (2020). *Ficha técnica EM•1®*. <https://www.biopunto.cl/2020/08/03/ficha-tecnica-em1/>
- Birgi, J. A., Gargaglione, V., & Utrilla, V. (2018). El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (Hordeum vulgare). *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(3), 316-323.

- Bustamante García, V., Carrillo Parra, A., Prieto Ruíz, J. Á., Corral-Rivas, J. J., Hernández Díaz, J. C., Bustamante García, V., Carrillo Parra, A., Prieto Ruíz, J. Á., Corral-Rivas, J. J., & Hernández Díaz, J. C. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: Revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(38), 5-23.
- Cajo, A. M. (2016). *Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas* [B.S. thesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/handle/123456789/23421>
- Castro, I. G. (2025, julio 7). *Heladas causan muerte de 7 mil animales en Ayacucho*. <https://jornada.com.pe/mas-de-7-mil-animales-muertos-por-heladas-en-ayacucho-en-lo-que-va-del-ano/>
- Cerillo, M. A., Juárez, A. saúl, Rivera, J. A., Guerrero, M., Ramirez, R. G., & Bernal, H. (2012). (PDF) Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Inerciencia*, 37(12). https://www.researchgate.net/publication/283855973_Produccion_de_biomasa_y_valor_nutricional_del_forraje_verde_hidropnico_de_trigo_y_avena
- Charca, H. W. (2023). *Diseño e implementación de un sistema en tiempo real basado en internet de las cosas para el monitoreo de concentración de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y PH en el suelo* [Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/945b4cdc-4170-4c48-9857-ca304e650634>
- Chavarría, A., Castillo, S., & Blanco, N. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(8). <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941755005/html/index.html>
- Coaquira, G. C. (2018). *Evaluación de soluciones nutritivas y tiempos de cosecha, en cebada forrajera cv. Nacional (Hordeum vulgare L.), producida como forraje verde hidropónico, en la región Arequipa*. [Universidad Católica Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3b1bacdf-e429-4fa7-b3d1-735590531b90/content>
- Condori, K. L., & Flores, J. P. (2019). *Efecto del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento en forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays L.), cebada (Hordeum vulgare L), arroz (Oryza sativa L.) y sorgo (Sorghum vulgare L.)*. [Universidad Nacional de Tumbes]. <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/767>
- Contreras P, J. L., Tunque Q, M., & 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>
- Cronquist, A. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. New York: Columbia University Press.
- Delgado, J. (2016). *Producción de avena (avena sativa) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, en el distrito 8 de la ciudad de el alto* [PhD Thesis, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/10520>
- Díaz, C. J. (2019). *Abonos foliares (japaj húmico, 4n-20 y biol) en el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (hordeum vulgare) en Abancay-Apurímac-2017* [Universidad Tecnológica de lo Andes].

<https://repositorio.utea.edu.pe/items/806d6952-1ad4-4199-b41d-1481449b5582>

- FAO. (2002). Forraje Verde Hidropónico. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América latina y el Caribe*. https://guiaspdf.net/wp-content/uploads/2021/02/Guia-para-Hacer-Forraje-Verde-Hidroponico-GuiasPDF.Net_.pdf
- Fatecha, D. A., do Carmo, M., Caroline, J., Kent, C., Broti, B., Cañete, O. D., Fernandez, E. R., & Espínola, M. D. (2017). Fertilización nitrogenada y su efecto en el rendimiento y en el ataque de *Diatraea saccharalis* Fab. En caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 44(4), 75-88.
- Fayemi, O. E., & Ojokoh, A. O. (2014). The Effect of Different Fermentation Techniques on the Nutritional Quality of the Cassava Product (fufu): Brine and backslopping fermentation techniques. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 183-192. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00763.x>
- Flores, S., & Chilon, E. (2019). Aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico, en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota. *Apthapi*, 5(1), 1430.
- Freyre, M. A. (2012). *Evaluación en fertilización de NPK-Ca en el cultivo de alstroemeria (Alstroemeria hybrida)* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2225/1/Tesis-27agr.pdf>
- Gómez, K. A., & Gómez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Gomez, M. I. (2012). *Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada, con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes* [B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1813>
- Gomez, A. M. (2018). *Solucion nutritiva de Biol a base de estiércol de cuy (Cavia porcellus L.) ovino (Ovis aries) y vacuno (Bos taurus) en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare) en Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3279195>
- Gonzales, E. M., & Quispe, R. C. (2020). *Influencia de los Microorganismos eficaces (EM) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el Distrito de Huancavelica en el 2020* [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3318>
- Hachiya, T., & Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2501-2512. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw449>
- Hernández, J. D. (2014). *Influencia de una fertilización NPK y tres abonos orgánicos en la producción de cebolla (Allium cepa L.), CV "Sivan" en el valle de Chao – La Libertad* [Universodad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/867>
- Huaman, E. A. (2015). *Efecto de la aplicación de microorganismos para la transformación de desechos orgánicos en compost en el distrito de Naranjillo-Mapresa*. [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/400/T.CSA-141.pdf?sequence=1>

- Huiza, M. (2015). *Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare) y avena (Avena sativa) bajo tres niveles de abonamiento con té de humus de lombriz* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5843/T-2098.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jalal, A., Oliveira, C. E. Da S., Rosa, P. A. L., Galindo, F. S., & Teixeira Filho, M. C. M. (2023). Beneficial Microorganisms Improve Agricultural Sustainability under Climatic Extremes. *Life*, 13(5), 1102. <https://doi.org/10.3390/life13051102>
- Jordan, R. K. (2024). *Efecto de la interacción fitohormonal (AIB, AG3 y BAP) y el bioestimulante Agrispon en la producción de forraje verde hidropónico de "cebada" Hordeum vulgare L. y "trigo" Triticum aestivum L., en condiciones de invernadero–Arequipa* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/0838215f-ecad-4ed2-a786-e6ecd7dd53b7>
- Juarez, P., Morales, H. J., Sandoval, M., Gomez, A. A., Cruz, E., Juarez, C. R., Aguirre, J., Aalejo, G., & Caton, O. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. *CONACYT*, 4(13), 16-20.
- Khaziev, D., Gadiev, R., Yusupova, C., Kazanina, M., & Kopylova, S. (2021). Effect of hydroponic green herbage on the productive qualities of parent flock geese. *Veterinary World*, 14(4), 841-846. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.841-846>
- Koh, R.H., & Song, H.G. (2007). Effects of application of Rhodopseudomonas sp. On seed germination and growth of tomato under axenic conditions. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(11), 1805-1810.
- Lagunes, S. E. (2017). Efecto del fertilizante fosfatado encapsulado con Poli (ácido-γ-glutámico) en el crecimiento radicular de Arabidopsis thaliana in vitro. *Centro de Investigación en Química Aplicada*. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/427>
- Liu, C., Wan, C.-C., Song, X., Xia, G.-F., Ao, N., Sang, J., Wang, K.-M., & Wang, J. (2024). [Effects of effective microorganisms on growth promotion and the rhizosphere eukaryotic community structure of pepper in Xinjiang, China]. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = The Journal of Applied Ecology*, 35(6), 1599-1607. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202406.015>
- Loayza, R. R. (2014). *Comportamiento agronómico y calidad comercial de tres cultivares de trigo harinero (Triticum Aestivum L.), bajo las condiciones de valle costero* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/ca30a366-0ba9-4f1b-a293-4370d4c75af1>
- López, J. (2018). La producción hidropónica de cultivos. *Idesia (Arica)*, 36(2), 139-141.
- 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* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5810>
- Luna, R. (2014). *Rendimiento del cultivo de cebada (Hordeum vulgare) forrajera verde en relación a tres métodos de producción hidropónica estandar* [PhD Thesis, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/4179>
- Machaca, D. H. (2018). *Efectos de tres niveles de biol-bovino en la producción de forraje verde hidropónico de maíz forrajero (Zea mays) en la localidad de viacha departamento de La Paz* [PhD Thesis, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/20213>

- Machaca, R. M. (2021). *Efecto de tres concentraciones de microorganismos eficaces en el cultivo de forraje verde hidropónico de Triticum aestivum "trigo", Hordeum vulgare "cebada" y Zea mays "maíz". Ayacucho-2019.* [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/4484/1/TE SIS%20B865_Mac.pdf
- Martínez, A., & Leyva, A. (2014). *La biomasa de los cultivos en el oecosistema. Sus beneficios agroecológicos.* 35(1).
- Medrano, P. (2017). *Cultivo de lechuga (Lactuca sativa) en sistema mixto suelo e hidroponia bajo diferentes soluciones nutritivas en el Centro Experimental de Cota Cota* [PhD Thesis, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/15319>
- Meena, S. K., & Meena, V. S. (2017). Importance of Soil Microbes in Nutrient Use Efficiency and Sustainable Food Production. En V. S. Meena, P. K. Mishra, J. K. Bisht, & A. Pattanayak (Eds.), *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (pp. 3-23). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_1
- Mejía, D. A., & Reyes, A. N. (2020). *Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura* [Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2020.]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6790/1/CPA-2020-T073.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2023). *Geoportal del MINAM.* <https://geoservidor.minam.gob.pe>
- Ministerio del Ambiente- SINIA. (2014). *Estudios de identificación de las condiciones de riesgos de desastres-Ayacucho.* Ministerio del Ambiente. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/estudios_de_identificacion_de_las_condiciones_de_riesgos_de_desastres_-_ayacucho.pdf
- Morales, D. B., Jiménez, L. S., Burne, J. I., & Capa, E. D. (2020). Producción de forraje de avena y trigo bajo sistema hidropónico y convencional. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 236-244.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(Volume 59, 2008), 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Naik, K., Mishra, S., Srichandan, H., Singh, P. K., & Choudhary, A. (2020). Microbial formulation and growth of cereals, pulses, oilseeds and vegetable crops. *Sustainable Environment Research*, 30(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00051-x>
- Ordoñez, E., Ill Idrogo, E., & Corrales, N. (2018). Soluciones nutritivas para el germinado hidropónico de Hordeum vulgare. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(2), 389-395. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i2.14477>
- Paredes, M. P., Bravo, O. E., Carrasco, J. L., Gómez, J. C., Paredes, M. P., Bravo, O. E., Carrasco, J. L., & Gómez, J. C. (2023). Interacción grupal universitaria en la producción de forraje verde hidropónico de cebada. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 225-233.
- Pérez, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavore, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., Vos, A. G., ... Funes, G. (2013). *Nuevo manual para la medición estandarizada de caracteres funcionales de plantas.* 61, 167-234. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>

- Perú. Congreso de la República. (2005). *Ley N.° 28611, Ley General del ambiente*. Diario Oficial El Peruano.
- Perú. Congreso de la República. (1997). *Ley N.° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales*. Diario Oficial El Peruano.
- Perú. Congreso de la República. (2000). *Ley N.° 30355, Ley de Promoción y Desarrollo de la Agricultura Familiar*. Diario Oficial El Peruano.
- Perú. Congreso de la República. (2004). *Ley N.° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental*. Diario Oficial El Peruano.
- Quelca Chambi, O. (2019). *Efecto de tres concentraciones de biol bovino sobre el número de cortes de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare L.) asociado con alfalfa (Medicago sativa L.) en la localidad de Viacha—Departamento de La Paz* [Thesis, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/22176>
- Quispe, Y. C., & Chávez, C. M. F. (2017). Evaluación del efecto que tienen los microorganismos eficientes (EM), en el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), municipio de Achocalla: Yoselin Callisaya Quispe, Celia María Fernández Chávez. *Apthapi*, 3(3), 652-666.
- Quispe, E., & Salas, C. (2022). La imbibición de semillas en solución con microorganismos eficientes mejora el desarrollo de plántulas de *Daucus carota* L. *Manglar*, 19(3), 279-284.
- Reyes, A. D., Silva, M. I., & Peres, C. M. (2008). *Los probióticos y su empleo en los rumiantes*. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Los+probi%C3%B3ticos+y+su+empleo+en+los+ruminantes+Ing.+Alexey+D%C3%ADaz+Reyes%2C+Ing.+Martha+Laurencio+Silva%2C+Dr.+C.+Manuel+P%C3%A9rez+Quintana1&btnG=
- Robles, G. V. (2018). *Reemplazo de la alfalfa en verde por forraje hidropónico de cebada en alimentación de cuyes mejorados en crecimiento a 2750 msnm-INIA Ayacucho* [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/2830/1/TESIS%20AG1186_Rob.pdf
- Romero, M. E., Córdova, G., & Hernández, E. O. (2009). Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. *Acta Universitaria*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.15174/au.2009.93>
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. de P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., & Márquez-Hernández, C. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 355-360.
- Salvador-Castillo, J. M., Bolaños-González, M. A., Cedillo-Aviles, A. K., Vázquez-Chena, Y., Varela-de Gante, S. A., & Meza-Discua, J. L. (2022). Effect of applying nutritive solutions on bromatological quality of the hydroponic green forage of *Avena sativa* and *Hordeum vulgare*. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-16.
- Serfi. (2022). Ficha técnica Qimifol 600 plus. <https://serfi.pe/wp-content/uploads/2020/02/Ficha-Tecnica-QUIMIFOL-600-Plus-v09.2022.pdf>
- Sánchez, F., Moreno, E. del C., Contreras, E., & Morales, J. (2013). Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(4), 35-43.
- Santana, R. A. (2016). *Comportamiento agronomico de seis variedades de espinaca (Sinacea Oleracea L.) con la tecnica hidroponica NFT en el*

- Centro Experimental de Cota-Cota*. [PhD.Thesis].
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9262>
- Soto, J. A., Cárdenas, J. A., & García, J. P. (2017). Inoculation of substrate with lactic acid bacteria for the development of *Moringa oleifera* Lam plantlets. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(2).
<http://cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/733>
- Su, P., Tan, X., Li, C., Zhang, D., Cheng, J., Zhang, S., Zhou, X., Yan, Q., Peng, J., Zhang, Z., Liu, Y., & Lu, X. (2017). Photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas palustris* GJ-22 induces systemic resistance against viruses. *Microbial Biotechnology*, 10(3), 612-624.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12704>
- Tanya, M., & Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro agrícola*, 46(2), 93-103.
- Tarillo, H. (2008). *Manual de producción de forraje verde hidropónico* (2da Edición).
 Forraje.hidropónico.E.I.R.L..Perú.https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Tarillo%2C+H.+2008.+Manual+de+producci%C3%B3n+de+forraje+verde+hidrop%C3%B3nico.+Segunda+edici%C3%B3n.+Ed.+Forraje+Hidrop%C3%B3nico+E.I.R.L.+Per%C3%BA.+pp.+41&btnG=
- Tipe, A. (2017). *Caracterización morfológica de variedades de avena (Avena spp). Allpachaka 3529 msnm-Ayacucho* [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/f1a4444b-61b0-4d69-acea-c288781d6ab0>
- Tlelo-Cuautle, A. M., Taboada-Gaytán, O. R., Cruz-Hernández, J., López-Sánchez, H., & López, P. A. (2020). Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile Poblano. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(3), 283-289.
- Tubon, A. A. T. (2022). *Producción de calidad nutritiva de avena (Arrenatherium elatius) de corte e hidropónica bajo el efecto de dosis de siembra y tiempo de cosecha* [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34647/1/Tesis-304%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20%20Tubon%20Chicaiza%20Andrea%20Aracelly.pdf>
- Valiente, O. L., Álvarez, R., Alonso, N., & Corrales, M. P. (2016). Evaluación del rendimiento, composición bromatológica y digestibilidad in vitro del forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) cosechados a los 8 y 10 días. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6(2), 42-46.
<https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.02.42-46>
- Vilcara, E. A., & Pampa, 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.
- Villalta C, M. (2014). "Evaluación de tres niveles de microorganismos eficientes activados (EM-a) en la fertilización de cultivos de forraje verde hidropónico (FVH) en la Quinta Experimental Punzara de la UNL" [Universidad Nacional de Loja].<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12365/1/Ma%20risol%20Villalta%20Castillo.pdf>
- Vivas, J. A., & Mejía, W. A. (2022). Manual práctico para la elaboración de Forraje Verde Hidropónico en invernadero no convencional. En *Guía Técnica N° 35 Manual práctico para la elaboración de Forraje Verde Hidropónico en invernadero no convencional*. Universidad Nacional Agraria.
<https://repositorio.una.edu.ni/4576/>

- Wikipedia. (2023). *Sucre, Ayacucho, Perú—Genealogía*. FamilySearch Wiki. https://www.familysearch.org/es/wiki/Sucre,_Ayacucho,_Per%C3%BA_-_Genealog%C3%ADa
- Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B., & Carrillo-Díaz, F. (2016). Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. *Abanico veterinario*, 6(1), 29-34.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Condiciones ambientales en invernadero durante la producción de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* "avena" a 3630 m s.n.m. en 15 días.

<i>Avena sativa</i> "avena"				
N° de Días	Temperatura °C		% de humedad	
	Max.	Min.	Max.	Min.
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	31,9	3,2	82	37
5	39,9	1,9	82	27
6	39,4	7	80	24
7	35,9	6,9	81	27
8	37,7	6,5	80	27
9	37,7	7	80	25
10	36,4	8,8	82	30
11	36,2	7,3	80	29
12	37,2	6	82	26
13	36	7,9	82	28
14	34,9	9,2	83	30
15				
promedio	36,65	6,52	81,27	28,18

Anexo 2. Condiciones ambientales en invernadero durante la producción de forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* "cebada" a 3630 m s.n.m. en 15 días.

<i>Hordeum Vulgare</i> "cebada"				
N° de Días	Temperatura °C		% de humedad	
	Max.	Min.	Max.	Min.
1	41,6	6,6	87	23
2	38,9	3,7	73	35
3	38,7	4,8	81	25
4	36,7	5,8	87	44
5	37,3	5,8	87	32
6	37,6	5,8	84	40
7	35,1	6,3	86	47
8	33,7	7,1	87	38
9	35,1	7,8	89	45
10	36	7,8	91	43
11	35	6,6	90	43
12	34,2	6,5	91	41
13	34,8	6,5	90	48
14	34,7	3,9	91	47
15				
Promedio	36,38	6,07	86,71	39,35

Anexo 3. Condiciones ambientales en invernadero durante la producción de forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* "trigo" a 3630 m s.n.m. en 15 días.

<i>Triticum aestivum</i> "trigo"				
N° de Días	Temperatura °C		% de humedad	
	Max.	Min.	Max.	Min.
1	34,5	3,8	83	27
2	34,5	3,8	84	30
3	34,8	4,6	82	28
4	34,4	4,5	82	27
5	33,4	5,5	83	35
6	34,1	5,3	85	35
7	33,1	5,5	85	34
8	33,3	6	87	40
9	34,5	5,4	87	38
10	31,7	4,7	87	37
11	31,6	8,2	86	37
12	31,2	7	86	46
13	33,2	0,9	87	47
14	30,7	2,9	88	45
15				
Promedio	33,21	4,86	85,14	36,14

Anexo 4. Porcentaje de germinación para la producción de forraje verde hidropónico de la *Avena sativa* "avena", *Triticum aestivum* "trigo" y *Hordeum vulgare* "cebada" a los cinco días, con cuatro repeticiones.

% de germinación			
Placa	<i>Avena sativa</i> "avena"	<i>Triticum aestivum</i> "trigo"	<i>Hordeum vulgare</i> "cebada"
1	84	89	90
2	80	93	94
3	89	90	94
4	88	87	92
Promedio	85,25	89,75	92,5

Anexo 5. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa total (kg/0,15 m²) del FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	2,554	0,21285	8,71	0,000
Error	51	1,247	0,02445		
Total	63	3,801			

Anexo 6. Datos del análisis de varianza de la altura de las plantas de *Avena sativa* “avena” en el rendimiento de FVH en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	18,28	1,5236	2,74	0,006
Error	51	28,40	0,5569		
Total	63	46,69			

Anexo 7. Datos del análisis de varianza promedio de la biomasa aérea (kg/0,15 m²) del FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	0,4610	0,038419	7,09	0,000
Error	51	0,2763	0,005418		
Total	63	0,7373			

Anexo 8. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa radicular (kg/0,15 m²) del FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	1,2924	0,10770	7,88	0,000
Error	51	0,6968	0,01366		
Total	63	1,9892			

Anexo 9. Datos del análisis de varianza del rendimiento (kg/m²) del FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	112,32	9,360	8,71	0,000
Error	51	54,3	1,075		
Total	63	167,15			

Anexo 10. Datos del análisis de varianza del promedio de la biomasa total (kg/0,15 m²) del FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	2,269	0,18912	11,40	0,000
Error	52	0,862	0,01695		
Total	64	3,1319			

Anexo 11. Datos del análisis de varianza de la altura de las plantas de *Hordeum vulgare* “cebada” en el rendimiento de FVH en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	29,65	2,4712	2,52	0,011
Error	52	50,95	0,9799		
Total	64	80,61			

Anexo 12. Datos del análisis de varianza promedio de la biomasa aérea (kg/0,15 m²) del FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	0,3627	0,030224	7,21	0,000
Error	52	0,2179	0,004189		
Total	64	0,5805			

Anexo 13. Datos del análisis de varianza promedio de la biomasa radicular (kg/0,15 m²) del FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	1,2845	0,107040	11,78	0,000
Error	52	0,4724	0,009085		
Total	64	1,7569			

Anexo 14. Datos del análisis de varianza del rendimiento (kg/m²) del FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales..

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	99,80	8,3164	11,40	0,000
Error	52	37,92	0,7293		
Total	64	137,72			

Anexo 15. Datos del análisis de varianza promedio de la biomasa total (kg/0,15 m²) del FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	3,405	0,28376	10,08	0,000
Error	52	1,463	0,02814		
Total	64	4,868			

Anexo 16. Datos del análisis de varianza de la altura de las plantas de *Triticum aestivum* “trigo” en el rendimiento de FVH en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	23,04	1,9199	3,02	0,003
Error	52	33,02	0,6351		
Total	64	56,06			

Anexo 17. Datos del análisis de varianza promedio de la biomasa aérea (kg/0,15 m²) del FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	0,3405	0,028375	8,21	0,000
Error	51	0,1763	0,003457		
Total	63	0,5168			

Anexo 18. Datos del análisis de varianza promedio de la biomasa radicular (kg/0,15 m²) del FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	1,4851	0,12376	6,96	0,000
Error	52	0,9246	0,01778		
Total	64	2,4097			

Anexo 19. Datos del análisis de varianza del rendimiento (kg/m²) del FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	12	149,73	12,478	10,08	0,000
Error	52	64,34	1,237		
Total	64	214,08			

Anexo 20. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa total de FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T12	5	3,0054	A
T7	5	2,9962	A
T1	5	2,9332	A
T10	4	2,9183	A B
T6	5	2,8966	A B
T2	5	2,8886	A B
T4	5	2,8654	A B
T5	5	2,8354	A B
T8	5	2,7904	A B
T11	5	2,7000	A B
T3	5	2,6698	A B
T9	5	2,566	B C
T13	5	2,2546	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 21. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la altura de las plantas del FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T12	5	15,459	A
T10	4	15,090	A
T5	5	15,054	A
T6	5	14,918	A
T9	5	14,904	A
T11	5	14,614	A B
T3	5	14,454	A B
T8	5	14,430	A B
T1	5	14,428	A B
T2	5	14,404	A B
T7	5	14,342	A B
T4	5	14,040	A B
T13	5	13,240	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 22. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa aérea de FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T12	5	0,7692	A
T10	4	0,76350	A
T6	5	0,7560	A
T5	5	0,7240	A B
T7	5	0,7052	A B
T11	5	0,6968	A B
T1	5	0,6812	A B
T8	5	0,6624	A B
T3	5	0,6580	A B
T2	5	0,6318	A B
T9	5	0,6152	A B
T4	5	0,5796	B C
T13	5	0,4458	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 23. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa radicular de FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T7	5	2,2910	A
T4	5	2,2858	A
T2	5	2,2568	A B
T1	5	2,2520	A B
T12	5	2,2362	A B
T10	4	2,1547	A B C
T6	5	2,1406	A B C
T8	5	2,1280	A B C
T5	5	2,1114	A B C
T3	5	2,0118	B C D
T11	5	2,0032	B C D
T9	5	1,9506	C D
T13	5	1,8088	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 24. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% del rendimiento (kg/m²) del FVH de *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T12	5	19,920	A
T7	5	19,869	A
T1	5	19,451	A
T10	4	19,352	A B
T6	5	19,208	A B
T2	5	19,155	A B
T4	5	19,001	A B
T5	5	18,802	A B
T8	5	18,504	A B
T11	5	17,905	A B
T3	5	17,704	A B
T9	5	17,015	B C
T13	5	14,951	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Anexo 25. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa total de FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T2	5	3,5028	A
T4	5	3,4246	A
T1	5	3,3388	A
T6	5	3,2942	A B
T10	5	3,2844	A B
T8	5	3,2726	A B
T7	5	3,2236	A B
T5	5	3,2178	A B
T12	5	3,1690	A B
T9	5	3,1560	A B C
T3	5	3,1392	A B C
T11	5	2,9300	B C
T13	5	2,7946	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 26. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la altura de las plantas del FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T10	5	18,058	A
T1	5	17,428	A
T4	5	17,288	A
T5	5	17,252	A
T6	5	17,180	A
T9	5	17,160	A B
T11	5	16,928	A B
T12	5	16,854	A B
T2	5	16,798	A B
T7	5	16,690	A B
T8	5	16,612	A B
T3	5	16,496	A B
T13	5	15,006	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 27. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa aérea de FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T6	5	0,9942	A
T10	5	0,993	A
T2	5	0,9796	A B
T9	5	0,931	A B C
T4	5	0,9274	A B C
T12	5	0,9114	A B C
T1	5	0,9026	A B C
T8	5	0,9004	A B C
T7	5	0,8956	A B C
T11	5	0,878	A B C
T5	5	0,8778	A B C
T3	5	0,8064	B C
T13	5	0,7686	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 28. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa radicular de FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T2	5	2,5232	A
T4	5	2,4972	A B
T1	5	2,4362	A B C
T8	5	2,3722	A B C
T5	5	2,3400	A B C
T3	5	2,3328	A B C
T7	5	2,3280	A B C
T6	5	2,3000	A B C D
T10	5	2,2914	A B C D
T12	5	2,2578	B C D E
T9	5	2,2250	C D E
T11	5	2,0520	D E
T13	5	2,0260	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 29. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% del rendimiento (kg/m²) del FVH de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T2	5	23,23	A
T4	5	22,71	A
T1	5	22,14	A
T6	5	21,85	A B
T10	5	21,78	A B
T8	5	21,70	A B
T7	5	21,38	A B
T5	5	21,34	A B
T12	5	21,02	A B
T9	5	20,93	A B C
T3	5	20,82	A B C
T11	5	19,43	B C
T13	5	18,53	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 30. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa total de FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T6	5	3,1740	A
T4	5	3,064	A B
T12	5	2,9550	A B C
T8	5	2,9118	A B C
T3	5	2,8988	A B C
T1	5	2,8778	A B C
T2	5	2,8712	A B C
T5	5	2,8142	A B C
T10	5	2,8122	A B C
T7	5	2,7198	B C
T9	5	2,691	C
T11	5	2,6882	C
T13	5	2,1772	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 31. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la altura de las plantas del FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T6	5	13,770	A
T10	5	13,028	A
T8	5	12,948	A
T12	5	12,806	A B
T9	5	12,804	A B
T11	5	12,750	A B
T4	5	12,706	A B
T3	5	12,598	A B
T2	5	12,517	A B
T7	5	12,330	A B
T5	5	12,142	A B
T1	5	12,112	A B
T13	5	11,086	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 32. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa aérea de FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T6	5	0,9514	A
T3	5	0,8898	A B
T4	5	0,8756	A B C
T12	5	0,8610	A B C
T10	5	0,8604	A B C
T2	5	0,8312	A B C
T1	5	0,8306	A B C
T5	5	0,8284	A B C
T8	5	0,8262	A B C
T7	5	0,7758	B C
T9	5	0,7672	B C
T11	5	0,7592	C D
T13	4	0,6230	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 33. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% de la biomasa radicular de FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T6	5	2,2226	A
T4	5	2,1884	A B
T12	5	2,0940	A B
T8	5	2,0856	A B
T1	5	2,0472	A B
T2	5	2,0400	A B
T3	5	2,0090	A B
T5	5	1,9858	A B
T10	5	1,9518	A B
T7	5	1,9440	A B
T11	5	1,9290	B
T9	5	1,9238	B
T13	5	1,5812	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 34. Comparaciones en parejas de Tukey a una confianza de 95% del rendimiento (kg/m²) del FVH de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T6	5	21,048	A
T4	5	20,318	A B
T12	5	19,595	A B C
T8	5	19,309	A B C
T3	5	19,223	A B C
T1	5	19,084	A B C
T2	5	19,040	A B C
T5	5	18,662	A B C
T10	5	18,649	A B C
T7	5	18,036	B C
T9	5	17,845	C
T11	5	17,826	C
T13	5	14,438	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Anexo. 35. Estadístico descriptivo de la biomasa total (kg) del forraje verde hidropónico de la *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Media	Error		Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
					estandar de la media	Desv.Est.					
Biomasa total (Kg)	T1	5	0	2,93	0,07	0,15	2,76	2,81	2,89	3,07	3,15
	T2	5	0	2,89	0,03	0,08	2,80	2,81	2,89	2,96	2,97
	T3	5	0	2,67	0,09	0,19	2,49	2,50	2,66	2,84	2,97
	T4	5	0	2,87	0,06	0,13	2,72	2,73	2,87	2,99	3,03
	T5	5	0	2,84	0,03	0,08	2,72	2,76	2,88	2,89	2,89
	T6	5	0	2,90	0,09	0,19	2,60	2,71	2,99	3,04	3,07
	T7	5	0	3,00	0,05	0,10	2,87	2,90	2,98	3,10	3,12
	T8	5	0	2,79	0,06	0,14	2,60	2,65	2,82	2,92	2,97
	T9	5	0	2,59	0,11	0,24	2,33	2,40	2,49	2,83	2,94
	T10	4	0	2,92	0,09	0,18	2,67	2,73	2,96	3,07	3,09
	T11	5	0	2,70	0,06	0,13	2,51	2,60	2,71	2,79	2,86
	T12	5	0	3,01	0,08	0,18	2,81	2,84	2,99	3,18	3,23
	T13	5	0	2,25	0,05	0,12	2,07	2,14	2,30	2,34	2,36

Anexo. 36. Estadístico descriptivo de la altura de la planta (cm) del forraje verde hidropónico de la *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error			Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media	Desv.Est.					
Altura de la planta (cm)	T1	5	0	14,43	0,34	0,77	13,86	13,88	14,14	15,13	15,71
	T2	5	0	14,40	0,30	0,68	13,52	13,90	14,32	14,96	15,41
	T3	5	0	14,45	0,44	0,99	12,88	13,55	14,66	15,26	15,37
	T4	5	0	14,04	0,27	0,60	13,35	13,49	13,93	14,65	14,80
	T5	5	0	15,05	0,25	0,55	14,23	14,61	15,11	15,48	15,76
	T6	5	0	14,92	0,22	0,49	14,11	14,46	15,15	15,26	15,32
	T7	5	0	14,34	0,33	0,73	13,19	13,74	14,28	14,98	14,98
	T8	5	0	14,43	0,48	1,06	13,26	13,29	14,86	15,36	15,43
	T9	5	0	14,90	0,48	1,07	13,52	13,92	14,73	15,98	15,98
	T10	4	0	15,09	0,36	0,72	14,53	14,54	14,88	15,85	16,07
	T11	5	0	14,61	0,22	0,48	14,00	14,18	14,70	15,01	15,29
	T12	5	0	15,46	0,32	0,71	14,56	14,92	15,36	16,05	16,52
	T13	5	0	13,24	0,22	0,50	12,79	12,87	13,11	13,68	14,06

Anexo. 37. Estadístico descriptivo de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de la *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error			Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media	Desv.Est.					
Biomasa aérea (Kg)	T1	5	0	0,68	0,04	0,09	0,58	0,62	0,66	0,76	0,82
	T2	5	0	0,63	0,02	0,04	0,57	0,60	0,64	0,66	0,66
	T3	5	0	0,66	0,04	0,08	0,56	0,59	0,62	0,75	0,76
	T4	5	0	0,58	0,04	0,09	0,45	0,48	0,63	0,65	0,66
	T5	5	0	0,72	0,03	0,07	0,62	0,66	0,72	0,79	0,81
	T6	5	0	0,76	0,03	0,07	0,67	0,70	0,74	0,82	0,83
	T7	5	0	0,71	0,02	0,05	0,66	0,67	0,68	0,75	0,80
	T8	5	0	0,66	0,04	0,09	0,56	0,58	0,67	0,74	0,77
	T9	5	0	0,64	0,04	0,09	0,53	0,55	0,62	0,73	0,74
	T10	4	0	0,76	0,00	0,01	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
	T11	5	0	0,70	0,02	0,04	0,66	0,66	0,70	0,73	0,75
	T12	5	0	0,77	0,02	0,05	0,70	0,73	0,76	0,82	0,82
	T13	5	0	0,45	0,03	0,07	0,37	0,38	0,43	0,52	0,54

Anexo. 38. Estadístico descriptivo de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de la *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error			Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media	Desv.Est.					
Biomasa radicular (kg)	T1	5	0	2,25	0,07	0,16	2,05	2,11	2,23	2,40	2,46
	T2	5	0	2,26	0,02	0,05	2,19	2,21	2,25	2,31	2,31
	T3	5	0	2,01	0,07	0,15	1,90	1,90	1,93	2,16	2,23
	T4	5	0	2,29	0,03	0,07	2,20	2,22	2,30	2,34	2,39
	T5	5	0	2,11	0,04	0,08	1,98	2,04	2,12	2,18	2,18
	T6	5	0	2,14	0,06	0,14	1,94	2,00	2,16	2,27	2,29
	T7	5	0	2,29	0,03	0,07	2,21	2,24	2,28	2,35	2,41
	T8	5	0	2,13	0,03	0,07	2,05	2,07	2,10	2,20	2,20
	T9	5	0	1,95	0,07	0,16	1,80	1,83	1,90	2,10	2,20
	T10	4	0	2,15	0,09	0,18	1,91	1,97	2,20	2,30	2,32
	T11	5	0	2,00	0,04	0,10	1,84	1,92	2,01	2,08	2,11
	T12	5	0	2,24	0,07	0,15	2,11	2,11	2,17	2,40	2,42
	T13	5	0	1,81	0,03	0,07	1,70	1,76	1,82	1,85	1,88

Anexo. 39. Estadístico descriptivo del rendimiento (kg/m²) del forraje verde hidropónico de la *Avena sativa* “avena” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error			Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media	Desv.Est.					
Rendimiento kg/m ²	T1	5	0	19,45	0,44	0,99	18,29	18,66	19,16	20,39	20,92
	T2	5	0	19,16	0,23	0,51	18,57	18,64	19,18	19,66	19,70
	T3	5	0	17,70	0,57	1,28	16,53	16,59	17,64	18,85	19,68
	T4	5	0	19,00	0,40	0,88	18,04	18,13	19,05	19,85	20,12
	T5	5	0	18,80	0,23	0,51	18,04	18,29	19,09	19,17	19,19
	T6	5	0	19,21	0,57	1,26	17,25	17,95	19,83	20,15	20,33
	T7	5	0	19,87	0,30	0,68	19,03	19,25	19,74	20,55	20,67
	T8	5	0	18,50	0,42	0,94	17,27	17,59	18,68	19,33	19,70
	T9	5	0	17,15	0,71	1,59	15,46	15,90	16,49	18,73	19,47
	T10	4	0	19,35	0,60	1,20	17,69	18,11	19,62	20,33	20,48
	T11	5	0	17,91	0,37	0,83	16,63	17,26	17,98	18,52	18,95
	T12	5	0	19,93	0,52	1,17	18,63	18,82	19,81	21,10	21,39
	T13	5	0	14,95	0,34	0,76	13,75	14,21	15,28	15,53	15,65

Anexo. 40. Estadístico descriptivo de la biomasa total (kg) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error		Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media						
Biomasa total (Kg)	T1	5	0	3,34	0,05	0,10	3,27	3,27	3,29	3,43	3,51
	T2	5	0	3,50	0,05	0,12	3,40	3,42	3,48	3,60	3,70
	T3	5	0	3,14	0,08	0,18	2,86	2,97	3,20	3,28	3,34
	T4	5	0	3,42	0,03	0,06	3,36	3,36	3,42	3,49	3,50
	T5	5	0	3,22	0,09	0,20	2,99	3,05	3,19	3,39	3,52
	T6	5	0	3,29	0,03	0,06	3,19	3,24	3,31	3,34	3,35
	T7	5	0	3,22	0,06	0,14	3,08	3,08	3,25	3,35	3,36
	T8	5	0	3,27	0,07	0,15	3,16	3,16	3,17	3,43	3,50
	T9	5	0	3,16	0,13	0,30	2,70	2,88	3,18	3,42	3,42
	T10	5	0	3,28	0,02	0,04	3,21	3,24	3,31	3,32	3,32
	T11	5	0	2,93	0,11	0,24	2,69	2,75	2,83	3,17	3,29
	T12	5	0	3,17	0,11	0,25	2,87	2,91	3,19	3,41	3,44
	T13	5	0	2,79	0,04	0,10	2,67	2,71	2,80	2,88	2,93

Anexo. 41. Estadístico descriptivo de la altura de la planta (cm) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error		Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media						
Altura de la planta (cm)	T1	5	0	17,43	0,36	0,81	16,47	16,69	17,37	18,20	18,54
	T2	5	0	16,80	0,64	1,43	14,53	15,53	17,24	17,85	18,37
	T3	5	0	16,50	0,36	0,80	15,29	15,73	16,61	17,21	17,26
	T4	5	0	17,29	0,47	1,05	16,03	16,45	17,05	18,25	18,86
	T5	5	0	17,25	0,47	1,05	15,46	16,35	17,58	18,00	18,05
	T6	5	0	17,18	0,53	1,19	16,09	16,13	16,95	18,35	18,91
	T7	5	0	16,69	0,45	1,00	15,57	15,95	16,51	17,52	18,30
	T8	5	0	16,61	0,49	1,09	15,38	15,47	16,95	17,59	17,75
	T9	5	0	17,16	0,27	0,61	16,64	16,68	17,03	17,71	18,14
	T10	5	0	18,06	0,33	0,75	17,14	17,45	18,06	18,67	19,19
	T11	5	0	16,93	0,45	1,00	15,26	16,06	17,25	17,64	17,83
	T12	5	0	16,85	0,55	1,23	15,39	15,63	16,92	18,05	18,13
	T13	5	0	15,01	0,19	0,43	14,53	14,66	14,81	15,45	15,57

Anexo. 42. Estadístico descriptivo de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error		Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media						
Biomasa aérea(Kg)	T1	5	0	0,90	0,02	0,05	0,85	0,86	0,89	0,95	0,98
	T2	5	0	0,98	0,02	0,04	0,94	0,95	0,98	1,01	1,03
	T3	5	0	0,81	0,03	0,07	0,69	0,75	0,83	0,86	0,86
	T4	5	0	0,93	0,03	0,07	0,86	0,87	0,92	0,99	1,04
	T5	5	0	0,88	0,04	0,08	0,76	0,81	0,86	0,96	0,98
	T6	5	0	0,99	0,02	0,05	0,94	0,95	0,98	1,05	1,05
	T7	5	0	0,90	0,03	0,07	0,82	0,83	0,89	0,96	0,98
	T8	5	0	0,90	0,02	0,05	0,86	0,86	0,87	0,95	0,96
	T9	5	0	0,93	0,04	0,09	0,84	0,84	0,93	1,02	1,04
	T10	5	0	0,99	0,02	0,04	0,94	0,96	0,99	1,02	1,05
	T11	5	0	0,88	0,08	0,17	0,71	0,74	0,81	1,06	1,11
	T12	5	0	0,91	0,04	0,09	0,76	0,82	0,94	0,98	1,00
	T13	5	0	0,77	0,03	0,07	0,69	0,70	0,78	0,83	0,84

Anexo. 43. Estadístico descriptivo de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error		Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				Media	estandar de la media						
Biomasa radicular (Kg)	T1	5	0	2,44	0,03	0,07	2,34	2,38	2,43	2,50	2,54
	T2	5	0	2,52	0,06	0,13	2,37	2,42	2,52	2,63	2,72
	T3	5	0	2,33	0,05	0,12	2,17	2,23	2,35	2,43	2,49
	T4	5	0	2,50	0,03	0,06	2,42	2,44	2,50	2,55	2,56
	T5	5	0	2,34	0,06	0,12	2,23	2,24	2,33	2,44	2,55
	T6	5	0	2,30	0,02	0,03	2,26	2,28	2,30	2,33	2,35
	T7	5	0	2,33	0,03	0,07	2,24	2,25	2,36	2,39	2,40
	T8	5	0	2,37	0,05	0,11	2,29	2,29	2,31	2,48	2,55
	T9	5	0	2,23	0,10	0,22	1,86	2,04	2,25	2,40	2,41
	T10	5	0	2,29	0,03	0,06	2,23	2,25	2,27	2,35	2,37
	T11	5	0	2,05	0,04	0,08	1,97	2,00	2,03	2,12	2,19
	T12	5	0	2,26	0,08	0,17	2,07	2,09	2,25	2,43	2,48
	T13	5	0	2,03	0,03	0,08	1,92	1,95	2,04	2,09	2,10

Anexo. 44. Estadístico descriptivo del rendimiento (kg/m²) del forraje verde hidropónico de *Hordeum vulgare* “cebada” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error							
				Media	estandar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Rendimiento kg/m ²	T1	5	0	22,14	0,30	0,67	21,66	21,71	21,81	22,74	23,28
	T2	5	0	23,23	0,35	0,78	22,55	22,66	23,07	23,88	24,55
	T3	5	0	20,82	0,54	1,20	18,96	19,71	21,22	21,73	22,17
	T4	5	0	22,71	0,19	0,43	22,28	22,29	22,70	23,14	23,21
	T5	5	0	21,34	0,59	1,32	19,81	20,26	21,16	22,51	23,36
	T6	5	0	21,85	0,18	0,41	21,18	21,46	21,98	22,17	22,22
	T7	5	0	21,38	0,41	0,92	20,39	20,41	21,58	22,24	22,30
	T8	5	0	21,70	0,46	1,02	20,94	20,97	21,03	22,77	23,20
	T9	5	0	20,93	0,89	1,99	17,91	19,10	21,07	22,69	22,70
	T10	5	0	21,78	0,13	0,30	21,31	21,48	21,97	21,98	21,99
	T11	5	0	19,43	0,71	1,59	17,81	18,21	18,76	20,99	21,84
	T12	5	0	21,02	0,75	1,67	19,03	19,32	21,17	22,63	22,83
	T13	5	0	18,53	0,29	0,64	17,69	17,96	18,57	19,09	19,43

Anexo. 45. Estadístico descriptivo de la biomasa total (kg) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Error							
				Media	estandar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Biomasa total (kg)	T1	5	0	2,88	0,04	0,08	2,82	2,82	2,84	2,95	3,01
	T2	5	0	2,87	0,03	0,07	2,75	2,80	2,89	2,93	2,95
	T3	5	0	2,90	0,03	0,07	2,82	2,84	2,88	2,97	3,00
	T4	5	0	3,06	0,12	0,27	2,77	2,83	2,98	3,34	3,43
	T5	5	0	2,81	0,09	0,20	2,58	2,63	2,76	3,02	3,08
	T6	5	0	3,17	0,07	0,16	3,00	3,04	3,13	3,33	3,42
	T7	5	0	2,72	0,10	0,22	2,40	2,51	2,76	2,91	2,93
	T8	5	0	2,91	0,08	0,18	2,69	2,74	2,92	3,08	3,13
	T9	5	0	2,69	0,11	0,24	2,40	2,48	2,64	2,93	2,96
	T10	5	0	2,81	0,08	0,19	2,55	2,62	2,92	2,95	2,96
	T11	5	0	2,69	0,05	0,11	2,51	2,60	2,70	2,77	2,78
	T12	5	0	2,96	0,07	0,15	2,82	2,85	2,92	3,08	3,22
	T13	5	0	2,18	0,02	0,06	2,13	2,14	2,15	2,23	2,27

Anexo. 46. Estadístico descriptivo de la altura de la planta (cm) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Media	Error estandar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Altura de la planta (cm)	T1	5	0	12,11	0,16	0,36	11,80	11,84	11,90	12,50	12,60
	T2	5	0	12,52	0,44	0,97	11,34	11,70	12,31	13,44	13,91
	T3	5	0	12,60	0,24	0,54	11,96	12,06	12,76	13,06	13,32
	T4	5	0	12,71	0,78	1,75	10,39	11,14	12,48	14,39	14,88
	T5	5	0	12,14	0,41	0,93	11,19	11,36	11,91	13,04	13,53
	T6	5	0	13,77	0,40	0,89	12,83	13,08	13,53	14,59	15,17
	T7	5	0	12,33	0,05	0,11	12,19	12,22	12,36	12,43	12,47
	T8	5	0	12,95	0,23	0,52	12,08	12,51	13,08	13,33	13,44
	T9	5	0	12,80	0,28	0,62	12,18	12,22	12,77	13,41	13,65
	T10	5	0	13,03	0,13	0,30	12,80	12,83	12,92	13,29	13,54
	T11	5	0	12,75	0,26	0,58	12,00	12,18	12,79	13,30	13,36
	T12	5	0	12,81	0,45	1,02	11,86	11,95	12,54	13,80	14,34
	T13	5	0	11,09	0,10	0,23	10,75	10,88	11,13	11,28	11,38

Anexo. 47. Estadístico descriptivo de la biomasa aérea (kg) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Media	Error estandar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Biomasa aérea (Kg)	T1	5	0	0,83	0,02	0,04	0,79	0,80	0,82	0,87	0,88
	T2	5	0	0,83	0,03	0,08	0,71	0,77	0,83	0,90	0,90
	T3	5	0	0,89	0,02	0,05	0,84	0,85	0,88	0,94	0,97
	T4	5	0	0,88	0,04	0,08	0,78	0,81	0,84	0,96	0,99
	T5	5	0	0,83	0,03	0,08	0,74	0,76	0,82	0,90	0,94
	T6	5	0	0,95	0,03	0,06	0,88	0,90	0,94	1,01	1,02
	T7	5	0	0,78	0,03	0,06	0,70	0,71	0,78	0,84	0,85
	T8	5	0	0,83	0,02	0,05	0,78	0,79	0,81	0,87	0,92
	T9	5	0	0,77	0,02	0,05	0,68	0,72	0,78	0,81	0,81
	T10	5	0	0,86	0,02	0,04	0,81	0,82	0,88	0,90	0,90
	T11	5	0	0,76	0,02	0,04	0,71	0,73	0,76	0,79	0,81
	T12	5	0	0,86	0,03	0,07	0,78	0,80	0,86	0,93	0,97
	T13	4	0	0,62	0,01	0,02	0,61	0,61	0,62	0,64	0,65

Anexo. 48. Estadístico descriptivo de la biomasa radicular (kg) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Media	Error estandar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Biomasa radicular (kg)	T1	5	0	2,05	0,04	0,10	1,93	1,96	2,04	2,13	2,19
	T2	5	0	2,04	0,03	0,06	1,97	1,98	2,04	2,10	2,13
	T3	5	0	2,01	0,04	0,10	1,91	1,91	2,01	2,11	2,12
	T4	5	0	2,19	0,09	0,19	1,99	2,02	2,14	2,38	2,44
	T5	5	0	1,99	0,06	0,14	1,84	1,87	1,91	2,14	2,15
	T6	5	0	2,22	0,05	0,12	2,12	2,13	2,17	2,35	2,40
	T7	5	0	1,94	0,07	0,17	1,70	1,79	1,95	2,10	2,12
	T8	5	0	2,09	0,07	0,15	1,88	1,93	2,14	2,21	2,21
	T9	5	0	1,92	0,09	0,21	1,72	1,75	1,83	2,15	2,15
	T10	5	0	1,95	0,07	0,15	1,74	1,80	2,05	2,06	2,06
	T11	5	0	1,93	0,04	0,08	1,80	1,86	1,93	1,99	2,04
	T12	5	0	2,09	0,05	0,11	1,94	2,00	2,08	2,20	2,25
	T13	5	0	1,58	0,03	0,06	1,53	1,53	1,55	1,64	1,65

Anexo. 49. Estadístico descriptivo del rendimiento (kg/m²) del forraje verde hidropónico de *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales.

Variable	tto.	N	N*	Media	Error estandar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Rendimiento kg/m ²	T1	5	0	19,08	0,24	0,53	18,67	18,72	18,85	19,56	19,97
	T2	5	0	19,04	0,22	0,50	18,24	18,59	19,19	19,41	19,54
	T3	5	0	19,22	0,21	0,47	18,69	18,85	19,07	19,67	19,91
	T4	5	0	20,32	0,80	1,79	18,38	18,77	19,74	22,16	22,73
	T5	5	0	18,66	0,60	1,35	17,12	17,47	18,33	20,02	20,42
	T6	5	0	21,05	0,48	1,07	19,89	20,18	20,78	22,05	22,68
	T7	5	0	18,04	0,65	1,45	15,90	16,62	18,33	19,31	19,42
	T8	5	0	19,31	0,53	1,19	17,83	18,16	19,34	20,45	20,77
	T9	5	0	17,85	0,70	1,57	15,93	16,42	17,51	19,44	19,62
	T10	5	0	18,65	0,55	1,23	16,90	17,35	19,39	19,58	19,60
	T11	5	0	17,83	0,32	0,72	16,63	17,24	17,89	18,39	18,46
	T12	5	0	19,60	0,46	1,02	18,73	18,87	19,39	20,43	21,33
	T13	5	0	14,44	0,16	0,37	14,15	14,16	14,28	14,79	15,02

Anexo 50. Constancia de identificación taxonómica de *Triticum aestivum* L. var. Gavilán.

CONSTANCIA

LA BIÓLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:

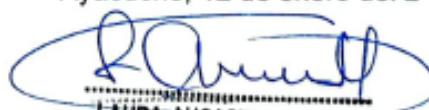
Que, el Bachiller en Ciencias Biológicas, Sr. Christian Hansel, ALEJANDRO AYALA, ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada según el Sistema de Clasificación de Cronquist. A. 1988, siendo su taxonomía la siguiente:

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	LILIOPSIDA
SUB CLASE	:	COMMELINIDAE
ORDEN	:	CYPERALES
FAMILIA	:	POACEAE
GÉNERO	:	Triticum
ESPECIE	:	<i>Triticum aestivum</i> L
Variedad /Cultivar:	:	Gavilán
N. V..	:	"trigo."

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 12 de enero del 2026


LAURA AUCASIME MEDINA
BIÓLOGA
Reg. C.B.P. N° 583-CR.- XIII

Anexo 51. Constancia de identificación taxonómica de *Hordeum vulgare* L. var. UNA-80.

CONSTANCIA

LA BIÓLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:

Que, el Bachiller en Ciencias Biológicas, Sr. Christian Hansel, ALEJANDRO AYALA, ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada según el Sistema de Clasificación de Cronquist. A. 1988, siendo su taxonomía la siguiente:

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	LILIOPSIDA
SUB CLASE	:	COMMELINIDAE
ORDEN	:	CYPERALES
FAMILIA	:	POACEAE
GÉNERO	:	Hordeum
ESPECIE	:	<i>Hordeum vulgare</i> L.
Variedad /Cultivar:	:	UNA - 80
N. V..	:	"cebada."

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 12 de enero del 2 026


LAURA AUCASIME-MEDINA
BIÓLOGA
REG. C.B.R. N° 583 C.R. - XIV

Anexo 52. Constancia de identificación taxonómica de *Avena sativa* L. var. INIA 901- Mantaro 15.

CONSTANCIA

LA BIÓLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:

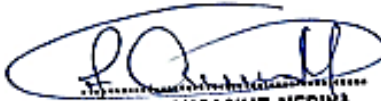
Que, el Bachiller en Ciencias Biológicas, Sr. Christian Hansel, **ALEJANDRO AYALA**, ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada según el Sistema de Clasificación de Cronquist. A. 1988, siendo su taxonomía la siguiente:

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	LILIOPSIDA
SUB CLASE	:	COMMELINIDAE
ORDEN	:	CYPERALES
FAMILIA	:	POACEAE
GÉNERO	:	Avena
ESPECIE	:	<i>Avena sativa</i> L.
Variedad /Cultivar:	:	INIA 901 – Mantaro 15
N. V..	:	"avena."

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 12 de enero del 2026


LAURA AUCASIME MEDINA
BIÓLOGA
Reg. C.B.P. N° 583 C.R. - XIII

Anexo 53. Vista fotográfica de la Instalación de estantes y bandejas para evaluar el rendimiento de avena, cebada y trigo de FVH en un invernadero convencional en Tenajeria, Soras, Sucre, Ayacucho.



Anexo 54. Siembra de semillas de cebada, trigo y avena para evaluar el porcentaje de germinación en un invernadero convencional en Tenajería, Soras, Sucre, Ayacucho.



A



B

- A. Granos de cebada, trigo y avena en la fase inicial de germinación
- B. Granos de cebada, trigo y avena en la fase final de germinación

Anexo 55. Activación de microorganismos eficaces en un invernadero convencional en Tenajeria, Soras, Sucre, Ayacucho.



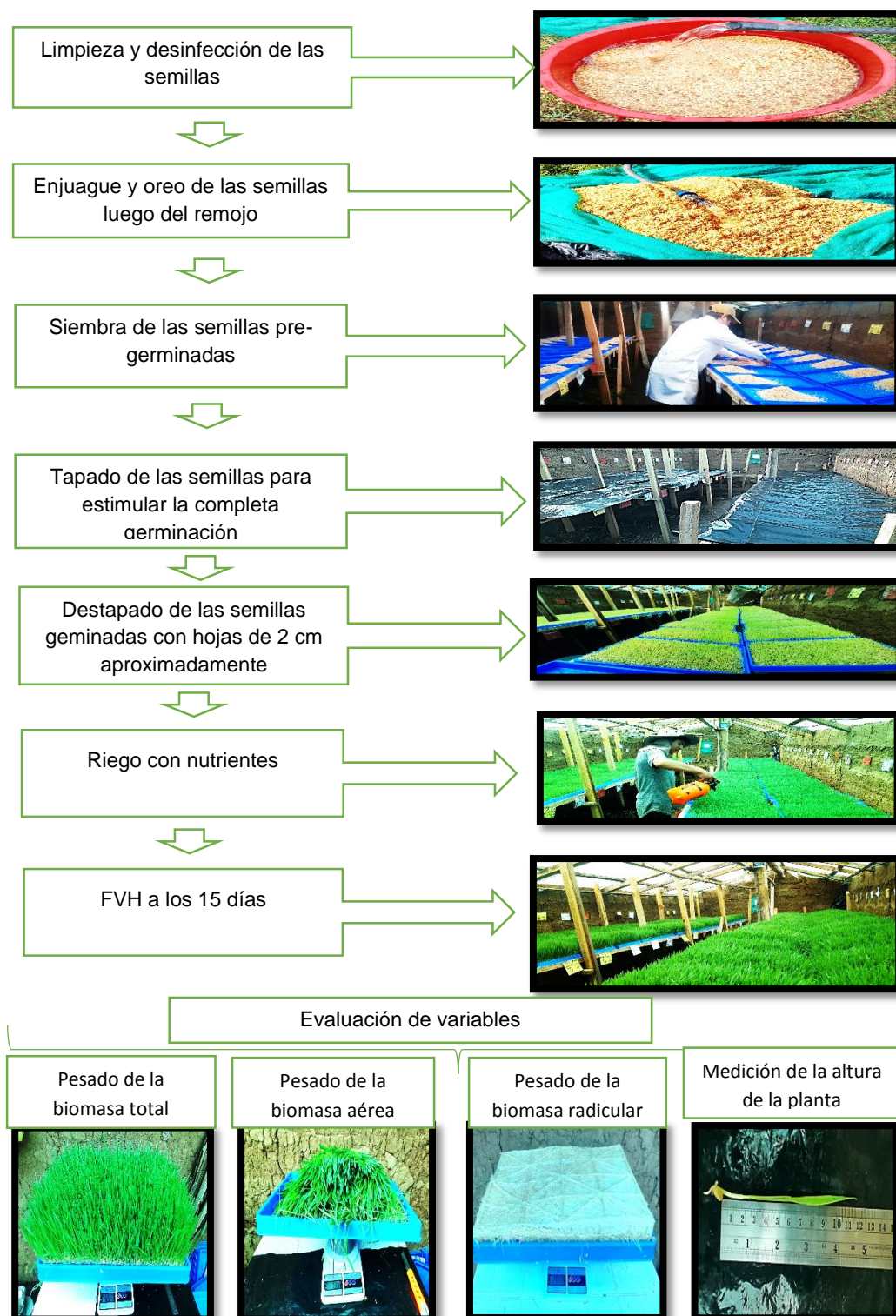
A

B

C

- A. Activación de los ME para inocular en FVH.
- B. Coloración inicial y pH en el proceso de activación ME.
- C. Coloración final y pH de los Microorganismos Eficaces Activados (ME-A)

Anexo 56. Procedimiento y evaluación de variables en la obtención de FVH de la Avena, cebada y trigo en tres condiciones nutricionales en un invernadero convencional.



Anexo 57. Observación del desarrollo de FVH en tres condiciones nutricionales de la avena, cebada y trigo a los 15 días.



Anexo 58. Observación del desarrollo e inocuidad del tapete radicular en la avena, cebada y trigo en tres condiciones nutricionales.



A



B



C

- A. Tapete radicular de la avena.
- B. Tapete radicular de la cebada.
- C. Tapete radicular del trigo.

Anexo 59. Evaluación de la biomasa en kg/0,15 m² de la avena cebada y trigo en tres condiciones nutricionales.



ANEXO 60. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Rendimiento de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales, Ayacucho-2024

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>¿Cuál será el rendimiento de forraje verde hidropónico a partir de <i>Avena sativa</i> “avena”, <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” y <i>Triticum aestivum</i> “trigo” en tres condiciones nutricionales, Ayacucho-2024?</p>	<p>GENERAL Evaluar el rendimiento de forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena”, <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” y <i>Triticum aestivum</i> “trigo” con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Evaluar la biomasa total del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. ● Determinar la altura del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. ● Estimar la biomasa aérea del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. ● Calcular la biomasa radicular del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. ● Determinar el rendimiento en kg/m² de forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo con microorganismos eficaces, solución hidropónica y fertilizante sintético. 	<p>ANTECEDENTES</p> <p>MARCO TEÓRICO</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Origen de la hidroponía. ● Hidroponía ● Forraje verde hidropónico ● Factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico ● Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico ● Los Microorganismos Eficientes (EM) ● Soluciones hidropónicas para la producción de forraje verde hidropónico. ● Fertilizantes con N, P y K en la solución nutritiva ● <i>Triticum aestivum</i> “trigo” ● <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” ● <i>Avena sativa</i> “avena” ● Métodos para la productividad de forraje verde hidropónico 	<p>HIPÓTESIS</p> <p>El forraje verde hidropónico de <i>Avena sativa</i> “avena” en comparación con <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” y <i>Triticum aestivum</i> “trigo” presenta mayor biomasa (total, aérea y radicular), altura y rendimiento con la dosificación de microorganismos eficaces en comparación a la solución hidropónica y fertilizante sintético.</p>	<p>VARIABLES INDEPENDIENTES</p> <p>INDICADORES Concentración de nutrientes</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Testigo sin nutrientes ● Microorganismos eficaces ✓ EMa al 0,4% ✓ EMa al 0,6% ● Solución hidropónica ✓ SH (5 ml de solución A y 2 ml de la solución B para 1 litro de agua) ✓ SH (5 ml de solución A y 2 ml de la solución B para 2 litros de agua) ● Fertilizante sintético ✓ FS (2,5 g por cada 1 L de agua) ✓ FS (2,5 g por cada 1,5 L de agua) <p>VARIABLES DEPENDIENTES</p> <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Rendimiento de forraje verde hidropónico ● Biomasa total (kg/bandeja) ● Altura (cm) ● Biomasa aérea (kg/bandeja) ● Biomasa radicular (kg/bandeja) ● Rendimiento (kg/m²) 	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Experimental</p> <p>MÉTODO Cuantitativo</p> <p>POBLACION Plantas de <i>Avena sativa</i> “avena”, <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” y <i>Triticum aestivum</i> “trigo”.</p> <p>MUESTRA 195 bandejas con plantas de <i>Avena sativa</i> “avena”, <i>Hordeum vulgare</i> “cebada” y <i>Triticum aestivum</i> “trigo”.</p> <p>METODOLOGÍA dosificación de los nutrientes en las plantas</p> <p>ANÁLISIS ESTADÍSTICO Los datos obtenidos de los experimento fueron analizados con el ANOVA unifactorial, y la comparación de medias se realizaron empleando la prueba de Tukey; el diseño estadístico se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA), con trece tratamientos y cinco repeticiones; los tratamientos se han distribuido aleatoriamente en las unidades experimentales.</p>



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS Bach. Christian Hansel ALEJANDRO AYALA RESOLUCIÓN DECANAL N° 504-2025-UNSCH-FCB-D

En la ciudad de Ayacucho, siendo las ocho de la mañana del día lunes veintinueve de diciembre del año dos mil veinticinco se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, actuando como presidente encargado el Dr. Fidel Rodolfo Mujica Lengua con memorando N° 322-2025-UNSCH-FCB con fecha veintinueve de diciembre del año dos mil veinticinco a su vez miembro - jurado, el Dr. Edwin Portal Quicaña (miembro – jurado), el Mg. Rebelino Acuña Martínez (miembro – jurado), la Mg. Paula García Godos Alcázar (miembro – asesor), y actuando como secretario docente Mg. Luis Uriel Moscoso García, para presenciar la sustentación de tesis titulada: Rendimiento de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo” con tres nutrientes, Ayacucho- 2024, presentado por el **Bach. Christian Hansel ALEJANDRO AYALA**; el presidente luego de verificar la documentación generada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación que da fe este acto de sustentación, luego indico el presidente al sustentante que cuenta con un tiempo de cuarenta y cinco minutos tal como establece en el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los Miembros del Jurado a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas al sustentante. Culminada esta etapa, el presidente invitó al sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones correspondientes; cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

Miembros del Jurado Evaluador	Exposición	Respuesta/preguntas	Promedio
Dr. Fidel Rodolfo Mujica Lengua	17	17	17
Dr. Edwin Portal Quicaña	17	17	17
Mg. Rebelino Acuña Martínez	17	17	17
PROMEDIO			17

El sustentante alcanzó el promedio de 17 aprobatorio. Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso del sustentante y el público al Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga dando a conocer los resultados e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las diez de la mañana. Nota: El título de trabajo de investigación queda modificado a “Rendimiento de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales, Ayacucho-2024”. Firmando al pie del presente en señal de conformidad.

Dr. Fidel Rodolfo Mujica Lengua
Presidente (e)

Dr. Edwin Portal Quicaña
Miembro - jurado

Mg. Rebelino Acuña Martínez
Miembro – jurado

Mg. Paula García Godos Alcázar
Miembro - asesor

Mg. Luis Uriel Moscoso García
Secretario Docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA-ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

Nº 21-2026-FCB-D

Yo, FIDEL RODOLFO MUJICA LENGUA, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Rendimiento de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* “avena”, *Hordeum vulgare* “cebada” y *Triticum aestivum* “trigo” en tres condiciones nutricionales, Ayacucho-2024**, por CHRISTIAN HANSEL ALEJANDRO AYALA; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 9%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 20 de mayo del 2026.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Escuela Profesional de Biología
Dr. Fidel R. Mujica Lengua
DIRECTOR

Rendimiento de forraje verde hidropónico de Avena sativa “avena”, Hordeum vulgare “cebada” y Triticum aestivum “trigo” en tres condiciones nutricionales, Ayacucho-2024

por CHRISTIAN HANSEL ALEJANDRO AYALA

Fecha de entrega: 19-may-2026 03:42p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2965167444

Nombre del archivo: ANDRO_AYALA,_Christian_Hansel_-pregrado_-_2024_TURNITIN_PDF.pdf (1.63M)

Total de palabras: 19464

Total de caracteres: 95036

Rendimiento de forraje verde hidropónico de Avena sativa “avena”, Hordeum vulgare “cebada” y Triticum aestivum “trigo” en tres condiciones nutricionales, Ayacucho-2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	es.essays.club Fuente de Internet	<1%
7	krex.k-state.edu Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1%
9	repositorio.uleam.edu.ec Fuente de Internet	<1%
10	revistas.upch.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Submitted to unhuancavelica

11	Trabajo del estudiante	<1 %
12	revistabionatura.com Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
14	1library.co Fuente de Internet	<1 %
15	aprenderly.com Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
17	www.elsevier.es Fuente de Internet	<1 %
18	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
19	Sang Mi Lee, Sa-Bin Kim, Young-Suk Kim. "Determination of Key Volatile Compounds Related to Long-Term Fermentation of Soy Sauce", Journal of Food Science, 2019 Publicación	<1 %
20	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
21	revistacta.agrosavia.co Fuente de Internet	<1 %
22	www.paccperu.org.pe Fuente de Internet	<1 %
23	revistamvz.unicordoba.edu.co Fuente de Internet	<1 %

24

Stein, Sebastian. "Flexible Service Provisioning in Multi-Agent Systems"

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca

Trabajo del estudiante

<1 %

26

insa.gob.bo

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo