



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS**



CARRERA DE AGRONOMÍA

TÍTULO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de
cebada (*Hordeum vulgare* L.) con nutrición mineral”**

**DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

AUTOR:

Gavilanes Pérez Abraham Ezequiel

TUTOR:

Ing. Olguer Alfredo León Gordon, Mg.

CEVALLOS 2024

**“Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de
cebada (*Hordeum vulgare* L.) con nutrición mineral”**

REVISADO Y APROBADO POR:



Ing. Olguer Alfredo León Gordon, Mg.

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN:

Fecha




Ing. Patricio Núñez, PhD

PRESIDENTE DE TRIBUNAL



Ing. Gonzalo Aragadvay, PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN



Ing. Segundo Curay, PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

23-02-2024

23-02-2024

23-02-2024

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Gavilanes Pérez Abraham Ezequiel**, portador de cédula de ciudadanía número: 1805305180, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “**Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con nutrición mineral**” es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.



GAVILANES PÉREZ ABRAHAM EZEQUIEL

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “**Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con nutrición mineral**” como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él.



GAVILANES PÉREZ ABRAHAM EZEQUIEL

DEDICATORIA

A mi padre, Patricio Gavilanes, por haberme formado como la persona que soy, por el apoyo brindado en todo momento para poder cumplir cada una de mis aspiraciones y por ser un claro ejemplo de superación y valor.

A mi madre Silvia Pérez y hermanos Michelle, Keila y Alejandro, quienes han estado siempre presentes con sus palabras de aliento y consejos.

A mi esposa Anahí Hernández y a mi hijo Benjamín, quienes también formaron un pilar fundamental para cumplir este sueño al poder contar con ellos en aquellos momentos difíciles y ser una motivación para seguir hacia adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Creador y formador, El rey de Israel, por darme la fortaleza y las facultades para conseguir este logro, por ser mi proveedor y ayudador en momentos de dificultad, así como también darme el privilegio de contar con una gran familia y poder cumplir con este sueño.

A mi familia, que son el pilar central a lo largo de todo este camino.

A la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por los conocimientos brindados a mi persona para poder formarme profesionalmente.

Al Ing. Olguer León, quien me brindó su apoyo y conocimiento para realizar el presente proyecto.

Al Ing. Daniel Valle por los consejos y experiencia aportados en este proyecto ya que fueron de gran ayuda.

A los Ingenieros Javier y Cristian Gavilanes, quienes han sido un apoyo y guía a lo largo de la carrera.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por sus conocimientos impartidos con entrega y dedicación contribuyendo de manera excepcional para mi formación.

ÍNDICE GENERAL

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHO DE AUTOR	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes Investigativos.....	3
1.2. Marco Teórico	6
1.2.1. Definición de tecnología hidropónica.....	6
1.2.2. Tipos de sistemas de producción de forraje hidropónico	7
1.2.3. Cultivos forrajeros adecuados para la tecnología de producción de forraje hidropónico.....	8
1.2.4. Alimentación del ganado con forraje hidropónico	8
1.2.5 Cambios de nutrientes con la brotación	9
1.2.6. Composición química y valor nutritivo.....	10
1.2.7. Rendimiento de biomasa	11
1.2.8. El forraje hidropónico y aumento de la eficiencia en el uso del agua	11
1.3. Objetivos.....	12
Objetivo general:.....	12
Objetivos específicos:.....	12
CAPÍTULO II	13
METODOLOGÍA	13

2.1.	<i>Ubicación del ensayo</i>	13
2.2.	<i>Características del lugar</i>	13
2.2.1.	<i>Clima</i>	13
2.2.2.	<i>Suelo</i>	13
2.2.3.	<i>Agua</i>	13
2.3.	<i>Equipos y materiales</i>	14
2.3.1.	<i>Equipos</i>	14
2.3.2.	<i>Productos</i>	14
2.3.3.	<i>Material biológico</i>	14
2.4.	<i>Factores en estudio</i>	15
2.4.2.	<i>Tratamientos</i>	16
2.5.	<i>Manejo del experimento</i>	17
2.5.1.	<i>Implementación del ensayo</i>	17
2.5.2.	<i>Semilla</i>	17
2.5.3.	<i>Siembra</i>	18
2.5.4.	<i>Fertilización</i>	18
2.5.5.	<i>Cosecha</i>	18
2.6.	<i>Diseño experimental</i>	19
2.7.	<i>Hipótesis</i>	19
2.8.	<i>Variables respuesta</i>	19
2.8.1.	<i>Días a la germinación y porcentaje de germinación</i>	19
2.8.2.	<i>Altura de planta</i>	19
2.8.3.	<i>Numero de hojas</i>	20
2.8.4.	<i>Peso en fresco</i>	20
2.8.5.	<i>Peso seco</i>	20
2.8.6.	<i>Incidencia de contaminantes</i>	21
2.8.7.	<i>Días a la cosecha</i>	21
2.9.	<i>Análisis estadístico</i>	21
CAPÍTULO III		22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		22
3.1.	<i>Rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare L.</i>) con dos soluciones nutritivas</i>	22
3.1.1.	<i>Días a la germinación y porcentaje de germinación</i>	22
3.1.2.	<i>Altura de planta y número de hojas</i>	23
3.1.3.	<i>Grosor del tapete radicular</i>	24

3.1.4. <i>Peso fresco y peso seco del tapete radicular y de la parte aérea de plantas de cebada producidas por hidroponía</i>	25
3.1.5. Rendimiento de materia fresca y seca de plantas de cebada hidropónica 27	
3.2. <i>Análisis de costos</i>	29
CAPÍTULO IV	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
4.1. <i>CONCLUSIONES</i>	31
4.2. <i>RECOMENDACIONES</i>	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
Anexo 1. Fotografías del ensayo	38
Anexo 2. Análisis de agua	42
Anexo 3. Análisis estadístico	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición aproximada y fracciones de fibra de cebada hidropónica (en base a MS).....	10
Tabla 2. Composición de la solución nutritiva A.....	15
Tabla 3. Composición de la solución nutritiva B	16
Tabla 4. <i>Tratamientos aplicados</i>	17
Tabla 5. Prueba de rangos de medias para la variable días a la germinación	22
Tabla 6. Prueba de rangos de medias para la variable altura de plantas	23
Tabla 7. Prueba de rangos de medias para la variable tapete radicular.....	24
Tabla 8. Prueba de rangos de medias para la variable peso fresco del tapete radicular y parte aérea	26
Tabla 9. Prueba de rangos de medias para la variable peso seco del tapete radicular y parte aérea	27
Tabla 10. Prueba de rangos de medias para la variable rendimiento	28
Tabla 11. Rendimiento de plantas de cebada hidropónica mantenidas con dos soluciones nutritivas.....	28
Tabla 12. Tabla de costos de la aplicación de las soluciones nutritivas para la producción de cebada hidropónica.....	29
Tabla 13. Desglose de los costos.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista general del ensayo de hidroponía	18
Figura 2. <i>Medición de la altura de planta</i>	19
Figura 3. <i>Proceso de pesado de las muestras</i>	20
Figura 4. <i>Días requeridos para alcanzar el 98% de la germinación en semillas de cebada sometidas a diferentes soluciones nutritivas</i>	22
Figura 5. <i>Altura de plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas</i>	23
Figura 6. <i>Grosor del tapete radicular en plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas</i>	25
Figura 7. <i>Peso fresco del tapete radicular y de la parte aérea de plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas</i>	26
Figura 8. <i>Peso fresco del tapete radicular y de la parte aérea de plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas</i>	27
Figura 9. <i>Preparación de las soluciones nutritivas</i>	38
Figura 10. <i>Sistema de producción de forraje a partir de cebada cultivada de forma hidropónica</i>	39
Figura 11. <i>Sistema hidropónico establecido para la producción de cebada para forraje</i>	39
Figura 12. <i>Cosecha del forraje obtenido a partir de cebada cultivada hidropónicamente</i>	40
Figura 13. <i>Separación de las muestras para el pesado para la obtención de la materia fresca y seca</i>	41

RESUMEN

La producción de forraje hidropónico constituye una tecnología relevante para la obtención de forraje de alta calidad y en corto tiempo. En el caso de la cebada, este representa el cuarto cereal más cultivado en el mundo, ésto lo hace muy importante para la agricultura mundial. La presente investigación tuvo como objetivo determinar el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con dos soluciones nutritivas. Cada solución nutritiva varió en el contenido de nutrientes como N, P, K, otros macro elementos secundarios (Mg, S y Ca) y microelementos. Se evaluó su efecto sobre la altura de planta, peso fresco y seco de raíz y parte aérea, incidencia de contaminantes y rendimiento en peso fresco del brote. Se observó que la solución nutritiva A, con mayor contenido de nutrientes (N: 147ppm, P: 76ppm, K: 225ppm Ca: 120ppm) produjo la mayor altura de plantas (19.1 cm), grosor del tapete radicular (5.8 cm), peso fresco y seco de parte aérea (60.9 y 24.9 g, respetivamente) y peso fresco y seco del tapete radicular (147.7 y 77.3 g, respetivamente) y, por último, mayor rendimiento (13.9 kg/m²). No hubo efecto de la solución nutritiva en cuanto al número de hojas, calidad del tapete radicular, incidencia de contaminantes y días a la cosecha. Este tipo de tecnología es poco conocida en el país, sin embargo, dada la alta calidad del forraje obtenido de forma hidropónica, se sugiere que se realicen campañas de socialización entre los productores de la región para mostrar la factibilidad de su producción.

Palabras clave: cebada, forraje verde, hidroponía.

ABSTRACT

Production of hydroponic forage is a relevant technology for obtaining high-quality forage in a short time. In the case of barley, it represents the fourth most cultivated cereal in the world, which makes it very important for global agriculture. The objective of this research was to determine the performance of hydroponic green barley (*Hordeum vulgare* L.) forage under two nutrient solutions. Each nutrient solution varied in the content of nutrients such as N, P, K, other secondary macro elements (Mg, S and Ca) and microelements. Was evaluated the effect on plant height, fresh weight and dry root and aerial part, incidence of contaminants and yield in fresh weight of the shoot were evaluated. The solution A, with the highest nutrient content (N: 147ppm, P: 76ppm, K: 225ppm Ca: 120ppm) produced the highest plant height (19.1 cm), mat thickness was also achieved. root (5.8 cm), fresh and dry weight of the aerial part (60.9 and 24.9 g, respectively) and fresh and dry weight of the root mat (147.7 and 77.3 g, respectively) and, finally, higher yield (13.9 kg/m²). There was no effect of the nutrient solution on the number of leaves, quality of the root mat, incidence of contaminants and days to harvest. This type of technology is little known in the country, however, given the high quality of the forage obtained hydroponically, it is suggested that socialization campaigns be carried out among producers in the region to show the feasibility of its production.

Keywords: barley, green fodder, hydroponics.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La nutrición animal constituye un factor de suma relevancia para garantizar la seguridad alimentaria, sin embargo, existe una gran brecha entre la oferta y la demanda de alimentos, la cual es debida a una serie de factores tales como el cambio climático, el aumento poblacional, la escasez de tierras fértiles, entre otros (Ghorbel & Koşum, 2022). Ante esta situación, la producción de forraje a través de la hidroponía surge como una posibilidad que asegura la obtención de alimento para ganado en lugares donde exista disponibilidad de agua, pero donde los costos de mano de obra y de fertilizantes son elevados (Shit, 2019).

La producción de forraje hidropónico es una técnica primitiva que comenzó en el siglo XIX, la cual se basa en la producción de forraje fresco a partir de los granos de cereales usando agua o soluciones ricas en nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio) que promuevan la germinación y el crecimiento para producir plantas verdes en el corto tiempo de 6 a 9 días (Wang et al., 2019). Aparte de la posibilidad de obtención de forraje de alta calidad nutricional, también este sistema disminuye las posibilidades de que ocurra ataque de insectos plaga, enfermedades y contaminación con malezas que se transmiten por el suelo debido a que las plantas están soportadas en bandejas de diferentes dimensiones (Bakshi et al., 2017).

El forraje verde hidropónico obtenido de cebada, trigo, maíz, alfalfa, avena, entre otros, representa un insumo importante en la nutrición animal dado que, mediante esta técnica se pueden obtener 6 y 10 kg de forraje fresco a partir de 1,0 kg de grano en un tiempo de 7 a 10 días en espacios controlados, proporcionando temperatura, humedad y luz adecuadas en las salas de cultivo (Ahamed et al., 2023). Este método podría ser especialmente importante en regiones donde la escasez de agua y las condiciones ambientales (lluvia-sequía) son elementos que limitan la producción ganadera (Saidi & Abo Omar, 2015).

Estudios previos han demostrado los beneficios del uso del forraje verde hidropónico en la alimentación animal. En este sentido, el uso de forraje verde hidropónico obtenido de granos de cebada está adquiriendo mayor importancia pues se ha convertido en una forma eficaz de producir forrajes sin uso de tierra, con una alta tasa de germinación y un período de rápido crecimiento (Al-Baadani et al., 2022). Los granos germinados se digieren eficientemente debido a que, como resultado de la germinación, la activación de las enzimas hidrolíticas convierte proteínas, almidón y grasas en formas simples de aminoácidos, azúcares y ácidos grasos, aumenta el contenido de fibra cruda y disminuye el contenido de ácido fítico e inhibidores de proteasa, así como muchos otros antinutrientes quelatos de minerales (Girma & Gebremariam, 2018; Lemmens et al., 2019).

Varios estudios han demostrado que el uso de forraje hidropónico de cebada provocó el rendimiento en animales que no recibían proteínas, energía o minerales adecuados en sus dietas. También puede mejorar la disponibilidad de nutrientes cuando se usa en combinación con alimentos de mala calidad, tal como lo demostraron (Yisif et al., 2023) al evaluar el efecto del uso de cebada hidropónica y concentrado sobre la producción y composición de la leche de las ovejas Hamdani, observando el incremento no solo de la producción total sino en el contenido de grasa y sólidos totales de la leche en ovejas alimentadas con cebada hidropónica.

Otro beneficio de producir cebada hidropónica es el mínimo consumo de agua en comparación con el sistema de producción convencional, pues bajo este sistema la germinación es un proceso de bajo costo y sostenible que mejora la calidad de los nutrientes y el contenido de compuestos funcionales de los granos, así como su palatabilidad, digestibilidad y biodisponibilidad (Cáceres et al., 2017).

Dados los múltiples beneficios de la producción de forraje hidropónico, en el presente estudio se plantea evaluar el efecto de la nutrición mineral en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en San Pedro, cantón Cevallos.

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Smith et al. (2023) investigaron el impacto del tiempo de remojo de las semillas y la frecuencia de riego en las propiedades vegetativas y nutritivas de la cebada (*Hordeum vulgare*) cultivada de forma hidropónica. Para ello, las semillas de cebada se pesaron y se remojaron en recipientes estériles con 500 ml de una solución de hipoclorito de sodio al 20% durante 1, 3, 8, 16 y 24 h a temperatura ambiente. Una vez empapadas, las semillas se transfirieron a un sistema hidropónico y se irrigaron mediante riego por inundación. Después del período de crecimiento de 8 días, se midieron los parámetros de crecimiento y las muestras se secaron en horno, se pulverizaron y luego se sometieron a análisis de nitrógeno y proteínas. Se observó que el tiempo de remojo más corto con frecuencias de riego variadas tuvo el mayor impacto en el peso y el rendimiento de nutrientes de *H. vulgare*, aunque otros parámetros de crecimiento como la longitud de las hojas y la expansión del mapa de raíces, se desviaron de esta tendencia con diferentes tiempos de remojo y frecuencias de riego. Este estudio reveló que un tratamiento de remojo previo de 1 hora era el mejor para cultivar cebada hidropónicamente, por lo tanto, se recomienda este tipo de tratamiento para el cultivo de cebada ya que resultó beneficioso para el agricultor en términos de calidad del rendimiento.

Cisneros-Saguilán et al. (2023) realizaron una investigación basada en una revisión bibliográfica con el fin de analizar la información científica disponible sobre los atributos agronómicos, productivos y nutricionales del forraje verde hidropónico (FVH) y su potencial como recurso forrajero en la alimentación animal. De acuerdo con su revisión se encontró que el ciclo de producción del FVH se cumple en seis etapas: selección de la semilla, lavado, desinfección e hidratación de la semilla, germinación, fase de crecimiento y fase de cosecha, notándose que el contenido de biomasa aumenta con la densidad de siembra, siendo 12-14 días el periodo óptimo de cosecha. Adicionalmente se demostró que tanto el volumen como el rendimiento deben

ser considerados en términos de la calidad nutricional del forraje cosechado, puesto que periodos largos de cosecha promueve el aumento de la proteína cruda, pero disminuye el contenido de materia seca. El uso de FVH ha mostrado mejoras en la producción y composición de la leche, ganancia de peso y conversión alimenticia en ganado bovino y caprino, debido al aumento de la ingesta y la digestibilidad de los nutrientes, mientras que, en monogástricos, la sustitución total del alimento convencional con FVH afecta el consumo de alimento y la tasa de crecimiento. Los autores señalan como conclusión que el FVH es una alternativa viable y económica para enfrentar los desafíos de la escasez de alimento fresco y nutritivo, especialmente en zonas áridas y semiáridas; pero también en zonas urbanas o suburbanas con espacio limitado.

Soufan (2023) evaluaron la posibilidad de producir forraje de cebada hidropónica mezclándolo con semillas de frijol mungo en diferentes proporciones de mezcla. Además, los autores se plantearon preparar ensilaje a partir del forraje resultante mezclándolo con paja de cebada para reducir el alto contenido de humedad. Los resultados de este estudio mostraron que las proporciones de los componentes de valor nutricional en el forraje producido aumentaron, especialmente la proporción de proteínas, cuando se incrementó el porcentaje de frijol mungo en la mezcla. Además, la conservación de forrajes hidropónicos mediante el método de ensilaje resultó en la obtención de un mayor porcentaje de materia seca en comparación con los forrajes frescos y aumentó el tiempo de conservación. Según los autores, esto trae muchas ventajas a los agricultores y ganaderos, así como a los investigadores en el campo, para ampliar el alcance de los experimentos a otras mezclas de forrajes y la producción sostenible de buenos forrajes en sistemas hidropónicos.

Alemnew y Mekuriaw (2023) estudiaron el efecto alimentario de la cebada hidropónica (CH) y la dieta concentrada sobre la producción y composición de la leche de las ovejas Hamdani. La investigación fue hecha en 16 ovejas Hamdani con pesos promedios de 44,51 separadas en dos grupos; el primer grupo (T1) recibió una dieta concentrada y el segundo (T2) recibió CH y al final del experimento se midió la producción de leche de cada oveja y se analizó su composición. Los resultados

revelaron que la reducción en la producción de leche fue significativamente mayor en T1 en comparación con T2 en el día 60. La producción total de leche fue numéricamente mayor en las ovejas alimentadas con CH (T2) en comparación con (T1). Además, la alimentación con CH aumentó significativamente la grasa de la leche y los sólidos totales. Por último, no hubo diferencias significativas en el pH y la acidez de titulación de la leche. Los investigadores concluyeron que la CH es un sustituto adecuado de la dieta concentrada para alimentar a las ovejas para la producción de leche.

Samir et al. (2021) investigaron el efecto de la cebada hidropónica como complemento alimenticio en la ración sobre el rendimiento de los terneros de engorde en el Sur de Marruecos, utilizando 100 terneros divididos en dos grupos; el primer grupo recibió una ración mixta total (control) y el segundo grupo recibió una ración similar con la adición de cebada hidropónica. Aunque se observó un comportamiento de crecimiento similar en los dos grupos, en la fase de engorde, se observó mayor ganancia diaria en el grupo alimentado con una dieta enriquecida en forraje verde hidropónico, alcanzando 1,48 kg/día frente a 1,42 kg/día del grupo control. Los resultados que tanto el crecimiento como el rendimiento en canal fueron relativamente similares en ambos tratamientos, sin embargo, dado que el forraje hidropónico muestra un impacto positivo en la fase de engorde, es recomendable incluirlo en esta fase para mejorar el aumento de peso de las especies. Los resultados sugieren que se deben realizar estudios similares sobre dietas a base de cebada hidropónica probando diferentes niveles de ingesta de cebada hidropónica, ajustando tanto el tipo como el nivel de complementación.

Blanco-Capia et al. (2019) realizaron una investigación con el objetivo de evaluar la altura y el rendimiento de la cebada verde hidropónica versus el cultivo geopónico de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) de la variedad IBTA-80 sembrada a una densidad de 10 kg/m² en condiciones ambientales controladas en el Centro de Investigación y Producción de Pequeños Animales (CIPAM) de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Naturales de la UTO, en Bolivia (temperatura de 20 a 26 °C y HR de 16 a 24%). Al momento de la cosecha (10 días), la altura de la planta y

rendimiento alcanzados fueron de 23,8 cm y 25,1 kg/m² en el cultivo hidropónico y 20,5 cm y 24,3 kg/m² en el cultivo geopónico, respectivamente, observándose una correlación ($r = 0,6196$) entre altura y rendimiento ($p < 0,01$). Como conclusión, los autores señalan que la técnica de producción de forraje verde hidropónico alternativa técnica y económica para la alimentación del ganado sobre todo en lugares donde prevalecen condiciones climáticas adversas.

Ata et al. (2017) investigaron el efecto de la alimentación con cebada hidropónica sobre el desempeño de 50 corderos carneros destetados de la raza Awassi, los cuales fueron divididos en dos grupos; el primero fue alimentado con una dieta de ración mixta total (control), mientras que el segundo grupo fue alimentado con una ración similar, excepto que el grano de cebada fue totalmente reemplazado por cebada hidropónica durante una prueba de alimentación de 90 días. En ambos casos, los corderos fueron alimentados *ad libitum* dos veces al día y tuvieron libre acceso a agua dulce. El alimento ofrecido y el rechazado se recogió y además se midió semanalmente la ganancia de peso y se calculó el índice de conversión alimenticia (ICA). Los resultados mostraron que la cebada hidropónica tuvo un efecto positivo en el consumo de alimento, el peso corporal final, la ganancia total, la ganancia diaria promedio y el ICA en comparación con los corderos alimentados con la dieta de control, lo que demostró que puede ser utilizada como alimento para corderos en el período de engorde para mejorar su rendimiento de crecimiento.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Definición de tecnología hidropónica

En definición, la palabra hidroponía proviene de las palabras griegas “Hidro” que significa agua y “ponics” que se refiere a trabajo y es una innovación para desarrollar plantas en agua o en una solución rica en nutrientes sin utilizar tierra (Pastorelli et al., 2023). Los cultivos forrajeros producidos mediante tecnología hidropónica también se conocen como forraje hidropónico, forraje germinado o grano germinado, puesto que se realiza la brotación de los granos dentro de un área protegida en un corto período de aproximadamente siete días y también se puede producir y

alimentar en situaciones donde el alimento bajo cultivo no se puede cultivar con éxito (Mijena et al., 2021).

La técnica de la hidroponía se puede utilizar para la producción de forraje verde de muchos cultivos forrajeros en un ambiente inocuo, sin el uso de productos químicos como insecticidas, herbicidas, fungicidas y promotores de crecimiento artificiales (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012). Es una técnica bien conocida por su alto rendimiento de forraje, producción durante todo el año y menor consumo de agua (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012).

1.2.2. Tipos de sistemas de producción de forraje hidropónico

El forraje verde hidropónico se puede producir tanto en sistemas comerciales grandes, sofisticados y automatizados con control de los parámetros ambientales, así como en sistemas de bajo costo, donde el ambiente es adecuado para la producción de forraje y la elección depende de las necesidades y capacidades financieras de los agricultores (Naik et al., 2015).

Los sistemas hidropónicos de alta tecnología y alto costo son sistemas de producción de forraje totalmente computarizados en los cuales se hace un control de las variables ambientales (agua, la luz, la temperatura, la humedad y la aireación) y se dispone de medios de reciclaje del agua, por lo cual son menos susceptibles a las variaciones climáticas (Bakshi y Makkar, 2017).

Por otra parte, los sistemas hidropónicos de bajo costo son usados principalmente en países en desarrollo, donde se aprovechan los materiales disponibles localmente y así las estructuras protegidas pueden ser hechas a base de bambú, madera o acero galvanizado, lo cual define el costo de la estructura (Mijena et al., 2021; Pastorelli et al., 2023). Se puede construir en cualquier tipo de espacio usando láminas plásticas de baja densidad, umbráculo con piso sólido de tierra compactada, concreto, adoquín, etc., donde se pueda controlar la temperatura, humedad y luz (Mijena et al., 2021).

1.2.3. Cultivos forrajeros adecuados para la tecnología de producción de forraje hidropónico

El alimento verde para el ganado se puede cultivar hidropónicamente de la misma manera que las hortalizas, las flores y otras plantas. Los sistemas de forraje hidropónicos suelen utilizarse para hacer brotar granos de cereales, como cebada, avena, trigo, sorgo y maíz, o legumbres, como alfalfa, trébol o caupí, siendo la cebada, el forraje que se cultiva con mayor frecuencia porque suele ofrecer el mejor rendimiento de nutrientes (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012).

El maíz forrajero, el maíz en grano, el caupí en grano y el garbanzo son los cultivos de mejor rendimiento en hidroponía para obtener un mayor rendimiento de forraje verde y valor nutritivo con un costo relativamente menor (Mijena et al., 2021). Dependiendo de las condiciones ecológicas y agroclimáticas y de la disponibilidad de semillas, la hidroponía se puede utilizar para la producción de forraje verde para diversas variedades de cultivos forrajeros de buena calidad, seguro para la salud animal o libre de productos químicos e infestaciones de insectos y que esté disponible para producir forraje de la mejor calidad (Mijena et al., 2021).

1.2.4. Alimentación del ganado con forraje hidropónico

El forraje verde hidropónico tiene una alta palatabilidad y se puede consumir tanto el sistema radicular como los brotes de las plantas, pudiendo aportar entre 10 y 17% de proteínas y alto nivel de aprovechamiento de nutrientes (Ndaru et al., 2020). Después de la brotación ocurren cambios en las características nutritivas del grano, las enzimas descomponen los compuestos en fracciones más simples y digeribles; por ejemplo, almidón en azúcares, proteínas en aminoácidos y lípidos en ácidos grasos libres, se produce un aumento de la fibra y algunas vitaminas y una disminución del ácido fítico, un factor anti-nutricional (Naik et al., 2015). La suplementación de 5 a 10 kg de forrajes hidropónicos por vaca y día aumenta la producción de leche entre un 8

y un 13 % y la calidad de la carne en función de la digestibilidad de los nutrientes (Shit, 2019).

El forraje hidropónico aumenta la producción de leche entre 3.9% y 13.73% debido a la alimentación con forrajes hidropónicos a vacas lactantes y también aumenta el porcentaje de grasa de la leche y el pH con una calidad superior de la leche (Ghorbel y Koşum, 2022).

Otras investigaciones señalan que promueven la reducción de la capa grasa, reducción de la tasa de mortalidad, mejor rendimiento y reducción de los gastos de alimentación en lechones alimentados con forraje hidropónico (Seaman, 2017).

Cuando se alimentaron gansos con una dosis óptima de forraje verde hidropónico, que constituía del 25 al 30 % del peso total de la dieta, aumentó la tasa de supervivencia de la población de aves de corral en un 2,0 %, la tasa de producción de huevos en un 3,8 % y el rendimiento de huevos para incubar en un 4,9 % (Khaziev et al., 2021).

1.2.5 Cambios de nutrientes con la brotación

La semilla contiene numerosos nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento del embrión durante la germinación, sin embargo, el valor nutricional de estos granos aumenta significativamente una vez que se activa la germinación puesto que las proteínas, los carbohidratos y las grasas complejos se convierten en aminoácidos esenciales, azúcares y ácidos grasos esenciales, respectivamente (Pastorelli et al., 2023). Estos cambios son provocados por un aumento de la actividad de las enzimas, como la amilasa y la lipasa durante la germinación y también aumenta el contenido de azúcar y ácidos grasos esenciales de los granos, provocando la disminución del contenido de materia seca de las semillas entre 7 y 47% (Ningoji et al., 2021; Suma et al., 2020).

Hay varios factores que afectan el rendimiento fresco y el contenido de materia seca del forraje cultivado hidropónicamente, incluyendo factores inherentes a la especie vegetal (variedad, calidad y vigor de la semilla) y factores relacionados con condiciones ambientales, tales como calidad y cantidad del agua (pH, frecuencia de riego, medio nutritivo), luz, temperatura, humedad e sanidad de la planta (libre de plagas y enfermedades) dentro de un ambiente controlado como un invernadero (Slafer y Savin, 2023).

1.2.6. Composición química y valor nutritivo.

El contenido de nutrientes de los forrajes hidropónicos es similar al de los forrajes de plantas leguminosas, pero superior al de ciertos forrajes no leguminosos comunes (Naik et al., 2017). En la tabla 1 se muestra la composición química de la cebada hidropónicas expresada en base a materia seca (MS).

Tabla 1. Composición aproximada y fracciones de fibra de cebada hidropónica (en base a MS)

	Valores			
Materia seca	21.25	15.83	15.40	18.00
Proteína cruda	10.77	12.00	15.60	19.00
Materia Orgánica	-	-	-	-
Fibra cruda	-	-	3.7	10.9
Extracto etéreo	-	0.51	3.30	-
Cenizas	4.21	2.17	3.60	3.9
Fibra Detergente Ácida	16.53	5.76	17.40	11.00
Fibra Detergente Neutra	33.83	12.73	34.40	36.00

Fuente: Pastorelli et al. (2023)

1.2.7. Rendimiento de biomasa

Mediante la técnica de la hidroponía se puede obtener forraje en apenas ocho días, en comparación con los 45 días necesarios para el cultivo convencional de forraje, puesto que con hidroponía, la producción de forraje se acelera hasta en un 25% debido a que se movilizan los nutrientes directamente a las plantas sin desarrollar los grandes sistemas de raíces que exhiben los cultivos forrajeros (Pastorelli et al., 2023; Shit, 2019).

Un estudio realizado por Elmulthum et al. (2023) donde se evaluó la viabilidad económica de la producción de forraje de cebada verde convencional e hidropónica, demostró que el rendimiento del forraje producido utilizando el sistema hidropónico fue mucho mayor que el rendimiento del forraje bajo el sistema de cultivo convencional en aproximadamente 7,5 veces (411,8 kg/m² frente a 5,6 kg/m²).

1.2.8. El forraje hidropónico y aumento de la eficiencia en el uso del agua

El índice de conversión de la producción de biomasa se ve afectado por la calidad de la semilla, el manejo general, la frecuencia de aspersion, la temperatura dentro del invernadero, la humedad relativa y el período de crecimiento y se ha estimado que para producir un kg de forraje hidropónico se necesitan entre 1,62 y 2 litros de agua si se recicla y entre 2,5 y 3,3 litros de agua si no se recicla (Suma et al., 2020).

En general, el cultivo hidropónico de forraje de maíz en una unidad hidropónica semi-intensiva ahorra agua, mano de obra y muestra un aumento en nutrientes como peso del forraje, proteína cruda, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno, por lo tanto, la producción hidropónica de forraje mejora el contenido de nutrientes con menos agua, menos espacio utilizado y es rentable (Weldegerima et al., 2015).

Para la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas, el agua es un requisito básico y también influye en la activación de las enzimas y se ha demostrado que la cebada y el caupí utilizan el agua de manera más eficiente en comparación con otros cultivos como el trigo, el sorgo y la alfalfa (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012).

1.3. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar la nutrición mineral en el forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en San Pedro Cantón Cevallos

Objetivos específicos:

- Determinar el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con dos soluciones nutritivas
- Realizar un análisis de costos

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del ensayo

La investigación se realizó en un invernadero ubicado en la granja agrícola propiedad del Ing. Daniel Valle, en San Pedro, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua, a una altura de 1908 msnm (1°21'55.71" S y 78°37'26.59" O).

2.2. Características del lugar

2.2.1. Clima

Según (Aguirre, 2012) la zona se caracteriza por una temperatura media anual de 13.7 °C, precipitación anual de 517 mm.

2.2.2. Suelo

El cantón Cevallos está localizado dentro de la región andina ecuatoriana y presenta diversidad de suelos, con predominancia de materiales piroclásticos, alofónicos, franco arenosos, mientras que los suelos de la zona alta son de poca profundidad, con altos niveles de erosión (Aguirre, 2012).

2.2.3. Agua

El riego en el sector donde se realizó el estudio proviene del canal de riego Mocha – Tisaleo - Cevallos - Ambato.

2.3. Equipos y materiales

2.3.1. Equipos

- Infraestructura
- Bandejas
- Accesorios para riego
- Manguera
- Temporizador
- Bomba de agua
- Atomizador de agua
- Balanza
- Estufa
- Plástico negro

2.3.2. Productos

- Solución nutritiva A
- Solución Nutritiva B
- Cal

2.3.3. Material biológico

- Semillas de cebada

2.4. Factores en estudio

2.4.1. Tipos de soluciones nutritivas

Solución A

Tabla 2. Composición de la solución nutritiva A

Composición 1		Cantidad	
Nitrógeno		24 g/L	
Calcio		40.3 g/L	
Composición 2			
Nitrógeno		25 g/L	
Fósforo		26 g/L	
Potasio		75.7 g/L	
Composición 3			
Magnesio		12.8 g/L	
Azufre		10.4 g/L	
Hierro		0.45 g/L	
Boro		0.1125 g/L	
Manganeso		0.25 g/L	
Zinc		0.0518 g/L	
Cobre		0.0375 g/L	
Molibdeno		0.0202 g/L	
Dilución		3 ml de cada composición por litro de agua	
Composición final de la solución nutritiva A (ppm)			
N = 147 ppm	Ca = 120 ppm	P = 76 ppm	K = 225 ppm
Mg = 38.4 ppm	S = 31.47 ppm	Fe = 1.35 ppm	B = 0.33 ppm
Mn = 0.75 ppm	Zn = 0.15 ppm	Cu = 0.11 ppm	Mo = 0.06 ppm

Solución B

Tabla 3. *Composición de la solución nutritiva B*

Composición 1		Cantidad	
Nitrógeno		11 g/L	
Calcio		10.5 g/L	
Composición 2			
Nitrógeno		1 g/L	
Fósforo		4 g/L	
Composición 3			
Magnesio		2.8 g/L	
Azufre		0.8 g/L	
Hierro		0.1 g/L	
Boro		0.05 g/L	
Manganeso		0.025 g/L	
Zinc		0.0014 g/L	
Cobre		0.0037 g/L	
Molibdeno		0.0007 g/L	
Dilución		3 ml de cada composición por cada litro de agua	
Composición final de la solución nutritiva B (ppm)			
N = 36 ppm	Ca = 31.5 ppm	P = 12 ppm	Mg = 8.4 ppm
S = 2.4 ppm	Fe = 0.3 ppm	B = 0.15 ppm	Mn = 0.075 ppm
Zn = 0.0042 ppm	Cu = 0.0111 ppm	Mo = 0.0021 ppm	

2.4.2. *Tratamientos*

Los tratamientos que fueron evaluados se pueden visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 4. *Tratamientos aplicados*

Tratamiento	Símbolo	Descripción
1	S1	Solución nutritiva A
2	S2	Solución nutritiva B
3	Testigo	Control

Distribución de los tratamientos en campo

S1R1	S2R3	T0R2
S1R3	S2R1	T0R3
S1R2	S2R2	T0R1

2.5. Manejo del experimento

2.5.1. Implementación del ensayo

En cada tratamiento se usó 0.55 kg de semillas de cebada previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5%, en bandejas germinadoras de 50 x 35 x 5 cm.

2.5.2. Semilla

Se lavó y eliminó todo residuo de suciedad, incluyendo las semillas que floten, posteriormente las semillas fueron desinfectadas y colocadas en reposo durante 1 hora, luego fueron sacadas de la solución y colocadas en un saco para que se oxigenen, posteriormente fueron enjuagadas, finalmente las semillas seleccionadas fueron cubiertas con un plástico oscuro para promover la germinación.

2.5.3. *Siembra*

Inicialmente, las bandejas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio durante 15 minutos y posteriormente enjuagadas con agua, luego se colocó cal en las bandejas. Se tomaron datos del peso inicial de las semillas y luego fueron colocadas en las bandejas.

Una vez establecido el cultivo, se programó el riego de un minuto cada dos horas, 7am-9am-11am-13pm-15pm-17pm, procurando tener homogeneidad.

2.5.4. *Fertilización*

Dos soluciones nutritivas fueron preparadas individualmente de acuerdo a lo señalado en las tablas 1 y 2. Estas fueron aplicadas a partir del quinto día y fue hecha una aplicación diaria de solución nutritiva durante el desarrollo del cultivo. Antes de la cosecha, se suspendió el riego para eliminar los rastros de las sales minerales en hojas y raíces para que el forraje sea más sano.

2.5.5. *Cosecha*

Una vez culminado el ensayo, 15 días después de la siembra, se realizó la cosecha para posteriormente iniciar las evaluaciones pertinentes y hacer comparaciones de cada tratamiento (Figura 1).



Figura 1. *Vista general del ensayo de hidroponía*

2.6. Diseño experimental

El ensayo fue conducido bajo un diseño estadístico Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos y tres repeticiones.

2.7. Hipótesis

Hipótesis Nula (H_0): Las soluciones nutritivas no afectan de forma significativa la producción del forraje verde hidropónico de cebada

Hipótesis Alternativa (H_1): Las soluciones nutritivas afectan de forma significativa la producción del forraje verde hidropónico de cebada.

2.8. Variables respuesta

2.8.1. Días a la germinación y porcentaje de germinación

Se contabilizó el número de días que tarda la semilla en germinar y el porcentaje de semillas germinadas. El porcentaje de germinación (PG) se calculó con la siguiente fórmula: $PG = [(N^\circ \text{ semillas germinadas}) / (N^\circ \text{ semillas sembradas})] \times 100$.

2.8.2. Altura de planta

Al momento de la cosecha se midió la altura de la planta desde el cuello hasta el ápice de la misma y también la altura total incluyendo el tapete radicular (Fig 2).



Figura 2. *Medición de la altura de planta*

2.8.3. Número de hojas

En la cosecha se contabilizó el número de hojas por planta en cada tapete, de acuerdo al ensayo.

2.8.4. Peso en fresco

El peso fresco se determinó usando una balanza analítica para estimar el peso en kg (Fig. 3).



Figura 3. *Proceso de pesado de las muestras*

2.8.5. Peso seco

Para determinar el peso seco las plantas fueron sometidas a estufa a 40 °C hasta obtener un peso constante. El porcentaje de materia seca se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%MS = \frac{\text{Peso (g) de la materia seca}}{\text{Peso (g) de la materia fresca}} \times 100$$

	Parte aérea	Tapete radicular
Tratamiento A	$\%MS = \frac{996 \text{ g}}{2437.3 \text{ g}} \times 100$ $= 40,86 \% \text{ MS}$	$\%MS = \frac{3092 \text{ g}}{5908 \text{ g}} \times 100$ $= 52.3 \% \text{ MS}$
Tratamiento B	$\%MS = \frac{768 \text{ g}}{1736 \text{ g}} \times 100$ $= 44.23 \% \text{ MS}$	$\%MS = \frac{2606 \text{ g}}{5380 \text{ g}} \times 100$ $= 48.4 \% \text{ MS}$
Testigo	$\%MS = \frac{336 \text{ g}}{1517.3 \text{ g}} \times 100$ $= 22.14 \% \text{ MS}$	$\%MS = \frac{936 \text{ g}}{2672 \text{ g}} \times 100$ $= 35 \% \text{ MS}$

2.8.6. Incidencia de contaminantes

Se evaluó el porcentaje de incidencia de contaminantes puesto que este es un elemento importante para la calidad dentro de la producción de FVH. En éste caso la contaminación del tapete radicular fue nula puesto que no se observó la presencia de hongos.

2.8.7. Días a la cosecha

Se determinó el número de días más adecuado para realizar la cosecha, según la calidad del forraje.

2.9. Análisis estadístico

Las variables fueron sometidas a análisis de varianza y aquellas que mostraron diferencias significativas fueron comparadas mediante prueba de medias según Tukey con $p < 0.05$.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con dos soluciones nutritivas

3.1.1. Días a la germinación y porcentaje de germinación

La germinación de las semillas de cebada ocurrió de manera uniforme a los tres días después de haber sido sumergidas en agua cuando se alcanzó el 98% de la germinación (Tabla 5, fig. 4).

Tabla 5. Prueba de rangos de medias para la variable días a la germinación

Tratamiento	Media	Rangos
TA (Solución A)	3.0	A
TB (Solución B)	3.0	A
T0 (testigo)	3.0	A
C.V. (%) = 16.33		

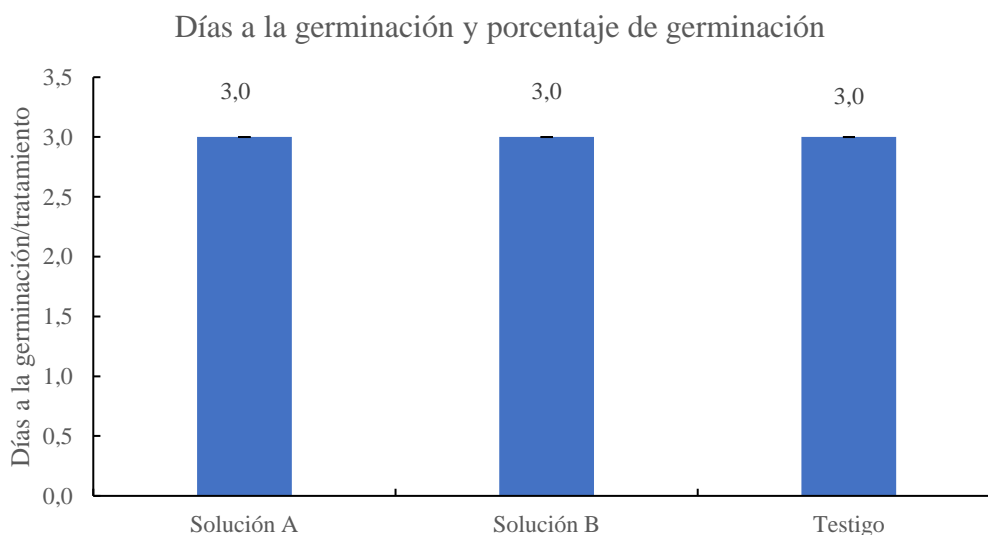


Figura 4. Días requeridos para alcanzar el 98% de la germinación en semillas de cebada (*Hordeum Vulgare* L.)

3.1.2. Altura de planta y número de hojas

La altura de las plantas de cebada fue afectada por el tipo de solución nutritiva y las plantas tratadas con la solución nutritiva A alcanzaron los máximos valores (19.1 cm), seguidos de las plantas tratadas con la solución nutritiva B que alcanzaron 14.3 cm, que representó una reducción de 25.3% respecto a la solución nutritiva A. Así mismo, las plantas del tratamiento control (testigo) alcanzaron el menor valor de altura de planta (13.1 cm), siendo 31.2% menor que las plantas de del tratamiento con solución nutritiva A (Tabla 6, fig. 5). Por otra parte, el número de hojas por planta no fue afectada significativamente por el tipo de solución nutritiva, variando entre 1 y 3 en todos los tratamientos.

Tabla 6. Prueba de rangos de medias para la variable altura de plantas

Tratamiento	Medias	Rangos
TA (Solución A)	19,10	A
TB (Solución B)	14,27	B
T0 (testigo)	13,13	B
C.V. (%) = 9.92		

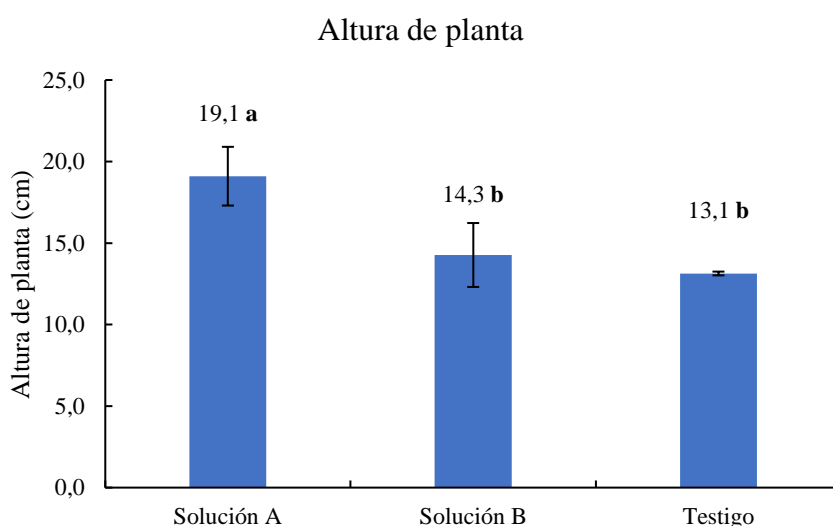


Figura 5. Altura de plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas

Resultados similares fueron señalados por Natsheh (2019) quienes obtuvieron valores de altura de plantas de cebada que variaron desde 16 cm hasta 20 cm en plantas de

cebada hidropónica sometidas a niveles de salinidad entre 3 a 9 dS/m, respectivamente, comparado con 15 cm de alturas en plantas sometidas a agua fresca, lo que demostró que la altura de la planta es afectada por el incremento del nivel de sales en el agua utilizada, sin embargo, las sales en bajos niveles tiene un mejor efecto que el agua dulce.

3.1.3. Grosor del tapete radicular

El grosor del tapete radicular también mostró diferencias significativas por efecto del tipo de solución nutritiva, puesto que las plantas tratadas con la solución nutritiva A alcanzaron el mayor grosor del tapete radicular, con un promedio de 5.8 cm, mientras que las plantas tratadas con la solución nutritiva B no mostró ninguna diferencia con los resultados observados en el tratamiento testigo, las cuales mostraron valores de 4.6 y 4.2 cm, respectivamente, lo cual representó una disminución de 21.7 y 28% en cada caso (Tabla 7, fig. 6).

Con relación a la calidad del tapete, en todos los tratamientos se observaron raíces de excelente condición así mismo no se observó la presencia de ningún tipo de contaminantes.

Tabla 7. Prueba de rangos de medias para la variable tapete radicular

Tratamiento	Medias	Rangos
TA (Solución A)	5.83	A
TB (Solución B)	4.60	B
T0 (testigo)	4.20	B
C.V. (%) = 9.92		

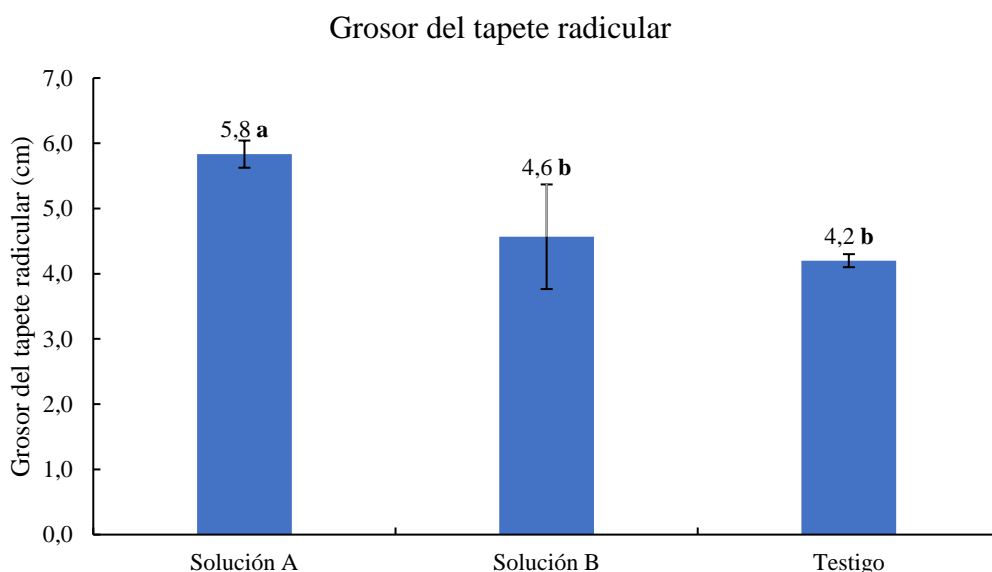


Figura 6. Grosor del tapete radicular en plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas

3.1.4. *Peso fresco y peso seco del tapete radicular y de la parte aérea de plantas de cebada producidas por hidroponía*

Se detectó un efecto significativo del tipo de solución nutritiva sobre el peso fresco y peso seco del tapete radicular y parte aérea de las plantas de cebada producidas por hidroponía (Figs. 7 y 8). El peso fresco del tapete radicular fue significativamente mayor en las plantas sometidas a fertilización con la solución nutritiva A, en las que el peso fresco alcanzó un valor promedio de 147.7 g. Seguidamente, las plantas sometidas a la solución nutritiva B alcanzaron un valor promedio ligeramente inferiores (134.5 g de peso fresco) lo que representó un 9.0% de disminución con respecto a la solución nutritiva A. Sin embargo, una disminución significativamente mayor fue observada en las plantas del tratamiento testigo que mostraron un 54.7 % de variación en el peso fresco, ubicándose en 66.8 g (Tabla 8, fig. 7).

Tabla 8. Prueba de rangos de medias para la variable peso fresco del tapete radicular y parte aérea

Tratamiento	Peso fresco tapete radicular		Peso fresco de la parte aérea	
	Medias	Rangos	Medias	Rangos
TA (Solución A)	147.70	A	60.90	A
TB (Solución B)	134,47	AB	43,40	AB
T0 (Testigo)	66.80	C	37.90	B
C.V. (%)	14.76		32.17	

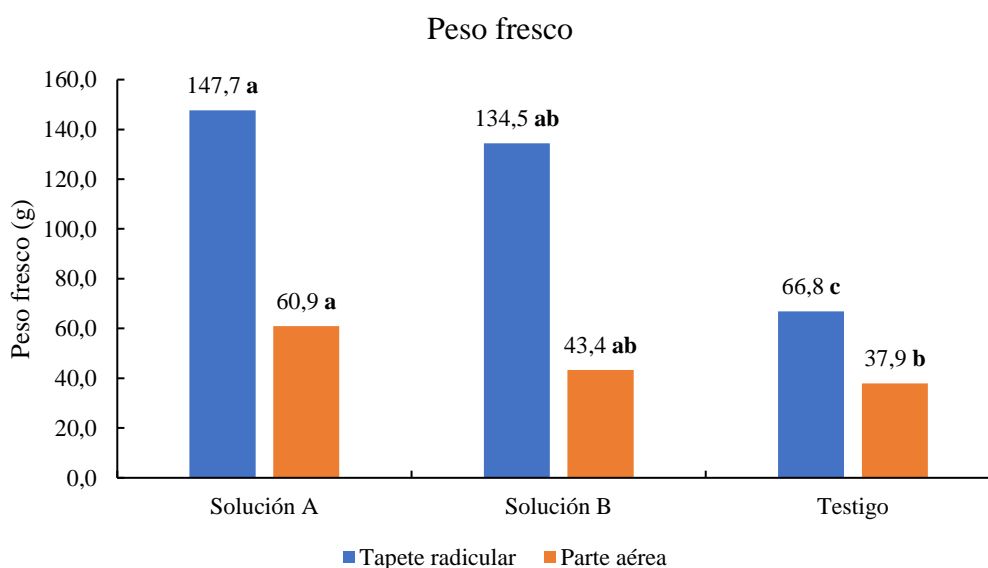


Figura 7. Peso fresco del tapete radicular y de la parte aérea de plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas

Un comportamiento similar fue observado en el peso fresco de la parte aérea de las plantas de cebada, siendo estos valores superiores en plantas que fueron mantenidas con la solución nutritiva A, con un promedio de 60.9 g de peso fresco, mostrándose una tendencia a disminuir tanto en el tratamiento con la solución nutritiva B (43.4 g) como en el tratamiento testigo (37.9 g), siendo 28.8 y 37.7 % menor que en el mejor tratamiento (Fig. 7).

Con relación al peso seco, se observó una tendencia similar a lo observado con el peso fresco tanto del tapete radicular y parte aérea, donde los máximos valores

fueron observados en plantas de cebada sometidas a la solución nutritiva A, mientras que las plantas de la solución B mostraron una disminución de 14.1 % en el tapete radicular y 22.8 % en la parte aérea. Así mismo, una disminución significativamente mayor fue registrada en las plantas del tratamiento testigo, las cuales tuvieron un peso seco 69.7% menor en el tapete radicular y 66.3% en la parte aérea, cuando fueron comparadas con la plantas del tratamiento que contenía la solución nutritiva A (Tabla 9, fig. 8).

Tabla 9. Prueba de rangos de medias para la variable peso seco del tapete radicular y parte aérea

Tratamiento	Peso seco tapete radicular		Peso seco de la parte aérea	
	Medias	Rangos	Medias	Rangos
TA (Solución A)	77.30	A	24.90	A
TB (Solución B)	66.40	A	19.20	A
T0 (Testigo)	23.4	B	8.40	B
C.V. (%)	12.18		8.84	

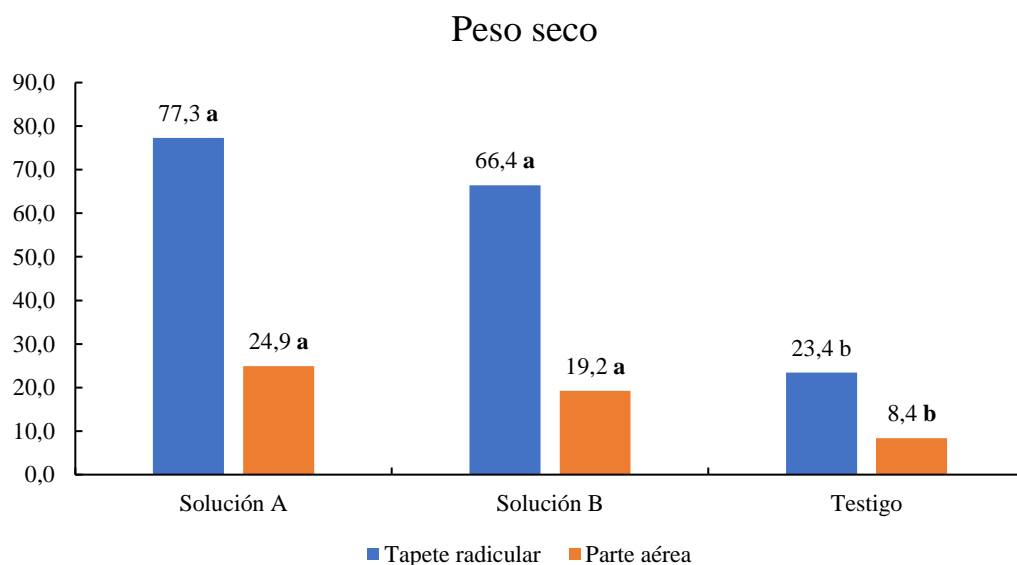


Figura 8. Peso seco del tapete radicular y de la parte aérea de plantas de cebada hidropónica sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas

3.1.5. Rendimiento de materia fresca y seca de plantas de cebada hidropónica

El rendimiento medido en kg/m² de peso fresco mostró diferencias significativas por efecto de la solución nutritiva utilizada, demostrándose que el mayor

rendimiento fue obtenido de plantas que recibieron la solución nutritiva A, las cuales alcanzaron un promedio de 13.9 kg/m², seguido de aquellas plantas que recibieron la solución nutritiva B (9.9 kg/m²) siendo 28.8% menor que el rendimiento de las plantas con solución nutritiva A, mientras que una disminución significativamente mayor fue observada en el tratamiento testigo que alcanzó un 37.7 % menos rendimiento que las plantas de la solución nutritiva A (Tablas 10 y 11).

Tabla 10. Prueba de rangos de medias para la variable rendimiento

Tratamiento	Medias	Rangos
TA (Solución A)	13.933	A
TB (Solución B)	9.900	AB
T0 (testigo)	8.700	B
C.V. (%) = 17.45		

Tabla 11. Rendimiento de plantas de cebada hidropónica mantenidas con dos soluciones nutritivas

Tratam	Peso fresco (g)	N° de tapetes/bandeja	Superficie (m ² /bandeja)	Rend/bandeja (g)	Rendimiento	
					(g/m ²)	kg/m ²
Solución nutritiva A	60.9	40.0	0.175	2437.3	13927.6	13.9
Solución nutritiva B	43.4	40.0	0.175	1736.0	9920.0	9.9
Testigo	37.9	40.0	0.175	1517.3	8670.5	8.7

Los resultados de rendimiento por bandeja obtenidos en la presente investigación son similares a los mostrados por Natsheh (2019) quienes observaron diferencias entre los tratamientos utilizados en su experimento, obteniendo el valor máximo (2117 g) cuando se utilizó 9 dS/m, en comparación con agua dulce, donde el rendimiento fue de 1746 g. Los resultados también indicaron que el peso húmedo de la planta fue mejor al aumentar los niveles de agua salina utilizados. El rendimiento del forraje verde varía según el tipo de grano y las investigaciones previas demuestran que 1 kg de granos de cebada puede producir un rendimiento de forraje verde que oscilaba entre 7 y 10 kg

(Puón-Pelaez, 2015; Saidi y Abo Omar, 2015). Sin embargo, en variedades mejoradas estos valores pueden ser muy superiores, tal como lo demuestra un estudio hecho por Emam (2016) quien demostró que después del quinto día de crecimiento, los cultivares probados comenzaron a cambiar significativamente el peso de los brotes, alcanzando valores de 62,1-65,5 Kg/m² en el cultivar Giza 127 y de 41.3 a 43.4 Kg/m² en el cultivar Giza 126.

3.2. Análisis de costos

El costo para la producción de forraje verde hidropónico de cebada varió desde \$72.27 cuando se usó la solución nutritiva A hasta \$ 64.07 con la solución nutritiva B, mientras que para el tratamiento testigo la inversión fue de \$ 62.27 (Tabla 6). En Ecuador, no existe hasta la fecha un mercado para el forraje verde hidropónico, por lo que, no es posible comparar su beneficio/costo. Sin embargo, basado en estudios en otros países se ha demostrado que, aunque al inicio se requiere de una inversión alta para el establecimiento de las instalaciones, estos costos tienden a disminuir en el tiempo.

Tabla 12. *Tabla de costos de la aplicación de las soluciones nutritivas para la producción de cebada hidropónica*

Tratamiento	Costos Materiales (\$)	Costo de la			Costo total (\$)
		solución nutritiva (\$)	Mano de obra (\$)	Servicios (\$)	
Solución nutritiva A	46.27	10.00	15.0	1.0	\$ 72.27
Solución nutritiva B	46.27	1.80	15.0	1.0	\$ 64.07
Testigo	46.27	0.00	15.0	1.0	\$ 62.27

Tabla 13. *Desglose de los costos*

Material o equipo	Costo (\$)
Semilla	17.00
Bandejas germinadoras	24.50
Mangueras	9.00
Plástico	10.00
Bomba de agua	26.00
Temporizador	14.90
Termómetro	15.00
Accesorios para riego	16.50
Aspersores manuales	5.00
Solución nutritiva A	4.00
Solución nutritiva B	1.80
Cal	0.90

En un estudio comparativo de los costos de producción para alimentación con brotes hidropónicos versus el grano de alimentación se encontró que el costo de las semillas para producir brotes hidropónicos fue de 56.0 \$, 54.2 \$ y 67.8 \$ para el maíz, el trigo y la avena, respectivamente, por lo que, considerando el costo de producción de materia seca y proteína cruda, los autores determinaron que para cosechar 1 kg del forraje fue de 1.5, 1.7 y 2.6 veces mayor para la materia seca y 1.15, 1.22 y 2.06 veces mayor para la proteína cruda (Rahman et al., 2020). Aunque, el costo de producción es mayor en el caso del forraje hidropónico, el contenido nutritivo de este tipo de forraje es mayor por lo que promueve una mayor ganancia de peso y/o producción de leche en el ganado (Rahman et al., 2020).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El tipo de solución nutritiva A, la cual contenía los más altos valores de nutrientes, produjo los mayores valores de altura de planta, grosor del tapete radicular, peso fresco y peso seco de la parte aérea y de la raíz en las plantas de cebadas producidas de manera hidropónica y, en consecuencia, mostraron mayor rendimiento de cebada, siendo significativamente superiores a los valores observados cuando las plantas de cebada fueron mantenidas con la solución nutritiva B.

Los costos de producción del forraje verde hidropónico de cebada variaron desde \$72.27 en el tratamiento con la solución nutritiva A, mientras que con la solución nutritiva B fue de \$ 64.07 y un valor relativamente menor con el tratamiento testigo de \$ 62.27. Sin embargo, no fue posible estimar la relación beneficio/costo debido a que en Ecuador aún no existe un mercado para este tipo de forraje, por lo que no se conocen los costos de comercialización.

4.2. RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar estudios sobre el efecto del forraje verde hidropónico de cebada en la conversión alimentaria de diferentes tipos de ganado y estimar su beneficio costo/beneficio en cuanto a ganancia de peso del ganado, rendimiento de canal, producción de leche y calidad de la carne y/o leche.

Es recomendable diseñar programas de divulgación de este tipo de tecnología entre los criadores de ganado de la región de manera de socializar los alcances de la hidroponía con el fin de poder producir forraje de alta calidad para la alimentación de diferentes tipos de ganado, haciendo un uso más eficiente del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, V. (2012). *Diseño ambiental para el manejo sustentable de una granja familiar en el cantón Cevallos de los provincia de Tungurahua-Ecuador* [Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/269/1/T-UCE-0012-88.pdf>
- Ahamed, M. S., Sultan, M., Shamshiri, R. R., Rahman, M. M., Aleem, M., & Balasundram, S. K. (2023). Present status and challenges of fodder production in controlled environments: A review. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100080. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100080>
- Al-Baadani, H. H., Alowaimer, A. N., Al-Badwi, M. A., Abdelrahman, M. M., Soufan, W. H., & Alhidary, I. A. (2022). Evaluation of the Nutritive Value and Digestibility of Sprouted Barley as Feed for Growing Lambs: In Vivo and In Vitro Studies. *Animals*, 12(9), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ani12091206>
- Al-Karaki, G. N., & Al-Hashimi, M. (2012). Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Conditions. *ISRN Agronomy*, 2012, 1–5. <https://doi.org/10.5402/2012/924672>
- Alemnew, Y., & Mekuriaw, Y. (2023). Effects of Harvesting Age and Barley Varieties on Morphological Characteristics, Biomass Yield, Chemical Composition, and Economic Benefits under Hydroponic Conditions in Fogera District, Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 1–10.
<https://doi.org/10.1155/2023/9315556>
- Ata, M., Al-Lataifeh, F., & Altarawneh, M. (2017). Performance, Carcass Percentage, and Production Cost for Awassi Lambs Fed High Energy Diet for Short Fattening Period. *Journal of Agricultural Science*, 9(9), 108.
<https://doi.org/10.5539/jas.v9n9p108>
- Bakshi, M. P. S., M. Wadhwa, & Makkar, H. P. S. (2017). Hydroponic fodder production: a critical assessment. *Broadening Horizons*, 48, 1–10.

- Blanco-Capia, L. E., Colque-Pérez, H., & Rosales-Mendoza, M. B. (2019). Producción de forraje verde hidropónico versus geopónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en ambientes controlados. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(2), 109–117. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2019.070200109>
- Cáceres, P. J., Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. (2017). Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying. *Journal of Cereal Science*, 73, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.11.001>
- Cisneros-Saguilán, P., Cruz-Bautista, P., & Hernández-Hernández, M. (2023). Forraje verde hidropónico como alternativa forrajera en la alimentación animal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26, 1–12.
- Elmulthum, N. A., Zeineldin, F. I., Al-Khateeb, S. A., Al-Barrak, K. M., Mohammed, T. A., Sattar, M. N., & Mohmand, A. S. (2023). Water Use Efficiency and Economic Evaluation of the Hydroponic versus Conventional Cultivation Systems for Green Fodder Production in Saudi Arabia. *Sustainability*, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su15010822>
- Emam, M. S. A. (2016). The Sprout Production and Water use Efficiency of some Barley Cultivars under Intensive Hydroponic System. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(2), 161–171.
- Ghorbel, R., & Koşum, N. (2022). Hydroponic Fodder Production: An Alternative Solution for Feed Scarcity. *6th International Students Science Congress Proceedings*, 1–9. <https://doi.org/10.52460/issc.2022.005>
- Girma, F., & Gebremariam, B. (2018). Review on Hydroponic Feed Value to Livestock Production. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 7(4), 106–109. <https://doi.org/10.31254/jsir.2018.7405>
- 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>

- Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Kim-Anne, L., Van den Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., De Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 305–328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>
- Mijena, D., Getiso, A., & Ijara, F. (2021). Role of Hydroponics Technology in Green Fodder Production as Livestock Feed Resource: Review. *Research Journal of Animal Sciences*, 15(4), 20–25. <https://doi.org/10.36478/rjnasci.2021.20.25>
- Naik, P. K., Dhawaskar, B. D., Fatarpekar, D. D., Karunakaran, M., Dhuri, R. B., Swain, B. K., Chakurkar, E. B., & Singh, N. P. (2017). Effect of feeding hydroponics maize fodder replacing maize of concentrate mixture partially on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 87(4), 452–455. <https://doi.org/10.56093/ijans.v87i4.69527>
- Naik, P. K., Swain, B. K., & Singh, N. P. (2015). Production and Utilisation of Hydroponics Fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 32(1), 1–9.
- Natsheh, B. (2019). Barley green fodder production and effect of different saline water levels under hydroponic condition. *Proceedings of the 6th International Conference on Agriculture*, 2, 12–19. <https://doi.org/10.17501/26827018.2019.6102>
- Ndaru, P. H., Huda, A. N., Marjuki, Prasetyo, R. D., Shofiatun, U., Nuningtyas, Y. F., Ndaru, R. K., & Kusmartono. (2020). Providing High Quality Forages with Hydroponic Fodder System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 478(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/478/1/012054>
- Ningoji, S., Mn, T., Dr, M., Tulja, S., & G, V. (2021). Hydroponics Fodder Production -An Innovative Approach for Sustainable Livestock Production under Varied Climatic Distress. *The Mysore Journal of Agricultural Sciences*,

55(2), 1–11.

- Pastorelli, G., Serra, V., Turin, L., & Attard, E. (2023). Hydroponic fodders for livestock production - A review. *Annals of Animal Science*, 23, 1–25.
<https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0075>
- Puón-Pelaez, X. D. (2015). *Forraje Verde Hidropónico como suplementación en la alimentación en zona de semi desierto*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Rahman, M., Jahan, S., Amanullah, S., Kabir, M., Tamanna, R., Hassan, M., Deb, G., & Hossain, S. (2020). Study on comparative biomass yield, nutritional quality and economics of hydroponic sprout produced from different grains. *Bangladesh Journal of Livestock Research*, 26(1–2), 51–60.
<https://doi.org/10.3329/bjlr.v26i1-2.49937>
- Saidi, A. R. M. A., & Abo Omar, J. (2015). The Biological and Economical Feasibility of Feeding Barley Green Fodder to Lactating Awassi Ewes. *Open Journal of Animal Sciences*, 5(2), 99–105.
<https://doi.org/10.4236/ojas.2015.52012>
- Samir, B., Mohammad, A., Leila, A., Maryem, N., & Ali, A. (2021). Study of the Hydroponic Barley Effect on the Performance of Feedlot of Calves in the Region Souss Massa (Southern Morocco). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 11(14), 30–37. <https://doi.org/10.7176/jbah/11-14-05>
- Seaman, C. (2017). *Investigation of Nutrient Solutions for the Hydroponic Growth of Plants*. Sheffield Hallam University.
- Shit, N. (2019). Hydroponic Fodder Production: An Alternative Technology for Sustainable Livestock Production in India. *Exploratory Animal and Medical Research*, 9(2), 108–119.
- Slafer, G. A., & Savin, R. (2023). Comparative performance of barley and wheat across a wide range of yielding conditions. Does barley outyield wheat consistently in low-yielding conditions? *European Journal of Agronomy*, 143,

126689. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126689>

Smith, R. A., Jimo, M. O., & Laubscher, C. P. (2023). Seed Soaking Times and Irrigation Frequencies Affected the Nutrient Quality and Growth Parameters of *Hordeum vulgare* L. Cultivated in Hydroponics. In M. Sultan & F. Ahmad (Eds.), *Irrigation and Drainage - Recent Advances* (pp. 1–15). InTech. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>

Soufan, W. (2023). The Effect of the Mixing Ratio of Barley and Mung Bean Seeds on the Quality of Sprouted Green Fodder and Silage in a Hydroponic System. *Agronomy*, *13*(9), 1–14. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092301>

Soufan, W., Azab, O., Al-Suhaibani, N., Almutairi, K. F., & Sallam, M. (2023). Plasticity of Morpho-Physiological Traits and Antioxidant Activity of Hydroponically Sprouted *Hordeum vulgare* L. When Using Saline Water. *Agronomy*, *13*, 1–13.

Suma, T. C., Kamat, V. R., TR, S., & Reddy, M. (2020). Review on hydroponics green fodder production: Enhancement of nutrient and water use efficiency. *International Journal of Chemical Studies*, *8*(2), 2096–2102. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2af.9060>

Wang, Q., Zhao, H., Xu, L., & Wang, Y. (2019). Uptake and translocation of organophosphate flame retardants (OPFRs) by hydroponically grown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *174*, 683–689. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.029>

Weldegerima, K., Balkrishna, D., & Shalu, K. (2015). Nutritional Improvement and Economic Value of Hydroponically Sprouted Maize Fodder. *Life Sciences International Research Journal*, *2*(2), 76–79.

Yisif, A., Mustafa, K. N., & Salih, G. M. (2023). Effect of Feeding Hydroponic Barley and Concentrate Diet on Milk Effect of Feeding Hydroponic Barley and Concentrate Diet on Milk Yield and Composition in Hamdani Ewes. *Journal of*

Jilin University (Engineering and Technology Edition), 42(1), 137–144.
<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/89BH5>

Anexo 1. Fotografías del ensayo



Figura 9. Preparación de las soluciones nutritivas



Figura 10. Sistema de producción de forraje a partir de cebada cultivada de forma hidropónica

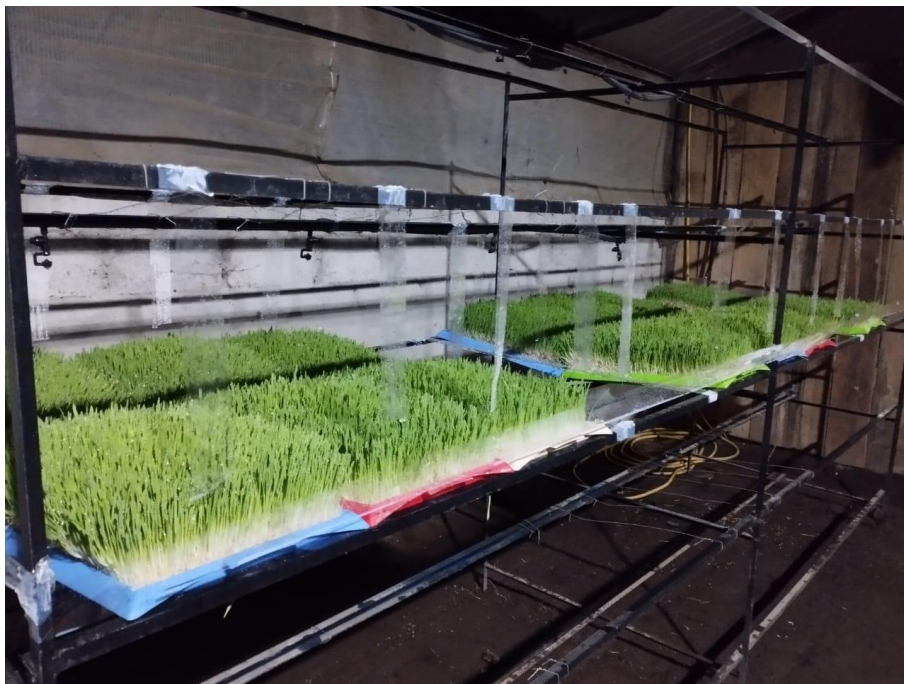


Figura 11. Sistema hidropónico establecido para la producción de cebada para forraje




Figura 12. Cosecha del forraje obtenido a partir de cebada cultivada hidropónicamente



Figura 13. *Separación de las muestras para la obtención de la materia fresca y seca*

Anexo 2. Análisis de agua


LABORATORIO DE ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA JAAPARY

HOJA DE REGISTRO DE ANALISIS

Cliente: <i>Regional Yanahurco</i>		
Dirección: <i>Moche</i>		
Hora: <i>8:10 - 9:50</i>		
Muestreado por: <i>María de los Angeles Lora</i>		
Fecha muestreo: <i>14-12-2023</i>	Lugar muestreo: <i>PTAP</i>	
Fecha de análisis: <i>14-12-2023</i>	Reporte Final:	
<small>*Nota: este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobación del laboratorio</small>		
DATOS DE LA MUESTRA		
Tipo:	Cantidad: Envase:	
Identificación de la muestra: JAAPARY-		
Identificación de la muestra: JAAPARY-		
RESULTADOS		
PARAMETRO	RESULTADO	OBSERVACIONES
pH	<i>6.94</i> U _{pH}	
Conductividad	<i>187</i> μ S/cm	
Turbidez	<i>0.17</i> NTU	
TSS	<i>2</i> mg/l	
TSD	<i>92</i> mg/l	
Cloro libre	<i>0.38</i> mg/l	
Cloro total	<i>0.55</i>	
Sulfato	<i>6.1</i> mg/l	
Nitrato	<i>0.000</i> mg/l	
Nitrato	<i>0.002</i> mg/l	
Aluminio	<i>0.038</i> mg/l	
Hierro	<i>0.05</i> mg/l	
Fosfato	<i>14.69</i> mg/l	
Color	<i>0 P.P.C.</i>	

RESPONSABLE DE MUESTREO

NOMBRE: *María de los Angeles Lora*

FIRMA: 



Anexo 3. Análisis estadístico

ADEVA

Statistix 10,0
27/12/2023; 11:33:58

Datos tesis.sx;

Completely Randomized AOV for DG

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	24,0000	12,0000	18,00	0,0029
Error	6	4,0000	0,6667		
Total	8	28,0000			

Grand Mean 5,0000 CV 16,33

Homogeneity of Variances		F	P
Levene's Test		2,00	0,2160
O'Brien's Test		0,89	0,4591
Brown and Forsythe Test		2,00	0,2160

Completely Randomized AOV for GTR

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	4,0956	2,04778	1,66	0,2665
Error	6	7,3933	1,23222		
Total	8	11,4889			

Grand Mean 5,0889 CV 21,81

Homogeneity of Variances		F	P
Levene's Test		3,94	0,0807
O'Brien's Test		1,75	0,2517
Brown and Forsythe Test		1,57	0,2827

Completely Randomized AOV for AP

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	60,2467	30,1233	12,73	0,0069
Error	6	14,1933	2,3656		
Total	8	74,4400			

Grand Mean 15,500 CV 9,92

Homogeneity of Variances		F	P
Levene's Test		2,01	0,2142
O'Brien's Test		0,90	0,4569
Brown and Forsythe Test		1,70	0,2599

Completely Randomized AOV for DC

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	2,00000	1,00000	3,00	0,1250
Error	6	2,00000	0,33333		
Total	8	4,00000			

Grand Mean 15,333 CV 3,77

Homogeneity of Variances			F	P
Levene's Test			4,00	0,0787
O'Brien's Test			1,78	0,2476
Brown and Forsythe Test			4,00	0,0787

Completely Randomized AOV for PFR

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	372,50	186,249	0,44	0,6605
Error	6	2512,67	418,778		
Total	8	2885,16			

Grand Mean 138,61 CV 14,76

Homogeneity of Variances			F	P
Levene's Test			3,55	0,0959
O'Brien's Test			1,58	0,2811
Brown and Forsythe Test			1,96	0,2208

Completely Randomized AOV for PFA

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	259,06	129,528	0,59	0,5829
Error	6	1314,39	219,066		
Total	8	1573,45			

Grand Mean 46,011 CV 32,17

Homogeneity of Variances			F	P
Levene's Test			3,44	0,1013
O'Brien's Test			1,53	0,2910
Brown and Forsythe Test			2,26	0,1855

Completely Randomized AOV for PSR

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	323,527	161,763	4,02	0,0781
Error	6	241,493	40,249		
Total	8	565,020			

Grand Mean 52,067 CV 12,18

Homogeneity of Variances			F	P
Levene's Test			2,01	0,2150
O'Brien's Test			0,89	0,4578
Brown and Forsythe Test			0,80	0,4923

Completely Randomized AOV for PSA

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	2	116,180	58,0900	15,94	0,0040
Error	6	21,860	3,6433		

Total 8 138,040

Grand Mean 21,600 CV 8,84

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	2,14	0,1987
O'Brien's Test	0,95	0,4376
Brown and Forsythe Test	0,38	0,6975

Completely Randomized AOV for Rendim

Source	DF	SS	MS	F	P
Trat	2	45,0956	22,5478	6,30	0,0336
Error	6	21,4867	3,5811		
Total	8	66,5822			

Grand Mean 10,844 CV 17,45

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	3,52	0,0976
O'Brien's Test	1,56	0,2842
Brown and Forsythe Test	0,68	0,5410

Prueba de medias usando prueba de Tukey al 0.05

Statistix 10,0
27/12/2023; 11:33:00

Datos tesis.sx;

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of DG by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
T0	3,0000	A
TB	3,0000	A
TA	3,0000	A

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 0,6667
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 2,0466
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of GTR by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
TA	5,8333	A
TB	5,2333	A
T0	4,2000	A

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 0,9064
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 2,7824
There are no significant pairwise differences among the means.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of AP by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
TA	19,100	A
TB	14,267	B

T0 13,133 B

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 1,2558
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 3,8551
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of DC by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
T0	16,000	A
TA	15,000	A
TB	15,000	A

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 0,4714
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 1,4471
There are no significant pairwise differences among the means.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PFR by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
T0	147,70	A
TB	134,47	AB
TA	66,90	C

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 16,709
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 51,293
There are no significant pairwise differences among the means.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PFA by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
TB	60.900	A
TA	43.400	AB
T0	37,900	B

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 12,085
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 37,098
There are no significant pairwise differences among the means.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PSR by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
TA	77.300	A
TB	66.400	A
T0	23.400	B

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 5,1800
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 15,902
There are no significant pairwise differences among the means.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PSA by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
TA	24.900	A
T0	19.200	AB

TB 8.400 B

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 1,5585
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 4,7843
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.
Statistix 10,0
30/12/2023; 16:58:42

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Rendim by Trat

Trat Mean Homogeneous Groups

1	13,933	A
2	9,9000	AB
3	8,7000	B

Alpha 0,05 Standard Error for Comparison 1,5451
Critical Q Value 4,341 Critical Value for Comparison 4,7433
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

Statistix 10,0
30/12/2023; 16:59:05

Resúmenes de los estadísticos

Statistix 10,0 Datos tesis.sx;
27/12/2023; 11:34:56

Breakdown for DG

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	7,0000	1,0000	0,5774	6,0000	8,0000
Tratam	TA	3,0000	0,0000	0,0000	3,0000	3,0000
Tratam	TB	5,0000	1,0000	0,5774	4,0000	6,0000
Overall		5,0000	1,8708	0,6236	3,0000	8,0000

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for GTR

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	4,2000	0,1000	0,0577	4,1000	4,3000
Tratam	TA	5,8333	0,2082	0,1202	5,6000	6,0000
Tratam	TB	5,2333	1,9088	1,1020	3,8000	7,4000
Overall		5,0889	1,1984	0,3995	3,8000	7,4000

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for AP

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	13,133	0,1155	0,0667	13,000	13,200

Tratam	TA	19,100	1,8000	1,0392	17,300	20,900
Tratam	TB	14,267	1,9604	1,1319	12,200	16,100
Overall		15,500	3,0504	1,0168	12,200	20,900

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for DC

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	16,000	1,0000	0,5774	15,000	17,000
Tratam	TA	15,000	0,0000	0,0000	15,000	15,000
Tratam	TB	15,000	0,0000	0,0000	15,000	15,000
Overall		15,333	0,7071	0,2357	15,000	17,000

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for PFR

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	147,70	7,5624	4,3662	139,50	154,40
Tratam	TA	133,67	8,1443	4,7021	124,30	139,02
Tratam	TB	134,47	33,657	19,432	102,00	169,20
Overall		138,61	18,991	6,3302	102,00	169,20

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for PFA

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	40,067	1,1504	0,6642	38,900	41,200
Tratam	TA	44,900	9,0072	5,2003	34,800	52,100
Tratam	TB	53,067	23,974	13,841	28,500	76,400
Overall		46,011	14,024	4,6748	28,500	76,400

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for PSR

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	45,633	0,5033	0,2906	45,100	46,100
Tratam	TA	60,067	7,4501	4,3013	52,600	67,500
Tratam	TB	50,500	8,0616	4,6544	45,500	59,800
Overall		52,067	8,4040	2,8013	45,100	67,500

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for PSA

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Tratam	T0	21,533	0,9018	0,5207	20,600	22,400
Tratam	TA	26,033	1,6773	0,9684	24,100	27,100

Tratam	TB	17,233	2,7025	1,5603	15,200	20,300
Overall		21,600	4,1539	1,3846	15,200	27,100

Cases Included 9 Missing Cases 0

Breakdown for Rendim

Variable	Level	Mean	SD	SE	Minimum	Maximum
Trat	1	13,933	3,0989	1,7892	11,900	17,500
Trat	2	9,9000	0,8660	0,5000	9,4000	10,900
Trat	3	8,7000	0,6245	0,3606	8,0000	9,2000
Overall		10,844	2,8849	0,9616	8,0000	17,500

Cases Included 9 Missing Cases 0