



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Evaluación del rendimiento y la palatabilidad del forraje verde hidropónico de avena (*Avena sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.)

Gutiérrez, E; Sandoval A; Zeas, M.

Tutor

Mtro. Jorge Manuel Pinell Tórrez

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL DE ESTELÍ

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**Centro Universitario Regional de Estelí
CUR-Estelí**

Recinto Universitario “Leonel Rugama Rugama”
Departamento Ciencias Tecnológicas y Salud

**Evaluación del rendimiento y palatabilidad del forraje
verde hidropónico de Avena (*Avena sativa*) y maíz (*Zea
mays*)**

Trabajo de investigación para optar al grado de
Ingenieros Agrónomos

Autores

Emelin Vanessa Gutiérrez Martínez
Angélica Mariely Sandoval Cardoza
Mel Dixon Zeas Urrutia

Tutor

Mtro. Jorge Manuel Pinell Tórez

Diciembre, 2025



Dedicatoria

Primeramente, dedico este trabajo a Dios, por ser la luz que ha guiado cada uno de mis pasos. Gracias por darme la fortaleza para seguir, por llenar mi mente de sabiduría y mi corazón de paz en los momentos más difíciles. Este logro es una muestra de Tu amor y de Tu infinita fidelidad en mi vida.

A mi mamá, que con su amor inagotable ha sido mi mayor apoyo en todo momento. Gracias por tus consejos, por tus palabras de ánimo cuando más las necesitaba, por tu paciencia infinita y por estar siempre a mi lado. Gracias por cuidarme, por impulsarme a seguir, por celebrar conmigo mis logros y por sostenerme en mis días difíciles. Todo lo que soy hoy, te lo debo en gran parte a ti. **Emelin Vanessa Gutiérrez Martínez**

Dedicado a Dios, por ser la luz que ilumina mi camino, la fuerza que sostiene mis pasos y la esperanza que me inspira a nunca rendirme. Sin su guía y misericordia, este logro no habría sido posible.

A mis padres, quienes con su amor, sacrificio y ejemplo me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada enseñanza han sido la base sobre la cual se construye este triunfo. Este trabajo es también suyo, porque refleja todo lo que me han dado con generosidad y entrega. **Angélica Mariely Sandoval Cardoza**

Dedico este logro a mis padres y hermanos, quienes desde un inicio me brindaron su apoyo incondicional, su amor y sus sabios consejos. Sus enseñanzas han sido la base que me permitió crecer, perseverar y esforzarme cada día hasta alcanzar la meta de mi carrera de Ingeniería Agronómica.

A mis compañeras de tesis, por su constancia, compromiso y compañerismo, así como por la amistad que hizo más llevadero el este camino académico y personal. Su presencia y dedicación fueron fundamentales para compartir los retos y celebrar los logros de esta etapa.

Mel Dixon Zeas Urrutia

Agradecimiento

Agradecemos primeramente a Dios, por ser nuestra guía y fortaleza en cada paso de este camino. Su luz nos acompañó en los momentos de incertidumbre, nos dio paciencia en las dificultades y esperanza para seguir adelante hasta culminar esta etapa tan importante de nuestras vidas.

A nuestros padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y ejemplo nos enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por brindarnos apoyo constante, por alentarnos en los momentos de cansancio y por ser el pilar fundamental que nos sostuvo durante todo este proceso.

A nuestras familias, por su comprensión, cariño y palabras de ánimo que nos motivaron a no rendirnos. Cada gesto de apoyo fue un impulso para continuar y cada muestra de confianza nos recordó que valía la pena luchar por nuestros sueños.

A nuestro tutor de tesis, por su orientación, paciencia y compromiso en cada etapa de este trabajo. Sus consejos y acompañamiento fueron esenciales para guiarnos con claridad y rigor académico, convirtiéndose en un apoyo invaluable para alcanzar este logro.

A nuestro asesor, por su dedicación, experiencia y disposición para compartir sus conocimientos. Su guía nos permitió fortalecer nuestro trabajo, enriquecer nuestras ideas y avanzar con seguridad hacia la culminación de esta investigación.

A nuestros compañeros de tesis, por la constancia, el compromiso y la amistad que hicieron más llevadero este recorrido. Compartimos largas jornadas de trabajo, dudas, aprendizajes y alegrías que fortalecieron no solo nuestro conocimiento académico, sino también nuestra unión como equipo.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL, ESTELÍ
“2025: Eficiencia y Calidad para seguir en victorias”
Departamento de Ciencias Tecnológica y Salud

CARTA AVAL DEL TUTOR

Estelí, 21 de noviembre de 2025

Por medio de la presente, en calidad de tutor del trabajo de modalidad de graduación titulado: “Evaluación del rendimiento y palatabilidad del forraje verde hidropónico de Avena (*Avena sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.)”, elaborado por los estudiantes:

Emelin Vanessa Gutiérrez Martínez, 21500654

Angélica Mariely Sandoval Cardoza, 21504504

Mel Dixon Zeas Urrutia, 21504471

Estudiantes de la carrera de **Ingeniería Agronómica**, hago constar que he brindado acompañamiento académico y metodológico durante el desarrollo de dicho trabajo, cumpliendo con lo establecido en el cronograma y en la normativa institucional vigente. Asimismo, avalo que el trabajo cumple con los requisitos formales, científicos y éticos exigidos por la Universidad, en cumplimiento de la modalidad de graduación correspondiente.

Atentamente,

Mtro. Jorge Manuel Pinell Tórrez

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4941-6256>

UNAN-Managua/CUR-Estelí

cc/

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!

Barrio 14 de abril, contiguo a la subestación de ENATREL, Tel 27137734, Ext 7424
dceh.curesteli@unan.edu.ni

Resumen

En este estudio se evaluó el rendimiento y la palatabilidad del forraje verde hidropónico (FVH) de avena (*Avena sativa*) y maíz (*Zea mays*) como una alternativa de alimentación animal bajo condiciones controladas. Esta investigación aportó información clara sobre el rendimiento y la aceptación del forraje verde hidropónico de avena y maíz. Se empleó un diseño experimental de bloques con medidas repetidas, donde cada animal constituyó un bloque y actuó como su propio control. Las variables consideradas fueron altura, días de crecimiento, palatabilidad y consumo por animal. Ambos cultivos demostraron buen desempeño dentro del sistema hidropónico, siendo el maíz más eficiente en términos de rendimiento y aceptación, mientras que la avena aportó cualidades nutricionales importantes. El forraje verde hidropónico de avena y maíz constituye una estrategia viable y sostenible para mejorar la alimentación animal, ofreciendo soluciones prácticas para pequeños y medianos productores en zonas con limitaciones hídricas de tierra cultivable.

Palabras claves: Producción forrajera; Nutrición animal; Alternativas alimenticias; Palatabilidad; Alimentación animal.

Abstract

This study evaluated the yield and palatability of hydroponic green forage (HGF) from oats (*Avena sativa*) and corn (*Zea mays*) as an alternative animal feed under controlled conditions. This research provided clear information on the yield and acceptance of hydroponic green forage from oats and corn. A randomized block design with repeated measures was used, where each animal constituted a block and acted as its own control. The variables considered were height, days of growth, palatability, and consumption per animal. Both crops performed well in the hydroponic system, with corn being more efficient in terms of yield and acceptance, while oats provided important nutritional qualities. Hydroponic green fodder from oats and corn is a viable and sustainable strategy for improving animal feed, offering practical solutions for small and medium-sized producers in areas with water limitations on arable land.

Keywords: Forage production; Animal nutrition; Food alternatives; Palatability; Animal feed.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	3
3.	Planteamiento del problema	6
4.	Justificación.....	8
5.	Objetivos de investigación	9
5.1.	Objetivo General.....	9
5.2.	Objetivos específicos	9
6.	Limitaciones del estudio.....	10
7.	Hipótesis.....	11
	Hipótesis alternativa (Ha).....	11
8.	Operacionalización de Variables	12
9.	Marco Teórico.....	13
9.1.	Fundamentación Teórica	13
10.	Diseño metodológico.....	35
10.1.	Tipo de investigación	35
10.2.	Población y selección de la muestra.....	36
10.3.	Técnicas, instrumentos y procedimientos para la recolección de datos.....	36
10.4.	Confiabilidad y validez de los instrumentos	39
10.5.	Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de datos	39
11.	Análisis y discusión de resultados.....	40
12.	Conclusiones.....	47
13.	Recomendaciones	48
14.	Referencias	49
15.	Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

El crecimiento poblacional ha incrementado la demanda de productos de origen animal, lo cual genera grandes desafíos para sostener esta actividad de forma eficiente y sostenible (Sharma et al., 2020). Al mismo tiempo, la disponibilidad de tierras cultivables ha disminuido por el avance urbano y la actividad agrícola ha contribuido a la degradación del suelo, reduciendo la productividad (FAO, 2022). Esto evidencia que el sector pecuario requiere transformaciones profundas orientadas al uso eficiente del territorio y la conservación de los recursos.

El agua para la producción agropecuaria es muy importante y muchos de los productores nicaragüense siembran de acuerdo con las épocas de lluvia. Sin embargo, durante los períodos de escasez, la disponibilidad de agua puede verse limitada, por lo que la hidroponía representa una alternativa para hacer frente a estos desafíos. Según (FAO, 2001) este método usa entre 2 y 3 litros de agua por kg de forraje, mientras que los sistemas convencionales requieren entre 270 y 365 litros. Esto significa una gran reducción en el uso del agua, haciendo de la hidroponía una opción sostenible en zonas con déficit hídrico.

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología alternativa para la producción de alimento vegetal destinado a animales. Se obtiene mediante la germinación y crecimiento de semillas de cereales, sin necesidad de suelo, lo que permite obtener un forraje con alta digestibilidad y valor nutricional (FAO, 2001). Además, su implementación es útil en zonas áridas y semiáridas, ya que ayuda a enfrentar las limitaciones de la producción convencional del forraje (López-Aguilar et al., 2009). Por tanto, el FVH representa una solución eficiente y sostenible para mejorar la alimentación animal en regiones con condiciones ambientales desfavorables.

En el manejo de ganado en países como Nicaragua se beneficia el tener alternativas de producción forrajera que nos garantice todo tipo de alimentación durante todo el año con gran rendimiento y valor nutricional, fundamental para suplementar las necesidades proteicas del animal. Entre los cereales disponibles, la avena (*Avena sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.) destaca entre los productores debido a su alta productividad, excelente valor

nutritivo, buena palatabilidad y facilidad de conservación, ya sea como heno o ensilaje (INIA, 2007).

El forraje de maíz hidropónico (FMH) surge como una alternativa innovadora para complementar o suplir el aporte proteico en la alimentación animal, tanto en rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos, búfalos) como en no rumiantes (aves, cerdos, conejos, equinos), (Contreras et al., 2015) . En un contexto como el del país usando este método relativamente reciente en la región, nos da la disponibilidad de producir alimentos que no son comunes y nos otorga opciones de sustentar a los animales.

La producción de biomasa forrajera de alta calidad nutricional representa un componente esencial en los sistemas de alimentación animal, especialmente en escenarios donde las condiciones climáticas o la disponibilidad de tierras limitan los métodos tradicionales de cultivo. En este marco, la avena y el maíz se reconocen como especies de gran valor por su potencial productivo, contenido energético, buena palatabilidad y facilidad de conservación, ya sea como heno, ensilaje o forraje verde, lo que las convierte en opciones versátiles dentro de la producción ganadera.

El estudio busca a evaluar la producción y aceptación de forraje hidropónico obtenido de Avena y maíz, con el fin de determinar su potencial como alternativa sostenible en la alimentación animal. A través de esta investigación se pretende valorar el rendimiento de biomasa y la palatabilidad de estos cultivos bajo condiciones controladas, lo cuál permitirá generar información útil sobre el aporte nutritivo y su viabilidad en sistemas de producción más eficientes y resilientes a limitaciones del cultivo convencional.

Antecedentes

La revisión de investigaciones anteriores resulta fundamental, ya que permite conocer los progresos alcanzados por otros autores y aprovechar la información disponible para orientar nuevos estudios. En este sentido la presente investigación enfocada en la evaluación del rendimiento y la aceptación del forraje verde hidropónico de avena y maíz se apoya en los antecedentes existentes para comprender como distintos sistemas de producción y tipos de forraje influyen en la alimentación y comportamiento de los animales, buscando alternativas más sostenibles y eficientes en la producción pecuaria.

El estudio de Albert et al., (2016), evaluó el rendimiento productivo y la calidad nutricional del FVH de *Zea mays*, *Avena strigosa* y *Triticum vulgare*, con el objetivo de comparar su desempeño en etapas tempranas de crecimiento. Se aplicaron métodos de medición directa de materia fresca y análisis del laboratorio. Los rendimientos obtenidos fueron de 3.91 a 4.96 kg/m² para el maíz, de 4.44 a 4.96 kg/m² para la avena y de 8.18 a 10.73 kg/m² para el trigo. Los valores de materia seca y proteína bruta variaron significativamente entre especies y días de evaluación, donde el trigo obtuvo mayor rendimiento y la avena mayor contenido proteico.

Este estudio se relaciona con la presente investigación ya que también se evalúa el rendimiento del FVH de avena y maíz, lo que permitirá comparar resultados y determinar cuál de las dos especies presenta mejores características productivas bajo condiciones similares, permitiendo contrastar la biomasa, la velocidad de crecimiento y la eficiencia de ambas especies bajo un tratamiento hidropónico. Esta comparación es esencial para corroborar o refutar tendencias encontradas en la literatura y en la investigación.

Borja & Perlará, (2009) Valoraron la calidad nutricional del FVH de maíz en la alimentación de pollos de engorde, con el objetivo de determinar el momento óptimo de cosecha para garantizar un buen aporte nutricional. El estudio fue desarrollado en 5 fases que fueron: Construcción del invernadero, preparación de semillas, establecimiento de sistema, evaluación de campo y análisis de laboratorio. Se logró una viabilidad de semillas del 87% y se identificó que el día 12 fue el más adecuado para la cosecha, ya que presentó los mejores niveles de proteína, grasa y macronutrientes.

Este estudio se vincula con la investigación, ya que aporta información sobre las etapas de crecimiento y las condiciones óptimas para obtener un FVH de alta calidad, lo cual es fundamental para establecer criterios de evaluación, rendimiento y palatabilidad en el FVH de avena y maíz, siendo una fuente indispensable de información detallada sobre el manejo del mismo, aportando datos cruciales acerca de las etapas fenológicas de crecimiento y las condiciones ambientales que nos permiten establecer criterios de evaluación de rendimiento.

Rubira Gutiérrez, (2021) investigó las características de la canal y la organometría de cabritos criollos alimentados con FVH de maíz combinado con alimento balanceado, para evaluar peso vivo, peso de canal y rendimiento y se usó un diseño experimental con cuatro tratamientos y tres repeticiones, evaluando peso vivo, peso de canal y rendimiento. El peso promedio de 9.78 kg por animal, con un rendimiento de canal del 39.25%. Se analizaron cortes específicos como el cuarto posterior y la costilla izquierda, registrando pesos promedio de 1.20 kg y 3.52 kg respectivamente. Se concluyó que incluir FVH al 75% mejora la productividad caprina y es aplicable todo el año

Esta investigación guarda relación con el tema de estudio, ya que demuestra la viabilidad del FVH de maíz como fuente alimenticia eficiente, sustentando la necesidad de continuar con investigaciones que evalúen su rendimiento y aceptación en comparación con otras especies forrajeras, como la avena. Al probar el éxito y la eficacia del FVH de maíz, este estudio sustenta y justifica la necesidad de continuar con la línea de investigación que se propone, proporcionando argumentos para evaluar, comparar el rendimiento productivo, además de ver la aceptación y palatabilidad del FVH de maíz con otro forraje relevante.

En la investigación de Benavidez et al., (2016) se evaluó el consumo de diferentes especies forrajeras mediante un test de cafetería realizado con seis ovejas hembras Pelibuey, de 8-9 meses de edad. El estudio realizado bajo un diseño experimental de bloques con medidas repetidas mostró que las ovejas presentaron una clara preferencia por las especies nativas, siendo *A. pennatula* y *G. ulmifolia* las más consumidas, mientras que *E. cyclocarpum* y *G. sepium* fueron las menos preferidas. Así mismo, la incorporación de *M. oleifera* a la dieta no modificó las preferencias por las especies autóctonas, independientemente de la época del año.

El estudio mencionado se relaciona con la presente investigación, ya que ambos buscan alternativas forrajeras que contribuyan a mejorar la alimentación animal y la eficiencia productiva. Dicho antecedente permitió valorar la preferencia y consumo especies forrajeras, considerando la palatabilidad como un factor clave para garantizar una adecuada aceptación del alimento por parte del ganado. De igual manera, este estudio busca a determinar el rendimiento y la palatabilidad del FVH de avena y maíz como opción nutritiva y sostenible dentro de los sistemas de producción.

2. Planteamiento del problema

En Nicaragua existen zonas caracterizadas por épocas secas prolongadas (4 a 8 meses) durante las cuales la oferta de forrajes es deficitaria y por el predominio de explotaciones ganaderas de pequeños propietarios en sistemas doble propósito. La producción durante la época de lluvias es similar en todos los tamaños de fincas. Sin embargo, en la época seca los mejores rendimientos se presentan en las fincas de los grandes productores. Esta intensificación se refleja por un mayor uso de alimentos concentrados, sistemas de corte y acarreo, compra de suplementos de heno y uso de ensilaje de maíz y sorgo forrajero (Fujisaka et al., 2005).

El manejo nutricional y la estimación de la eficiencia alimentaria del hato dependen de la accesibilidad que el productor tiene a fuentes de alimentación. La eficiencia nutritiva se ve afectada por la dieta suministrada ya que ésta no permite equilibrar los requerimientos de energía y proteína, esto se refleja en el rendimiento del animal. El productor solo supe las cantidades necesarias para el mantenimiento del animal y no para la parte productiva. Esta situación se debe a la disponibilidad de recursos y almacenamiento del mismo para suministro en la época crítica (FAO, 2004).

Nicaragua es el mayor productor y exportador de productos ganaderos de Centroamérica. La industria representa más del 10% de todos los empleos en Nicaragua y el 50% del valor de la producción agrícola, pero la productividad está limitada por las principales barreras, incluida la nutrición animal. De los más de 100,000 productores en Nicaragua, el 80% son pequeños que poseen menos de 20 animales y obtienen ingresos netos de menos de \$3 por día. Los pequeños productores deben estar equipados con prácticas agrícolas para aumentar los ingresos y obtener un medio de vida sostenible de la producción ganadera (Technoserve, 2024).

Preguntas de investigación

Pregunta general

¿Cómo influye el sistema hidropónico en el rendimiento y la palatabilidad del forraje de avena y maíz en un sistema de producción sostenible?

Preguntas específicas

¿Cuál es la diferencia en el rendimiento, desarrollo y crecimiento entre la avena y el maíz cultivados en sistema hidropónico?

¿Qué características nutricionales presenta el forraje de avena y de maíz cultivado bajo sistema hidropónico según el análisis bromatológico?

¿Qué diferencias de palatabilidad se observan en el consumo voluntario de avena y maíz por parte de los animales?

3. Justificación

La presente investigación surge del interés por abordar una problemática dentro de los sistemas de producción pecuaria. Muchos productores enfrentan dificultades para garantizar una dieta adecuada para ovinos durante todo el año, especialmente en época seca o cuándo no se dispone de suelos cultivables suficiente. Esta situación mostró la necesidad de seleccionar este tema, dado que el FVH se presenta como una alternativa viable y sostenible para responder a dicha problemática, contribuyendo a mejorar la disponibilidad de alimento y la productividad del hato.

Así mismo, la decisión de realizar esta investigación sobre FVH se basa en la importancia de promover opciones alimenticias, que sean económicos y que se adapten a distintos entornos rurales. De igual manera permite analizar una técnica innovadora que puede ser implementada por pequeños y medianos productores para mejorar la nutrición animal, sin que dependan de otros métodos tradicionales ya que a veces resultan ineficientes y hasta poco accesibles. Por lo tanto, con nuestra investigación, se busca a generar información técnica que sea útil tanto en el ámbito académico como productivo.

Finalmente, el desarrollo de esta representa una gran oportunidad para aplicar todos los conocimientos adquiridos durante nuestra carrera en un tema relevante para el sector agropecuario. A través del análisis del FVH, se pretende aportar soluciones prácticas y sustentables, de igual manera se fortalecen las capacidades investigativas necesarias para el ejercicio profesional. Por estas razones, se considera importante llevar a cabo esta investigación, con el fin de contribuir al desarrollo de estrategias que puedan mejorar la eficiencia en la alimentación animal.

4. Objetivos de investigación

4.1. Objetivo General

Evaluar el rendimiento y la palatabilidad del forraje hidropónico de avena (*Avena sativa*) y maíz (*Zea mays*) en procedimientos de producción sostenible.

4.2. Objetivos específicos

Comparar la producción de biomasa entre avena y maíz cultivado en sistema hidropónico.

Describir el perfil bromatológico del forraje de avena y maíz cultivados en un sistema hidropónico.

Determinar la palatabilidad del forraje mediante la observación del consumo voluntario por parte de ovejas

5. Limitaciones del estudio

Dentro de las posibles limitaciones del estudio se considera que las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar, podrían influir en el crecimiento del FVH. De igual forma, la disponibilidad y calidad de semillas podrían representar una restricción para obtener una germinación uniforme. El tiempo destinado para la evaluación podría ser otra limitante, al no contemplar variaciones en diferentes épocas del año. Finalmente, se reconoce que presentarse factores biológicos, como hongos, así como variaciones en la respuesta de las ovejas durante la prueba de palatabilidad, lo que podrían incidir en los resultados.

6. Hipótesis

Hipótesis alternativa (Ha)

Existen diferencias significativas en el rendimiento y la palatabilidad en ovinos entre el forraje hidropónico de avena y de maíz.

Hipótesis nula (Ho)

No existen diferencias significativas en el rendimiento y la palatabilidad en ovinos entre el forraje hidropónico de avena y el de maíz.

7. Operacionalización de Variables

Tabla

1.

Matriz de operacionalización de variables

Objetivos específicos	Variable conceptual	Subvariable, dimensiones o categorías	Variable operativa o indicador	Tipo de variable estadística	Categorías estadísticas	Instrumento de recolección de datos
Comparar la producción de biomasa entre avena y maíz cultivado en sistema hidropónico.	biomasa de maíz y avena en hidroponía	Rendimiento (kg/m ²), altura (cm), tiempo (Días)	Kg de biomasa m ² Altura de planta por cada bandeja Días de crecimiento para alimentación.	Cuantitativa continua	Valores numéricos por bandejas	Registro de campo y medición directa
Describir el perfil bromatológico del forraje de avena y maíz cultivados en un sistema hidropónico.	Composición nutricional del forraje	Proteína cruda, fibra cruda, materia seca	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	Valores porcentuales	Análisis bromatológico de laboratorio
Determinar la palatabilidad del forraje mediante la observación del consumo voluntario por parte de animales.	Palatabilidad	Consumo voluntario, rechazo del forraje	Cantidad consumida (g/animal/tiempo), preferencia del animal	Cuantitativa continua, cualitativa nominal	Consumo/preferencia	Observación directa, ficha de registro

8. Marco Teórico

8.1. Fundamentación Teórica

9.1 Hidroponía

9.1.1 Definición y principio de la hidroponía

La hidroponía se deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor de trabajo), lo cual significa trabajo en agua. Por lo tanto, la hidroponía es un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran establecidas en el suelo, sino en un sustrato o en la misma solución nutritiva utilizada. En la solución nutritiva, como su nombre dice, se encuentran disueltos los elementos necesarios para el crecimiento de la planta (INTAGRI, 2017b).

La hidroponía es un conjunto de técnicas que sustituye al suelo también es denominada agricultura sin suelo. La hidroponía te permite diseñar estructuras simples y/o complejas favoreciendo las condiciones ambientales idóneas para producir cualquier planta de tipo herbáceo aprovechando en su totalidad cualquier área (azoteas jardines, suelos infértiles, terrenos escabrosos, etc) sin importar las dimensiones como el estado físico de estas (López, 2023).

El uso de la hidroponía como método de cultivo que se practica desde hace siglos, sin embargo, en la actualidad está recobrando importancia, debido a su accesibilidad. Esta actividad se caracteriza por usar soluciones minerales en lugar de suelo agrícola para el cultivo de productos agroalimentarios, gracias a eso se pueden aprovechar áreas como azoteas, jardines, suelos infértiles, entre otros (SADER, 2015).

9.1.2 Historia y evolución de la técnica hidropónica

La hidroponía, se ha desarrollado con una mayor velocidad a partir de experimentos para determinar los elementos que intervienen en el crecimiento de las plantas. Los primeros trabajos formales sobre este sistema de producción comenzaron en fechas cercanas al año 1600. No obstante, el crecimiento de las plantas sin suelo es conocido desde la antigua babilonia, en los famosos jardines colgantes, los cuales se alimentaban del agua

que corría por medio de canales. Asimismo, hace más de 1000 años ya se practicaba la hidroponía en China, India y Egipto (orillas del río Nilo), misma que se realizaba mediante esquemas rústicos (INTAGRI, 2017b).

En México, los orígenes de la hidroponía son los jardines flotantes de los aztecas, llamados chinampas, las cuales eran construidas con cañas y bejucos que flotaban en el lago Tenochtitlán (México), además de ser rellenas con lodo extraído del mismo. Posteriormente en 1860 los alemanes Sachs y Knop fueron los primeros en hacer crecer las plantas en una solución nutritiva, llamándolo al proceso nutricultura. En 1938 W.F. Gericke, profesor de la Universidad de California, logró establecer con éxito unidades de cultivo sin tierra de manera comercial, bautizando a este sistema productivo como hidroponía. Posteriormente la hidroponía comercial se extiende a través del mundo en la década de los 50's (INTAGRI, 2017b).

El estudio de la hidroponía tiene una larga trayectoria de la que se tiene conocimiento, desde 382 a.C. pero la primera información escrita data de 1600, cuando el belga Jan van Helmont documentó su experiencia acerca de que las plantas obtienen sustancias nutritivas a partir del agua, en 1699 el inglés John Woodward cultivó plantas en agua conteniendo diversos sustratos y encontró que el crecimiento de las plantas era el resultado de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo continuaron las investigaciones y es en 1804 cuando, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire (INTAGRI, 2017b).

1.3 Según Farm Credit (2024) las ventajas frente al cultivo tradicional son:

- **Ahorro de agua:** a pesar de que el agua es la base para los cultivos, ella se utiliza de manera eficiente en la hidroponía. Esto ayuda a que no se desperdicie y a que incluso se pueda recircular. En el caso de la agricultura tradicional, el agua que se usa para el riego de las plantas no se utiliza al cien por ciento.

- **Hace posible producir en condiciones ambientales limitantes:** se refiere a que permite cultivar en lugares donde hay condiciones ambientales limitantes tales como escasez de agua o falta de suelos aptos para cultivos.
- **No se usan herbicidas:** se elimina la necesidad de utilizar herbicidas ya que no hay tierra donde puedan crecer hierbas intrusas y con ello se ahorra dinero, tiempo y esfuerzo.
- **Cultivos de alta calidad:** puesto a que la hidroponía te permite controlar con mayor precisión la cantidad de agua y nutrientes que se utilizan en los cultivos, esto redundará en productos de mayor calidad en comparación con aquellos cultivados en campo abierto.
- **Ahorro en abonos y fertilizantes:** permite que ahorres en abonos y fertilizantes, pues su tecnología está diseñada para distribuirlos de manera precisa.

1.4 Desventajas y limitaciones de la hidroponía

- **Inversión inicial alta:** Esta es la desventaja principal. Al comenzar un sistema hidropónico será necesario hacer una inversión alta ya que se den comprar materiales muy importantes como bombas, contenedores, sustratos, tubería, filtros y llaves de paso, entre otros.
- **Cuidado indispensable de la planta:** Esta tecnología requiere muchos detalles y atenciones particulares que se minimizan en la agricultura en tierra. De esto dependerá el éxito o fracaso de los cultivos.
- **No es apta para todas las especies:** Este sistema no está disponible para todas las especies de plantas como por ejemplo los árboles frutales o los vegetales de fruto subterráneo como las papas, las papas y otros tubérculos.
- **Las plantas son susceptibles a los cambios:** En los diferentes sistemas hidropónicos las plantas no cuentan con el suelo, que en la agricultura tradicional funciona como amortiguador en momentos de cambios bruscos. Además, hay que ser muy cuidadoso con la temperatura, el pH, la productividad eléctrica y la concentración de nutrientes.

- **Falta de conocimiento:** Al ser una tecnología menos utilizada que la agricultura en tierra, hay menos personas expertas en el tema o empresas especializadas en hidroponía y los que hay suelen ser muy costosos.

1.5 Tipos de sistemas hidropónicos

De acuerdo con INTAGRI (2017a) existen varios tipos de sistemas hidropónicos utilizados en la horticultura, cada uno con sus propias características y ventajas

1. Sistema de NFT (*Nutrient Film Technique*): Consiste en una lámina o película de solución de nutrientes que fluye continuamente sobre las raíces de las plantas. Estas se colocan en un canal inclinado que permite que la solución de nutrientes circule a través de las raíces y luego se recoja en un tanque de almacenamiento. Se trata de un sistema ideal para el cultivo de lechugas, hierbas y otros cultivos de hojas.

2. Sistema de raíz flotante: Se basa en colocar las plantas en una cama flotante de espuma o poliestireno, con sus raíces colgando, pero sumergidas en una solución de nutrientes, mientras una bomba de aire proporciona el oxígeno necesario a las raíces. En un sistema ideal para el cultivo de plantas con raíces cortas, como fresas y hierbas.

3. Sistema de cultivo en gota: En este método se usan tubos y emisores que gotean la solución de nutrientes directamente sobre las raíces de las plantas, controladas por un timer. Es ideal para el cultivo de plantas con una demanda de nutrientes específica, como pimientos y berenjenas.

4. Sistema de cultivo en aeroponía: En estos sistemas hidropónicos se busca suspender las raíces de las plantas en el aire para rociarlas con una solución de nutrientes. El uso de este sistema es común en los cultivos de plantas de rápido crecimiento y con necesidades nutricionales específicas, como la albahaca y el cilantro.

5. Sistema hidropónico de mecha o pabilo: Este es uno de los sistemas hidropónicos más sencillos y económicos que existen. Con este método, las plantas se colocan en macetas que

están ubicadas en un recipiente con una solución de nutrientes. En la parte inferior de las macetas se coloca un material absorbente como un pabilo o una mecha, que permite que la solución de nutrientes sea absorbida por las raíces de las plantas.

El recipiente de la solución de nutrientes se coloca en una posición elevada para que la gravedad pueda hacer que la solución fluya a través del material absorbente y llegue a las raíces de las plantas. Este sistema es ideal para el cultivo de plantas pequeñas como hierbas y lechugas.

6. Sistema hidropónico de flujo y reflujo: En los sistemas de flujo y reflujo se inunda temporalmente un contenedor con las plantas en una solución de nutrientes. Dicha solución se eleva hasta un nivel predeterminado, y luego se drena de nuevo al tanque de almacenamiento. Este proceso se repite varias veces al día para asegurar que las raíces de las plantas estén siempre en contacto con la solución de nutrientes. Se trata de un método ideal para el cultivo de plantas que necesitan un riego constante y para aquellas que se benefician de períodos cortos de inundación y sequía, como tomates y pimiento.

1.6 Requerimientos básicos del sistema hidropónico (Resendez et al., 2016)

Agua: Debido a que el agua es el componente mayoritario en las células vegetales (hasta un 95%), es de suma importancia mantener el equilibrio hídrico (varía en cada tipo de planta) en el riego de algún cultivo depende de varios factores como lo son el clima (calor), el tipo de planta y el suelo.

Temperatura: Los cambios de temperatura tienen un efecto directo sobre los procesos fisiológicos de todos los seres vivos. Cada tipo de planta posee condiciones de temperatura óptimas, como por ejemplo las plantas tropicales o de climas secos toleran las temperaturas elevadas, contrario a las que viven en climas templados.

Luz solar: La luz del sol es la fuente más importante de energía para las plantas, ya que es aprovechada por ellas para la generación de alimento (glucosa) por medio de la fotosíntesis.

Nutrientes minerales: Los nutrientes minerales son esenciales para el crecimiento de la planta de cualquier ser vivo. Estos de acuerdo con la cantidad requerida se dividen en macro y micronutrientes.

Sustratos: Un sustrato puede definirse como un material sólido (diferente del suelo) natural o sintético, mineral u orgánico, que al colocarse en un contenedor permite la sujeción de la raíz de la planta.

2. Forrajes en la alimentación animal

2.1 Definición de forrajes

El forraje es todo producto de origen vegetal que es consumido por los animales y que no solo hace referencia, a aquellos materiales diferentes a las gramíneas (pastos) y leguminosas tradicionales. Se define el forraje como todo producto de origen vegetal que es consumido por los animales y que no solo hace referencia, a aquellos materiales diferentes a las gramíneas (pastos) y leguminosas tradicionales (Mendoza, 1989).

El forraje se refiere a cualquier tipo de alimento vegetal utilizado para la alimentación del ganado en la producción agropecuaria. Es una parte esencial de la dieta de los animales, ya que les proporciona los nutrientes necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción de alimentos de origen animal, como carne, leche y huevos (EUROINNOVA, 2024).

2.2 Clasificación de los forrajes

En el mundo agropecuario, los forrajes se pueden clasificar en diferentes categorías según sus características y usos (EUROINNOVA, 2024):

Pastos: Son plantas herbáceas o gramíneas que se utilizan como forraje. Pueden ser de clima templado o tropical y se caracterizan por su alta productividad y contenido de fibra. Ejemplos comunes incluyen el pasto bermuda, el pasto ryegrass y el pasto festuca.

Leguminosas: Son plantas como el trébol, la alfalfa y el guisante forrajero. Estas plantas son ricas en proteínas y nutrientes, lo que las hace ideales para mejorar la calidad nutricional del forraje.

Forrajes conservados: Incluyen el heno, el silo y el ensilado. El heno es el forraje seco y deshidratado, mientras que el silo y el ensilado son forrajes fermentados y almacenados en condiciones anaeróbicas. Estos tipos de forraje permiten conservar los nutrientes y la calidad del alimento durante períodos prolongados.

Forrajes arbustivos: Son forrajes provenientes de arbustos y árboles, como el follaje de árboles frutales, arbustos de leguminosas y árboles forrajeros. Estos forrajes suelen ser utilizados en sistemas agroforestales y contribuyen a la diversificación de la alimentación animal.

2.3 Como describe FAO (2004) la importancia del forraje en la dieta animal es:

- **Aporte de nutrientes esenciales**

El forraje constituye una fuente valiosa de carbohidratos complejos, que suministran energía necesaria para el crecimiento y mantenimiento del ganado. Además, contiene proteínas de calidad, indispensables para el desarrollo muscular y la producción de leche. También aporta grasas, vitaminas y minerales, que son esenciales para el funcionamiento óptimo del organismo animal.

- **Mejora la salud y el bienestar animal**

El consumo de forraje es fundamental para mantener una buena salud y bienestar en los animales de ganadería. Al proporcionar una dieta balanceada, se promueve el funcionamiento adecuado del sistema digestivo y se previenen trastornos metabólicos. Asimismo, el forraje *ayuda a regular el pH ruminal y a prevenir enfermedades* asociadas con la alimentación inadecuada.

- **Fomenta la producción sostenible**

El forraje, en comparación con los alimentos concentrados, es una opción más sostenible y económicamente viable para la alimentación animal. Las plantas utilizadas como forraje suelen ser de fácil cultivo y, en muchos casos, se pueden aprovechar residuos agrícolas. Al incorporar el forraje en la dieta del ganado, se reduce la dependencia de alimentos importados y se fomenta la producción local y autónoma.

2.4 Factores que afectan la calidad del forraje

Según Ramos & Barcos (2004), los principales factores que afectan la calidad del forraje son los siguientes:

1. Especie forrajera: La composición química y el valor nutritivo del forraje varía según la especie vegetal. Las leguminosas, como la alfalfa, presentan generalmente un mayor contenido de proteína cruda y menor contenido de fibra que las gramíneas, lo que mejora su digestibilidad y valor alimenticio para el ganado.

2. Estado de madurez: El momento de corte o cosecha influye significativamente en la calidad. A medida que la planta madura, aumenta el contenido de fibra estructural (como la lignina) y disminuye la digestibilidad. Por tanto, las plantas jóvenes son más tiernas y ricas en nutrientes, mientras que las maduras son más fibrosas y menos aprovechables

3. Fertilidad del suelo y manejo nutricional: El estado nutricional del suelo impacta directamente en el crecimiento y composición del forraje. Un adecuado aporte de nitrógeno puede aumentar los niveles de proteína, mientras que deficiencias de fósforo o potasio afectan el desarrollo general de la planta y su contenido energético

4. Condiciones climáticas: Factores como la temperatura, la radiación solar y la disponibilidad de agua influyen sobre la proporción hoja-tallo, el desarrollo celular y la acumulación de compuestos solubles. El estrés hídrico o térmico puede reducir la calidad del forraje al acelerar la maduración o limitar el crecimiento

5. Momento y método de cosecha: Cosechar en el momento óptimo de madurez es clave para preservar la calidad del forraje. Cosechas tardías incrementan el contenido de fibra y reducen la digestibilidad. Además, los métodos de cosecha pueden influir en la pérdida de hojas, que son la parte más nutritiva de la planta

6. Manejo post-cosecha y conservación: Una vez cosechado, el forraje debe conservarse adecuadamente para evitar pérdidas nutricionales. El secado debe realizarse rápidamente para evitar fermentaciones indeseadas, y el almacenamiento debe hacerse en lugares secos, protegidos de la humedad y contaminación.

7. Presencia de contaminantes: Elementos como tierra, piedras, hongos o malas hierbas disminuyen la calidad del forraje y pueden representar riesgos para la salud animal. La presencia de micotoxinas, producto de hongos, puede incluso generar toxicidad.

3. Forraje verde hidropónico (FVH)

3.1 Concepto y características del FVH

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o “green fodder hydroponics” es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal (Caribe, 2002)

El FVH es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas, como maíz, sorgo, cebada, trigo, alfalfa, entre otros, en un sistema de cultivo sin suelo (Hidroponía). Este método se lleva a cabo en charolas o bandejas especiales, donde los granos son irrigados constantemente con una solución nutritiva la cual es rica en minerales esenciales (Villaseñor, 2024).

El FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología FVH es complementaria y no competitiva a la

producción convencional de forraje a partir de especies aptas (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc.) para cultivo forrajero convencional (Caribe, 2002).

De acuerdo con (Caribe, 2002), las características del FVH:

1. **Sistemas sin suelos:** se produce sobre bandejas u otras superficies planas sin necesidad de tierra.
2. **Bajo consumo de agua:** solo requiere entre 1.5 y 3 litros de agua para producir 1 kg de FVH.
3. **Ciclo corto de producción:** listo para cosechar entre 8 y 12 días después de la siembra.
4. **Rendimientos por bandejas:** varía según la semilla, pero se obtienen hasta 7kg de FVH por kg de semilla en condiciones óptimas.
5. **Altura del forraje:** Alcanza entre 15 y 30 cm al momento de cosecha.
6. **Valor nutritivo alto:** contiene proteínas, carbohidratos solubles, vitaminas, minerales y enzimas vivas.
7. **Alta digestibilidad:** Favorece la absorción de nutrientes, especialmente en rumiantes.
8. **Sin agroquímicos:** No se usan fertilizantes ni pesticidas, por lo que es un alimento limpio y natural.
9. **Espacios reducidos:** se adapta a ambientes controlados y pueden producirse vertical.
10. **Versatilidad en especies animales:** Apto para bovinos, ovinos, caprinos, aves, cerdos, conejos, entre otros.

3.2 Ciclo de producción y condiciones básicas para el desarrollo

Selección de las especies de granos utilizados en FVH

Generalmente se pueden emplear granos de: Maíz, Sorgo, Cebada, Avena. La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir.

Selección de la semilla

Se debe tener en cuenta que la semilla es la parte fundamental para obtener el forraje hidropónico lo cual se puede lograr de la siguiente forma: Semillas certificadas y Semillas no certificadas

Pesaje de la semilla

Consiste en determinar la cantidad de semilla germinable que se va a emplear para producir el forraje verde hidropónico.

3.3 Comparación entre FVH y forraje tradicional

El Forraje Verde Hidropónico (FVH) y el forraje tradicional representan dos enfoques distintos para la producción de alimento animal.

Según (Farms, 2023), el FVH es una alternativa moderna que utiliza tecnología para producir forraje en espacios controlados, sin depender del suelo ni del clima. Esto lo hace más eficiente, constante y de mayor calidad, ideal para enfrentar los desafíos en la agricultura actual. Mientras que (Villaseñor, 2024) señala que el forraje tradicional se basa en prácticas ancestrales, ligadas a la tierra y al conocimiento transmitido por generaciones. Si bien el método tradicional es más conocido y más accesible para muchos agricultores, el FVH ofrece una solución innovadora que permite optimizar recursos, reducir riesgos y mejorar la sostenibilidad en la producción agropecuaria.

3.5 Limitaciones o desafíos en la producción de FVH

Aunque el FVH representa una alternativa innovadora y sostenible frente a los métodos tradicionales, su producción conlleva a ciertos retos técnicos y operativos que pueden dificultar su adopción especialmente en zonas con recursos limitados.

- **Disponibilidad de agua:** Aunque el FVH ahorra agua comparado con cultivos a campo abierto, el agua sigue siendo un factor limitante, especialmente en zonas con escasez o donde no hay fuentes constantes.

- **Selección inadecuada de charolas:** Muchos productores usan charolas no diseñadas específicamente para FVH, lo que puede afectar negativamente la germinación y producción del forraje.
- **Condiciones específicas de luz y oscuridad:** Durante la germinación las semillas requieren oscuridad total. Para un crecimiento óptimo posterior, se necesita una luminosidad controlada entre 2,800 y 40,000 lux, lo que puede ser un reto en sistemas mal diseñados o sin control ambiental.
- **Falta de conocimientos técnicos:** El mal manejo de factores clave (agua, luz, charolas) lleva a abandonos de proyectos por resultados deficientes.
- **Requiere infraestructura mínima adecuada:** Aunque no necesite tierra, si se requiere al menos un sistema organizado de producción, lo que implica inversión inicial en materiales y diseño.

4. Especies forrajeras utilizadas en FVH: maíz y avena

4.1 ¿Qué es el maíz y cuál es su importancia?

El maíz (*Zea Mays*) es una planta perteneciente al reino Plantae y al subreino Tracheobionta, que agrupa a las plantas vasculares. Se clasifica dentro de la división Magnoliophyta, correspondiente a las plantas con flores o angiospermas y en la clase Liliopsida, que comprende las monocotiledóneas. A su vez, pertenece a la subclase Commelinidae y al orden Poales, que incluye especies herbáceas de gran importancia económica. En este orden, el maíz se ubica en la familia Poaceae, conocida como la familia de las gramíneas, en la subfamilia Panicoideae y en la tribu Maydeae. Su género es *Zea* y su especie *mays*, conformando así nombre científico: *Zea mays* (Valladares, 2010).

El maíz, es considerado el tercer cultivo más importante del mundo, después del trigo y del arroz, debido a que se adapta ampliamente a las diversas condiciones ecológicas y edáficas, se lo cultiva en casi todo el mundo y se constituye, en alimento básico para millones de personas, especialmente en América latina. El maíz es una de las plantas cuya

producción es muy consumida a nivel país por las familias, por lo que el aumento de la productividad por área de superficie es una necesidad urgente, y se debe implementar nuevas prácticas agronómicas (Guerreño et al., 2019).

Es un cultivo de mucha importancia en los sistemas de producción de las pequeñas fincas, es utilizado como materia prima en la elaboración de muchos platos típicos, su consumo desde el estado lechoso, que se conoce como avatiky, hasta el grano seco, permite además la cría de animales de granja, que aportan huevos, leche y carne, diversificando así la producción de la finca, y con el aumento de la productividad se satisface la necesidad básica alimenticia de un aumento poblacional y genera oportunidades rentables de ocupación laboral de jóvenes en el sector rural, logrando el arraigo de las familias campesinas. Su cultivo se puede enfocar como rubro comercializable ya que cuenta con mercado seguro (Guerreño et al., 2019).

4.2 Composición nutricional del maíz como FVH

Dentro de la calidad nutricional del FVH de maíz aporta materia seca (en base seca) 86,60-90,93%, proteína cruda 9,78-19%, fibra cruda 5,40-25,10%, nutrientes digestibles totales 71,87-80,81%, energía metabolizable de 3216 kcal/kg, su digestibilidad oscila del 83-90%, contiene caroteno 24,9 UI/kg, es una fuente de vitaminas del complejo A (48 mg/kg), C (45 mg/kg) y E (26,3 UI/kg) también aglomera minerales como el calcio (0,104%), fósforo (0,48%), magnesio (0,145%), hierro (213 p.p.m), zinc (35 p.p.m) y manganeso (310 p.p.m), cumpliendo lo exigido por la frontera agrícola, al obtenerse un alimento orgánico, inocuo, succulento, rico en nutrientes, antioxidantes y enzimas que aumentan el rendimiento productivo (FAO, 2019).

4.3 ¿Qué es la avena y cuál es su importancia?

La avena (*Avena sativa*) es una planta que pertenece al reino Plantae, que agrupa a todas las plantas, y se clasifica dentro de la división Tracheophyta, que comprende las plantas vasculares con tejidos conductores de savia. Pertenece a la clase Liliopsida, la cual incluye a las monocotiledóneas, caracterizadas por poseer una sola hoja embrionaria, Así mismo, forma parte del orden Poales, que agrupa a las gramíneas y otras plantas herbáceas

de importancia agrícola. Dentro de este orden, la avena se ubica en la familia Poaceae y en la tribu Aveneae. Su género es *Avena* y su especie *sativa*, conformando así su nombre científico completo: *Avena sativa* (ITIS, 2024).

Según Vasyl (2018), la avena es una planta anual que crece mejor en climas fríos. Aunque lo más habitual es sembrarla en primavera para la cosecha de grano, también es popular el cultivo de la avena en otoño como forraje o cultivo de cobertura. El periodo exacto de siembra depende de los patrones climáticos locales y de las condiciones de cultivo.

El cultivo de avena está muy bien valorado más allá de sus granos, pues es increíblemente versátil para los agricultores. Es habitual el cultivo de avena sativa, así como avena para forraje para el ganado, gracias a su excelente nutrición al ser cosechado. Asimismo, es un cultivo de cobertura ideal con alto contenido en biomasa para proteger la salud del suelo.

El cultivo de avena es de gran importancia ya que es un alimento dietético, muy bueno para rumiantes jóvenes gracias a su alto contenido de cáscara y fibra. Se recomienda administrar una pequeña cantidad durante la lactancia para que los rumiantes jóvenes se acostumbren al consumo de forrajes y desarrollen su rumen. La mayor cantidad de celulosa en la cubierta del grano diluye el valor energético nutritivo de la avena en comparación con la cebada, por ejemplo. El grano de avena puede utilizarse en cantidades de 4 a 8 kg en la ración diaria de los caballos, hasta un tercio de la ración de los rumiantes, pero no debe superar el 15-20 % en la alimentación de cerdos y aves de corral.

4.4 Composición nutricional de la avena como FVH

A consideración de SRL (2021), el forraje verde hidropónico (FVH) obtenido a partir de semillas de avena ha demostrado tener un perfil nutricional superior en ciertos aspectos al compararse con el grano seco. A los 13 días de crecimiento y con una altura aproximada de 10 cm, el FVH de avena presenta un contenido significativamente mayor de proteína, lo cual es esencial para la alimentación animal.

De acuerdo con el análisis comparativo, la proteína bruta en el FVH alcanza un 15,0 %, frente al 8,7 % registrado en los granos secos, mientras que la proteína verdadera aumenta de 6,5 % a 12,8 %. Esta mejora se debe al proceso de germinación, que activa enzimas y transforma los nutrientes del grano, haciéndolos más disponibles y digestibles para los animales. Por otro lado, la fibra detergente ácida (FDA), que influye en la digestibilidad del forraje, también se incrementa en el FVH, pasando de 17,9 % en el grano a 27,9 % en el forraje. En contraste, el contenido de materia seca disminuye de forma notable: del 91,0 % en los granos a solo 32,0 % en el FVH, lo cual implica que el producto hidropónico tiene una mayor proporción de agua.

Además de su valor nutricional, el FVH de avena se considera un alimento limpio e inocuo, libre de hongos e insectos, lo que asegura su calidad sanitaria. Su consumo evita que los animales ingieran pasturas contaminadas o con presencia de hongos que interfieren en el metabolismo, lo que convierte al FVH en una opción segura y eficaz para sistemas intensivos de producción animal.

5. Palatabilidad del forraje en animales

5.1 Concepto de palatabilidad y su importancia

La palatabilidad puede ser definida como la aceptación de un alimento por parte de los animales en lo que se refiere a los aspectos del olor, sabor y textura. La idea de palatabilidad se emplea para aludir a la cualidad de un alimento que resulta agradable al paladar. Puede entenderse como el placer que el consumidor experimenta al ingerir un alimento o una bebida. De igual manera expresan que el estudio de la palatabilidad también es relevante en la alimentación del ganado y de las mascotas. La intención es que el pienso y el alimento balanceado provoquen al animal para conseguir un consumo sostenido en el tiempo (Porto & Ana, 2020).

5.2 Factores que determinan la palatabilidad

Los factores que intervienen en la definición del término palatabilidad el sabor, textura, el olor y apariencia. Además, la palatabilidad no solo depende de las cualidades del alimento, sino también de la experiencia previa y el estado metabólico del animal; esto incluyen las propiedades organolépticas de la dieta, la experiencia y antecedentes genéticos del animal, su estado fisiológico, las condiciones ambientales y el contexto social (FAO, 2004).

5.3 Relación entre palatabilidad y consumo voluntario

La palatabilidad es proporcional al placer que una persona experimenta cuando ingiere un alimento concreto. Por eso, no es sorprendente que no sólo se consuman los alimentos como fuente de nutrición, sino que también por el placer que aportan.

Se ha investigado en varios estudios la influencia de la palatabilidad sobre el apetito y sobre la ingesta de alimentos en seres humanos. A medida que aumenta la palatabilidad se produce un aumento de la ingesta de alimentos (Eufic., 2006).

5.4 Importancia de la palatabilidad en la alimentación animal

la palatabilidad es la característica que determina qué tanto le agrada a un animal su comida; además de ser un proceso fisiológico fundamental para que el organismo se mantenga saludable, donde obtenga la energía y nutrientes que necesita para funcionar correctamente, es también una experiencia placentera que involucra los sentidos, especialmente los sentidos del gusto y del olfato (NUPEC, 2025).

5.5 Evaluación de la palatabilidad en especies animales

Los animales también tienen en cuenta características como el sabor y aroma a la hora de alimentarse. Esta característica se conoce como palatabilidad. Existen varias formas para medir este parámetro y generalmente involucra el estudio de cómo el animal se comportará ante el producto por ejemplo la tasa de consumo, se mide la cantidad ingerida por el animal, tanto el tipo de alimento y de la forma en que se suministró, y se calcula un índice que dictará cuánto fue el consumo preferido por los animales participantes (Brf, 2019).

5.6 Influencia del tipo de forraje en la aceptación por parte del animal

El tipo de forraje influye significativamente en la aceptación animal, ya que los animales seleccionan los alimentos basándose en sus necesidades nutricionales, características físicas y capacidades fisiológicas. Por ejemplo, las aves frugívoras presentan diferencias en la tasa de adquisición de energía y nutrientes según el tipo de fruto consumido, lo que sugiere que la elección de forraje no es aleatoria, sino que está influenciada por factores como la disponibilidad y las características de los alimentos (CONICET, 2020).

6. Producción Pecuaria

6.1 Concepto y características de la producción pecuaria

De acuerdo con Americanos (1997), la producción pecuaria es una actividad agropecuaria que consiste en la cría, manejo y explotación de animales domesticables, con el propósito de obtener productos como carnes, leche, huevos, cuero y otros derivados para consumos humanos o comercialización.

Características de la producción pecuaria:

1. Finalidad productiva y económica

Su objetivo principal es generar alimentos y productos de origen animal, así como ingresos para las familias productoras

2. Diversidad de especies

- **Ganado mayor:** bovino, equino.
- **Ganado menor:** porcino, ovino, caprino.
- **Aves de corral:** gallinas, pavos, patos.
- **Otros animales:** abejas (apicultura), conejos (cunicultura), peces (piscicultura).

3. Relación con la agricultura

Muchas explotaciones combinan cultivos y ganadería, compartiendo recursos y aprovechando los residuos orgánicos como abono.

4. Origen ancestral

Surgió hace más de 10,000 años junto a la agricultura, reemplazando actividades nómadas como la caza, pesca y recolección.

5. Manejo técnico

Implica conocimientos sobre:

- Alimentación animal, Reproducción, Sanidad y bienestar animal, Manejo ambiental.

6.2 Problemáticas actuales en la producción pecuaria en zonas rurales

Según MEPROSA (2021) los sistemas de producción muestran deficiencias en el manejo de los hatos. Las principales deficiencias observadas son:

- Mal manejo de los recursos forrajeros; baja eficiencia de utilización y baja calidad de las pasturas, bajo nivel de aprovechamiento en épocas de abundancia de pasto y el sobrepastoreo en épocas de déficit; inadecuada o inexistente programación de reservas.
- Deficiente división de los potreros y distribución de las fuentes de agua.
- Bajo nivel de fertilidad de los hatos; debido a deficiencias nutritivas; agravado por el uso de un gran porcentaje de animales de sangre criolla o de bajo nivel de hibridez. La no eliminación de animales infértiles y la monta continua (servicio continuo) no permite el control de la eficiencia reproductiva y productiva.
- Falta de control sanitario del hato, con alta incidencia de parasitosis

6.3 Rol de la alimentación en la productividad pecuaria

La alimentación desempeña un papel clave en la productividad pecuaria, ya que representa el principal costo de producción y puede influir directamente en la rentabilidad del sistema. Una nutrición adecuada permite reducir costos y mejorar la calidad de los productos. Además, el manejo nutricional del ganado impacta positivamente en la reproducción, el aumento de peso y la salud general del hato. Por eso, es fundamental que el productor conozca las necesidades alimenticias, vitamínicas y minerales del ganado, así como las características de los alimentos disponibles. Una buena planificación nutricional garantiza una mayor eficiencia y sostenibilidad en la producción pecuaria (MEPROSA, 2021).

6.4 ¿Cómo se utiliza el forraje verde hidropónico como alternativa alimenticia en la producción pecuaria?

Según Tórrez & Castro (2018), el FVH surge como una alternativa sostenible para la producción de alimento animal, permitiendo un manejo controlado que no genera impactos negativos en el medio ambiente. Su implementación contribuye a reducir efectos ambientales adversos y favorece la conservación o mejora de los recursos naturales, lo cual es fundamental dentro de un sistema agropecuario sostenible.

El FVH puede suministrarse en la dieta de todos los animales de la granja como un complemento nutricional, con múltiples ventajas:

- Disminuye costos y tiempo de producción de alimento.
- Reduce la compactación del suelo por sobrepastoreo.
- Evita la contaminación del agua.
- Mejora la reproducción y productividad de los animales.
- Es altamente palatable y digestible si se administra en porciones adecuadas.

Actualmente, el 95% del FVH se produce con agricultura de precisión, lo que puede ser un obstáculo para los pequeños productores.

6.5 ¿De qué manera contribuye el forraje verde hidropónico a la sostenibilidad de los sistemas ganaderos?

En la actualidad y en tiempos críticos de confinamiento la hidroponía es una alternativa viable que permite la producción de biomasa vegetal derivada a partir del desarrollo inicial de las plantas en las etapas de germinación y crecimiento anticipado de plántulas a partir de semillas factibles, es la siembra de cultivo sin suelo, este método facilita el desarrollo productivo, sostenible y ecológico de las plantas.

Los cultivos hidropónicos se desarrollan en un medio o sistema de cultivo alimentados por solución nutritiva que ofrece el alimento preciso para todo el período de crecimiento de los forrajes, libre de pesticidas y fungicidas con esto conseguimos alimentos saludables para la alimentación de animales domésticos. Además, permite utilizar estructuras simples o complejas para la producción de forrajes aprovechando espacios o áreas como terrazas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos tecnificados o tradicionales (AGROSAVIA, 2023).

9. Diseño metodológico

9.1. Tipo de investigación

De acuerdo con el método de investigación, el estudio es experimental, ya que se manipula intencionalmente el tipo de forraje hidropónico (avena y maíz) ofrecido a ovejas para evaluar su efecto en el rendimiento y la palatabilidad, bajo condiciones controladas.(Villarreal et al., 2023). Según el nivel de profundidad del conocimiento, el estudio es descriptivo y explicativo, ya que permitió caracterizar variables como el crecimiento y la composición nutricional del forraje, y además buscó establecer diferencias causales en el comportamiento de consumo entre ambos tipos de forraje (Pastorelli et al., 2024).

Según la clasificación de Sampieri (2006), el tipo de estudio es correlacional, ya que se analizaron las relaciones entre variables independientes (tipo de forraje) y dependientes (consumo y aceptación por parte de las ovejas). Con base en el tiempo de ocurrencia de los hechos, el estudio es prospectivo, pues los datos se recolectaron después de implementar el experimento; posee un enfoque transversal, ya que la medición de los resultados se realizó en un solo momento por cada ciclo de evaluación (Arly, 2022).

De acuerdo a la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación CINE (2013), esta investigación se ubica en el campo amplio 08: Agricultura, silvicultura, pesca y veterinaria, dentro del campo específico 081: Agricultura y campo y en el subcampo 0811: Producción agrícola y ganadera. En correspondencia con las líneas de investigación de la UNAN -Managua, el estudio se adscribe en el área de Ciencias Agropecuarias, dentro de la línea CAG-1: Sistema de producción agropecuaria y la sub línea 1: Sistema de producción agrícola (UNAN-MANAGUA, 2021).

La fase experimental se ejecutó en la comunidad Santa Rosa de Lima, municipio de San Isidro, Matagalpa.

Hablar de la ubicación del test de cafetería

9.2. Población y selección de la muestra

La población estuvo conformada por un total de 7 ovejas de raza Pelibuey, en dónde para la realización del ensayo se tomaron una muestra no probabilística por conveniencia de 6 ovejas, tomando en cuenta la accesibilidad y el tamaño de los animales seleccionados. Las ovejas seleccionadas fueron marcadas individualmente para su identificación y aislamiento durante su período de evaluación.

El estudio se llevó a cabo mediante la técnica test de cafetería durante un periodo de investigación de 7 días. De acuerdo con Balch (2022), una oveja adulta de 50kg puede llegar a consumir entre el 1.5% a 2% de su peso vivo al día, por lo tanto se ofreció una fracción pequeña de 200g de alimentos, óptima para los 15 minutos de duración de la prueba, se utilizó un comedero de dos depósitos, lo cual permitió determinar el grado de preferencia del animal hacia cada tipo de forraje brindado. Se consideró un tamaño del efecto del 38% (76g) y se tomó un promedio de las mediciones diarias lo cual detectó algunas diferencias en el consumo.

Se empleó un diseño experimental de bloques con medidas repetidas, donde cada animal constituyó un bloque y actuó como su propio control. De esta manera, todos los animales incluidos en la muestra recibieron todos los tratamientos, registrándose sus respuestas en cada repetición durante el período experimental.

9.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos para la recolección de datos

Por el método de investigación, el estudio es experimental, ya que se manipularon las variables correspondientes a los tipos de forraje (avena y maíz) en condiciones controladas para evaluar su rendimiento, y se observó de forma directa el comportamiento de los animales al consumir el forraje para determinar la palatabilidad. Las técnicas de recolección de datos incluyeron observación, recolección numérica y medible, y análisis bromatológico, lo que permitió evaluar el contenido proteico del forraje, cuantificar rendimientos y registrar el comportamiento tanto de los animales como del forraje.

El estudio se desarrolló en un mini invernadero casero de 4 m², con una altura de 2.5mts, lo que permitió una adecuada ventilación. La estructura se construyó con palos y maderas disponibles, fue cubierta con malla para reducir la intensidad lumínica y contó con una puerta de acceso para facilitar las labores de manejo. El techo de plástico para evitar la entrada de agua de lluvia y la incidencia directa de la radiación solar. El invernadero se orientó de este a oeste, lo que accedió a un mejor aprovechamiento de luz solar a lo largo del día, favoreciendo el crecimiento y desarrollo del forraje.

En el interior del invernadero se colocaron 6 estantes de 1.70mts de largo por 1.70mts de alto, donde se ubicaron las bandejas para la producción de forraje. En la parte baja de cada estante se instaló alambre de amarre que sirvió como soporte para las bandejas, lo que garantizó estabilidad y orden en la distribución.

Para el establecimiento del forraje se utilizaron 2 especies de grano: avena común, la cual se adapta a condiciones de temperatura moderada, y una variedad de maíz denominada Diriangén. Se emplearon en total 16 bandejas experimentales (8 con maíz y 8 con avena), con medidas de 52cm de largo, 30cm de ancho en una posición de 10 grados. Cada bandeja contenía con 1kg de semilla pregerminada, manteniendo una densidad y manejo homogéneo entre los tratamientos.

Antes de la siembra, las semillas fueron sometidas a un proceso de limpieza y desinfección. Inicialmente, se retiró todas las impurezas visibles y posteriormente fueron sumergidas en una solución de cloro diluido en agua durante 30 minutos para eliminar posibles contaminantes. Una vez que fueron desinfectadas las semillas se enjuagaron con abundante agua limpia y puestas en remojo por 24 horas, para favorecer su pre-germinación.

El riego se realizó de forma manual 2 veces al día, lo que garantizó condiciones uniformes de humedad y crecimiento. Durante los primeros 5 días, los riegos de la mañana se aplicaron únicamente con agua, mientras que por las tardes se utilizó una solución de 50g de cal por cada litro de agua, lo que permitió prevenir infecciones por hongos en la fase inicial del desarrollo del forraje, además después de dos días de su germinado se fertilizaron con 12-30-10, en donde se aplicó 1g por cada litro de agua cada tres días.

Para la evaluación del crecimiento del forraje, se midió la altura de los brotes día por día por medio con una regla, desde la base del tapete radicular, es decir desde la red de raíces que sostiene y nutre la planta, hasta la hoja más alta. Las mediciones se realizaron en cinco puntos diferentes por bandeja, y se calculó un promedio de altura por unidad experimental. Además, se observó el estado de las hojas y la compactación del tapete radicular, a fin de determinar el momento en que el forraje alcanzó la etapa apta para consumo. Según FAO, (2001) con una altura promedio de 20 cm a 30 cm con una productividad de 12 a 18 kilogramos de FVH producidos por cada kilogramo de semilla.

El rendimiento en materia fresca (MF) se determinó pesando todo el forraje cosechado de cada bandeja mediante balanza. Para obtener el peso neto, se registró primero el peso de la bandeja vacía y luego el peso con el forraje; la diferencia corresponde al peso de materia fresca. Este valor se pudo estandarizar a kg/m^2 , utilizando la fórmula $\text{kg/m}^2 = \text{peso total del forraje (kg)} / \text{área total de la bandeja (m}^2\text{)}$, considerando la superficie de la bandeja, para comparar el rendimiento por unidad de área.

Para complementar la evaluación productiva, se realizó un análisis bromatológico de las submuestras, determinando la composición nutricional en términos de proteína cruda (%PC) y fibra cruda (%FC). Las muestras fueron trasladadas al laboratorio en bolsas herméticas y se analizaron mediante métodos estandarizados: método Kjeldahl para proteína cruda y digestión ácida-alkalina para fibra cruda. Los resultados se registraron en planillas y se vincularon con los rendimientos de MF por bandeja y por m^2 para estimar la oferta nutricional del forraje.

La palatabilidad del forraje se evaluó mediante un test de cafetería con un grupo de seis ovejas, donde cada una se identificó con un código de 01 hasta 06. Cada animal recibió 200 g de forraje por especie durante 15 minutos, durante siete días consecutivos. Se registró el consumo voluntario y el rechazo mediante pesada del forraje antes y después del suministro, anotando también el comportamiento de los animales y sus preferencias hacia maíz o avena, además se ofrecieron los forrajes en recipiente idénticos, alternado la posición del forraje cada día. A partir de estos datos se calculó el porcentaje de consumo y la preferencia relativa del forraje por especie.

9.4. Confiabilidad y validez de los instrumentos

Para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos, todas las mediciones se realizaron a la misma hora, las balanzas se calibraron con pesos patrón y el riego se aplicó uniformemente. Las muestras para análisis bromatológicos se manipularon bajo condiciones que preserven su integridad y todos los procedimientos se aplicaron por duplicado siguiendo métodos oficiales de la AOAC. Se registró detalladamente cualquier incidente que pudiera afectar el desarrollo del forraje o la precisión de las mediciones.

9.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de datos

Para el desarrollo de esta investigación, se organizó una base de datos estructurada en Microsoft Excel 2021 para registrar cada una de las variables evaluadas según los objetivos del estudio. A continuación, se realizó una limpieza de los datos para eliminar errores, inconsistencias o datos faltantes en la información recolectada. Posteriormente se realizará un análisis estadístico descriptivo para describir las características principales de los datos. Las variables como altura promedio, biomasa kg/m² se analizaron mediante una prueba tipo T-Student para muestras independientes.

Para modelar el consumo y el número de bocados de FVH, se realizó un análisis de varianza usando un modelo lineal general y mixto, se declaró como efectos fijos a la especie, los días y la interacción especie × día y como efectos aleatorios a la oveja. Se probarán diferentes estructuras de varianza residual para descartar la falta de homogeneidad de varianzas dada por efectos fijos y el ajuste de los mejores modelos se selecciona en base a los Criterio de Información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). En todos los casos, se reportarán los valores promedio \pm 1 error estándar, y para determinar diferencias entre grupos o tratamientos, se usará la prueba de LSD Fisher ($p < 0.005$). Todos los análisis estadísticos se realizarán en el software InfoStat v. 19 (Di Rienzo Julio, 2003).

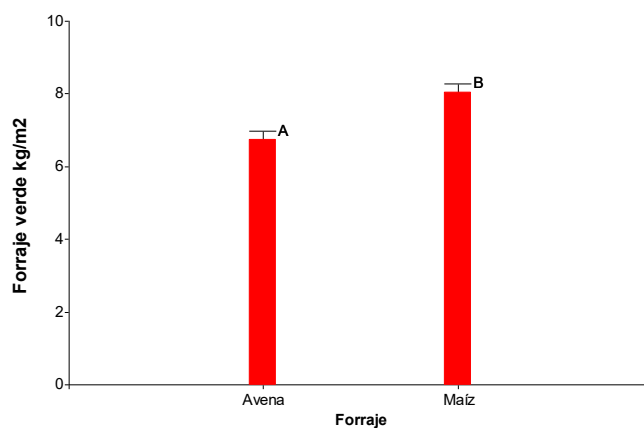
Análisis y discusión de resultados

La prueba de t Student indica diferencias estadísticas significativas en la biomasa promedio kg/m^2 en los forrajes verdes hidropónicos ($T= 3.52$; $P=0.0034$; Figura 2). Con un 95% de confianza los datos muestran que la diferencia de medias en la biomasa de los forrajes esta entre 0.51 y 2.09 kg/m^2 , siendo el valor promedio de 1.3 kg/m^2 . Estos resultados reflejan que las especies evaluadas no presentan el mismo desempeño productivo, mostrando variaciones claras en la cantidad de biomasa obtenida bajo el mismo sistema de cultivo.

Los resultados de este estudio muestra que la producción de biomasa fue superior a la reportada por otros autores ya que en nuestra investigación se obtuvieron 6.73kg/m^2 en avena y 8.03kg/m^2 en maíz, mientras que en el estudio de Albert et al, (2016) informó los valores menores de 4.96kg/m^2 y 4.64kg/m^2 , respectivamente. Estas diferencias se pueden deber a factores de manejo, que favorecen a una mayor producción de biomasa especialmente en el maíz. Además, en el estudio anterior la avena obtuvo más rendimiento que el maíz, mientras que en estos resultados ocurrió lo contrario, indicando que pequeñas variaciones cambian el rendimiento por m^2 .

Figura 1

Biomasa promedio de FVH de avena y maíz



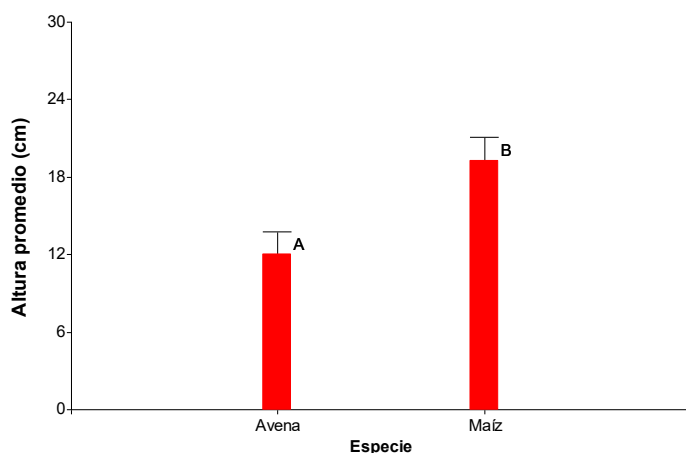
La prueba de t Student indica diferencias estadísticas significativas en la altura promedio de los forrajes

verdes hidropónicos ($T= 2.92$; $P=0.0111$; Figura 1). Con un 95% de confianza los datos muestran que la diferencia de medias en la altura de los forrajes esta entre 1.95 y 12.68 cm, siendo el valor promedio de 7.3 cm. Estos resultados evidencian que las especies evaluadas no crecieron de manera uniforme, lo que refleja no solo diferencias en su tasa de desarrollo, sino también en su respuesta fisiológica frente a las condiciones del sistema hidropónico

El estudio realizado por Tórrez & Tinoco, (2022) reportó altura promedio de 32.50 cm en maíz, valor significativamente superior al obtenido en nuestra investigación (19.29cm). Esta diferencia puede atribuirse a factores que influyan significativamente en el crecimiento. En contraste, el estudio de (Agrotendencia, 2022) registró una altura de 15.7cm, ligeramente mayor a la obtenida en nuestro estudio (11.98) pero dentro de un rango esperable para este tipo de forrajes. Estos resultados coinciden en que la altura del FVH puede variar entre estudios, pero confirman que ambos cultivos presentan un crecimiento consistente bajo condiciones hidropónicas.

Figura 2

Altura promedio de las plantas



Los resultados del análisis bromatológico mostrado en la tabla 1, nos dice que la avena y el maíz presentan comportamientos diferenciados en su composición nutricional. La avena destacó por su mayor contenido de humedad y fibra, características asociadas a brotes más tiernos y estructuras más delgadas. Por otro lado, el maíz presentó niveles superiores de carbohidratos, lo que sugiere una mayor acumulación de compuesto energéticos durante su desarrollo hidropónico. En proteína cruda y minerales las diferencias fueron leves, evidenciado que ambos cultivos comparten un perfil similar en estos componentes.

Esta investigación evidenció que la avena presenta mayores concentraciones de proteína, fibra y grasa en comparación con el maíz, lo que coincide parcialmente con lo reportado por Tórres et al, (2023), quienes también observaron altos niveles de nutrientes en avena, influenciados por factores agronómicos. En contraste, los hallazgos de Sánchez et al, (2019), sobre maíz hidropónico mostraron bajos contenidos de proteína y fibra, pero un alto porcentaje de humedad y carbohidratos, lo cuál difiere de nuestros resultados energéticos.

En conjunto, los estudios respaldan que la avena es superior en nutrientes estructurales, mientras que el maíz destaca por su valor calórico.

Tabla 1.

Resultados de análisis bromatológico

Parámetro	Maíz (%)	Avena (%)
Humedad	79,43	82,76
Proteína	3,50	3,94
Grasas	0,91	1,53
Cenizas	0,58	1,13
Carbohidratos	15,58	10,64
Fibra cruda	0,92	3,10
Calcio	0,07	0,06
Fósforo	0,12	0,11

El número de bocados promedios por forraje fue significativamente mayor en el maíz respecto a la avena ($F=126.45$; $P<0.0001$; Figura 4). El número de bocados promedio para el maíz fue 16.21 ± 1.4 , con un 95% de confianza, los datos muestran que la diferencia de bocados por FVH está entre 11.9 y 17.7 bocados, siendo su valor promedio 14.8. Esto implica que la diferencia en la palatabilidad o la estructura física del forraje tiene un impacto directo en el comportamiento de ingestión animal.

Los resultados obtenidos muestran que el maíz generó una mayor cantidad de bocados y esta tendencia coincide con lo descrito por Almario et al, (2023), quién señala que la frecuencia de bocados se relaciona con el tiempo dedicado al consumo y que al aumentar este, el tamaño de bocado tiende a disminuir. Del mismo modo, los hallazgos guardan coherencia con el estudio de Flores et al, (2017) donde se indica que alimentos con mayor densidad energética permiten una ingesta más prolongada antes de alcanzar la saciedad. En conjunto, ambos antecedentes respaldan que las características sensoriales, el

contenido energético y la palatabilidad influyen directamente en el número de bocados observado en cada tipo de forraje.

Figura 3

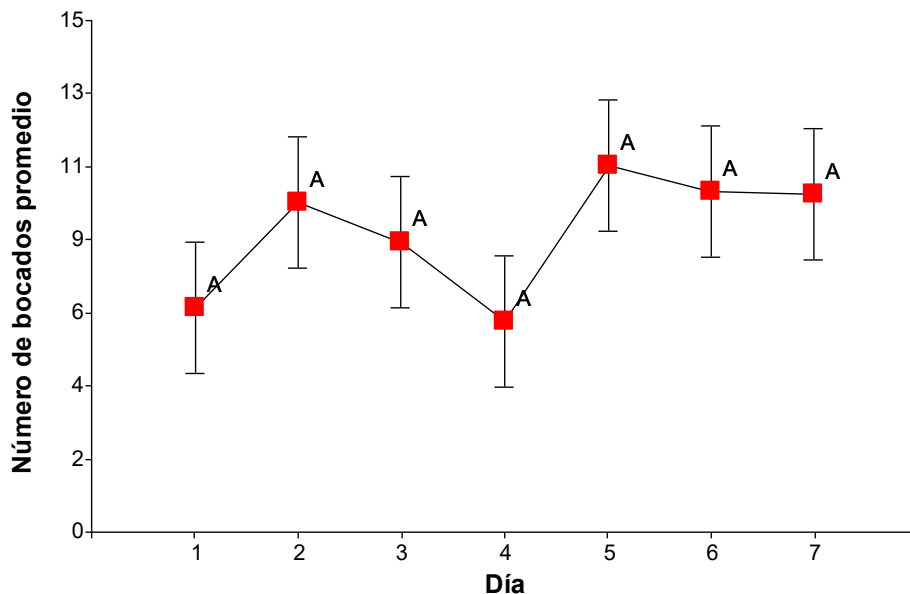


El número de bocados promedio por día no cambió durante el tiempo del experimento ($F= 1.05$; $P=0.4019$; Figura 5). Aunque se observaron variaciones entre días, estas fluctuaciones no fueron lo suficientemente marcadas para generar diferencias en el número de bocados. Los animales mantuvieron un patrón de consumo estable durante todo el periodo, lo cual indica que las condiciones del experimento no modificaron su comportamiento ingestivo diario.

Este resultado guarda relación con el estudio de Pérez et al, (2017), quienes identificaron una estabilidad similar en el comportamiento ingestivo de ovinos bajo distintos sistemas de alimentación. En ambos casos, los animales conservaron una ingesta constante a pesar de variaciones diarias, lo que evidencia su capacidad de adaptación y la aceptación del forraje ofrecido. Esta constancia puede considerarse un indicador indirecto de palatabilidad, especialmente en condiciones controladas. En conjunto, los hallazgos respaldan el uso del forraje hidropónico como una alternativa viable dentro de sistemas sostenibles de producción ovina.

Figura 4.

Número de bocados promedio por día

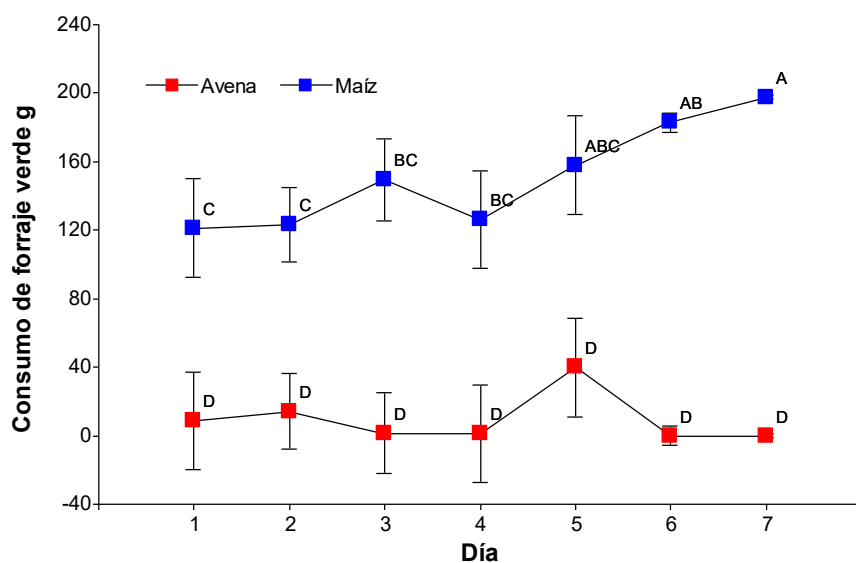


Las ovejas tuvieron un consumo promedio mayor en el forraje de maíz respecto al de avena y el consumo promedio cambio durante el transcurso del experimento ($F=4.1$; $P=0.0015$; Figura x). El consumo promedio de maíz fue de 151.2 g/d, pero mostró un leve incremento en 76.2 g al final del experimento, mientras que el consumo de forraje de avena varió muy poco, siendo el valor promedio 9.3 g/d.

El estudio de Uriozo José, (2016) se observó que el consumo de forraje hidropónico de maíz fue superior al de Avena, lo que podría explicarse por su mayor palatabilidad y aceptación por los animales. Estas preferencias también pueden relacionarse con sus características nutricionales tal y como explica Ustarroz & León, (2004) ya que el maíz posee mayor contenido de energía y menor fibra que la avena, lo que favorece un consumo mas elevado y eficiente aunque estudios previos de (Condoy et al., 2023) con forraje hidropónico de avena enriquecida con microorganismo confirma que, aunque la avena es bien aceptada y genera un consumo estable las diferencias nutricionales y sensoriales del maíz promueve una ingesta diaria más alta

Los resultados obtenidos muestran unas preferencias significativas del forraje verde hidropónico de maíz en contraste con el bajo consumo de Avena. Es fundamental notar que las ovejas ya estaban familiarizadas con el maíz, mientras que la Avena es un alimento novedoso para estas; esto quiere decir que la avena necesitará un periodo de adaptación mas largo. Según Nutrinews,(2015) al considerar el conocimiento que han sido expuesto todo su ciclo, ofreciendo aromas, textura y alimentos que les sean familiares es posibles que la preferencia del maíz se haya reforzado minimizado la neofobia. A pesar de la familiaridad la superioridad del maíz la sustenta su perfil nutricional, no obstante estudios previos muestran que la avena también es muy bien aceptada, conformado su potencial forrajero.

Figura 5.



10. Conclusiones

El maíz mostró un desarrollo más favorable que la avena dentro del sistema hidropónico, generando una mayor cantidad de forraje y alcanzando un crecimiento más notable. La avena también presentó un buen desempeño, pero el maíz reflejó una respuesta más vigorosa bajo estas condiciones.

La avena destacó por ofrecer una composición más rica en proteína y fibra, mientras que el maíz presentó un contenido energético superior. Ambas especies aceptaron características nutricionales valiosas, cada una sobresaliendo en componentes distintos.

Las ovejas mostraron una preferencia marcada por el maíz, manteniendo un consumo mas constante y elevado. La avena fue aceptada, pero en menor proporción, lo que evidencia una mayor atracción hacia el maíz por su textura y sabor.

Ambos forrajes demostraron buen potencial hidropónico. No obstante, el maíz resaltó por su mayor desarrollo y preferencia animal, mientras que la avena aportó cualidades nutricionales importantes. Esto confirma que ambas especies pueden complementar estrategias sostenibles en la alimentación animal.

11. Recomendaciones

Se recomienda a los productores considerar la palatabilidad y las preferencias de los cultivos destinados a la preparación de forraje. En este estudio, el consumo y rendimiento del maíz resultaron superiores al de la avena, además de ser más accesible en la zona. Asimismo, se sugiere revisar materiales y costos, adaptando el método de producción para facilitar su aplicación práctica.

Dado que a una alta densidad de siembra puede afectar la germinación y el desarrollo uniforme de los brotes, generando desperdicio de semillas, se aconseja implementar técnicas que favorezcan un crecimiento homogéneo.

Para futuras investigaciones, se recomienda establecer un periodo de adaptación a los animales al nuevo alimento, incrementar el tamaño de la muestra y proporcionar espacios más adecuados.

Se sugiere que los estudiantes exploren y realicen pruebas con otros forrajes, tanto comunes como aquellos aún no adaptados a la región. Esto facilitará la identificación de cultivos nutritivos, accesibles y atractivos para los animales, promoviendo la diversificación de las fuentes de alimento y el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles.

Referencias bibliográficas

- AGROSAVIA. (2023). *Producción de forraje verde hidropónico una alternativa viable para la alimentación animal: un espacio de aprendizaje en el proyecto Jóvenes Rurales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Agrotendencia. (2022). *La alternativa del Forraje Verde Hidropónico (FVH) ante el cambio climático*. <https://agrotendencia.tv/ganaderia/fvh-experiencias-de-produccion-ante-el-cambio-climatico/>
- Albert, G., Alonso, N., Cabrera, A., Rojas, L., & Rosthoj, S. (2016). *Evaluación productiva del forraje verde hidropónico de maíz, avena y trigo*. <https://scielo.iics.una.py/pdf/ccv/v6n1/v6n1a02.pdf>
- Almario, P. N., Delgado, M. J., Cruz, C. D., & Carvajal, T. C. (2023). *Palatabilidad relativa de leñosas forrajeras representativas del bosque seco tropical utilizando un método de cafetería*.
- Americanos, S. G. de la O. de E. (1997). *Manejo ambiental y desarrollo sostenible de la cuenca Río San Juan*.
- Arly, M. (2022). *Implementación de forraje verde hidropónico de Maíz en pollos de engorde de la línea Ross 308*.
- Balch, S. G. (2022). *Nutrición de ovinos. Manual de MSD*. <https://www.msdsvetmanual.com/es/manejo-y-nutrición/cuidado-preventivo-de-la-salud-y-cría-de-ovejas/nutrición-de-ovinos>
- Benavídez, L. K., Molina, R. L. ., Ruiz, B. R., & Serrano E. Ferrón. (2016). *PREFERENCIA DE LA OVEJA DE PELO PELIBUEY POR LAS PRINCIPALES ESPECIES ARBÓREAS FORRAJERAS DEL TRÓPICA SECO CENTROAMERICANO*. 5.
- Borja, T. C., & Perlará, R. M. (2009). *Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (Zea mays) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó,*

- Colombia. *Revista Bioetnia*, 6(2), 127–134.
- Brf, I. (2019). *Palatabilidad: Concepto fundamental para pet food*. Nutrición Animal.
- Caribe, O. de las N. U. para la A. y la A. O. R. de la F. para A. latina y el C. S. (2002). *Forraje verde hidropónico*.
- CINE. (2013). *Campos de la educación y la formación*. <https://cualificaciones.cr/mnc/images/articulos/referentes/CINE-F-2013.pdf>
- Condoy, M., Flores, F., Quintero, W., & Campos, N. (2023). *Impacto de forraje hidropónico y microorganismos eficientes en cuyes: Parámetros productivos, hematológicos y bioquímicos nutricionales Chimborazo y Cotopaxi son consideradas como las principales productoras de cuyes, ocupando que y suplementados con f.* 573–582. <http://www.scielo.org.bo/pdf/arca/v7n21/a7-573-582.pdf>
- CONICET. (2020). *El tipo de forraje influye significativamente en la aceptación animal, ya que los animales seleccionan los alimentos basándose en sus necesidades nutricionales, características físicas y capacidades fisiológicas. Por ejemplo, las aves frugívoras presentan*. NOTICIAS-TESINAS.
- Contreras, J. L., Tunque, M., & Cordero, F. (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>
- Di Rienzo Julio. (2003). *InfoStat Statistical Software*. https://www.researchgate.net/publication/283569516_InfoStat_Statistical_Software
- Eufic. (2006). *Los factores determinantes de la elección de alimentos*.
- EUROINNOVA. (2024). *Guía completa sobre el forraje: usos, beneficios y técnicas*.
- FAO. (2001). *Forraje verde hidropónico: manual técnico: TCP/ECU/066(A) “mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los centros de desarrollo infantil del INNFA.”* FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. <https://books.google.com.ni/books?id=CioBHAAACAAJ>
- FAO. (2022). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. *El*

Estado de La Seguridad Alimentaria y La Nutrición En El Mundo 2022.
<https://doi.org/10.4060/CC0639ES>

FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2004). Comportamiento productivo de ganado alimentado con ensilaje bajo condiciones de trópico seco. *Tecnologías y Prácticas Para Pequeños Productores Agrarios*, 1–12.

FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2019). *Manual técnico: Forraje verde hidropónico.*

Farm Credit. (2024). *Conoce los puntos positivos y las limitaciones de la hidroponía.*

Farms, S. F. (2023). *Comparación entre forraje hidropónico y forraje tradicional. información esencial.*

Flores, G. C. L., Moreno, M. A. G., Miranda, B. P., & Santos, S. L. V. (2017). Saciación vs saciedad: reguladores del consumo alimentario. *Revista Médica de Chile.*

Fujisaka, S., Holmann, F., Peters, M., Schmidt, A., White, D., Burgos, C., Ordóñez, J., Mena, M., Posas, M. I., & Cruz, H. (2005). Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas: Honduras y Nicaragua. *Pasturas Tropicales*, 27(2), 73–92. <https://hdl.handle.net/10568/3982>

Guerreño, O. J., Talavera, L. C., & Villalba, G. D. (2019). *Guía técnica para el cultivo del maíz.*

INIA. (2007). *Avena Forrajera INIA 904 - Vilcanota I.*
<https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/642/1/Trip-Avena-INIA904.pdf>

INTAGRI. (2017a). La Hidroponía: Cultivos sin suelo. In *Serie Horticultura Protegida.*

INTAGRI. (2017b). *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo | Intagri S.C.* La Hidroponía: Cultivos Sin Suelo. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>

ITIS, S. I. de I. T. (2024). *Avena sativa L. - Avena cultivada.*

López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., & Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en

- zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121–126.
- López, J. F. F. (2023). Hidroponía Cultivos alternativos , de bajo impacto ambiental y sostenible ¿ Qué es la Hidroponía ? Objetivos Metodología Conclusiones. *Cultivos Alternativos, de Bajo Impacto Ambiental y Sostenible*.
- Mendoza, A. (1989). *Forrajes en la producción animal*.
- MEPROSA. (2021). *Importancia de la alimentación en los sistemas de producción pecuaria*.
- NUPEC. (2025). ¿Qué es la palatabilidad? Descubre su importancia en la nutrición de tus mascotas. *Nueva Tecnología En Alimentación S.A. de C.V.*
- Nutrinews. (2015). *Palatabilidad y aprendizaje, herramientas de mejora productiva y del bienestar en rumiantes y porcino*. <https://nutrinews.com/palatabilidad-y-aprendizaje-herramientas-de-mejora-productiva-y-del-bienestar-en-rumiantes-y-porcino/#:~:text=Considerar el condicionamiento al que,de paso por el rumen>
- Pastorelli, G. V., Lauretta, T., & Attard, E. (2024). *Forrages hidropónicas para la producción ganadera: una revisión*.
- Pérez, P. R., J, R., & C, C. (2017). *Comportamiento ingestivo y ambiente ruminal de ovinos alimentados únicamente con una pastura en estabulación o a pastoreo*. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-48092017000300044
- Porto, J. P., & Ana, G. (2020). Palatabilidad. *Palatabilidad*.
- Ramos, A. C., & Barcos, A. D. (2004). Calidad del forraje y del heno. *Bovis*, 120, 55–64.
- Resendez, M. A., Carrillo, R. J., & Sarai, E. (2016). *Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente*.
- Rubira Gutiérrez, C. A. (2021). *Características de la canal y organometría de cabritos criollos con la suplementación de alimento balanceado y forraje verde hidropónico de maíz*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.

- SADER. (2015). *Hidroponía, una alternativa de cultivo*. | *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural* | *Gobierno* | *gob.mx*.
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hidroponia-una-alternativa-de-cultivo>
- Sampieri, H. R. (2006). *Definición del tipo de investigación a realizar: básicamente exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa*.
- Sánchez, L. A. J., Coox, C. D. A., Plaza, Á. R. M., & Bastidas, U. J. A. (2019). *Evaluación nutricional y bromatológica de germinado de maíz hidropónico para la alimentación complementaria en animales de producción*.
- Sharma, K., Gupta, G., & Grassland, I. (2020). *Hydroponics Technology for Green Fodder Production under Resource Deficit Condition*. September.
- SRL, E. (2021). *Valor nutricional Avena y Cebada*.
- Technoserve. (2024). *Ganadería Empresarial - TechnoServe*. Ganadería Empresarial.
https://www.technoserve.org/fight-poverty/projects/ganaderia-empresarial/?utm_source=chatgpt.com
- Tórres, N. O. P., López, G. J. R., Mora, L. M., & Secaira, A. R. I. (2023). Producción de avena en corte e hidropónica sembrada a diferentes dosis y tiempo de cosecha. *Production of Cut and Hydroponic Oats Sown at Different Doses and Harvest Times*.
file:///C:/Users/HP-15/Downloads/Vol-6-N-4_ofdjlw9m (1).pdf
- Tórrez, C. A., & Castro, C. S. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. *In Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*.
- Tórrez, V. J., & Tinoco, M. W. (2022). Manual práctico para la elaboración Manual práctico para la elaboración de Forraje Verde Hidropónico de Forraje Verde Hidropónico en invernadero no convencional. *Manual Práctico Para La Elaboración de FVH En Invernadero No Convencional*. <https://repositorio.una.edu.ni/4576/1/NL02V856.pdf>
- UNAN-MANAGUA. (2021). *LAS LINEAS Y SUB LINEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA UNAN - MANAGUA*.

<https://www.bing.com/ck/a?!&&p=a5b069559f0dd9bad8de381725e0f9d355ba9f1e5c4a1c586fc40a0479b4c020JmltdHM9MTc1NzM3NjAwMA&pntn=3&ver=2&hsh=4&fc lid=15cdada2-a0ba-6d13-0e27-bbb5a1de6cb0&psq=LAS+LINEAS+Y+SUB+LINEAS+DE+LA+INVESTIGACIÓN+UNAN+-+MANAGUA&u=a1aHR0cHM6L>

Uriozo José. (2016). *Alimentación de conejos Nueva Zelanda con forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays) y avena (avena sativa)*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/342ae94d-d459-4b5d-9cc4-11b0e99fe345>

Ustarroz, E., & León, M. (2004). UTILIZACIÓN DE PASTURAS Y SUPLEMENTACION CON GRANOS EN INVERNADA. In *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimento Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro Regional Córdoba*. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/57-pasturas_y_suplementacion.pdf

Valladares, C. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano. *Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 3*.

Vasyl, C. (2018). *Cultivo de avena: Condiciones y cuidados necesarios*. EOSDA.

Villarreal, D. M. C., Hueso, A. F. O., & Villa, A. P. M. (2023). Forraje verde hidropónico como alternativa alimenticia en pollos de engorde (*gallus gallus domesticus*). *Publicaciones e Investigación, 17*(1).

Villaseñor, H. R. (2024). *Guía: ventajas nutricionales del Forraje Verde Hidropónico. Requerimientos Para Producir FVH*.

Villaseñor, H. R. (2024). *guía : Qué es el forraje verde hidropónico*.

