



Review [Revisión]

FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO COMO ALTERNATIVA FORRAJERA
EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL †[HYDROPONIC GREEN FORAGE AS AN ALTERNATIVE FORAGE IN
ANIMAL FEEDING]Pedro Cisneros-Saguilán^{1*}, Patricia Cruz-Bautista²
and Manuel Hernández-Hernández³

¹Maestría en Producción Agroalimentaria. Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Pinotepa. Av. Tecnológico No. 1155, Sección Primera, Col. La Soledad, CP. 71602, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México. Email:

pedro.cs@pinotepa.tecnm.mx

²Licenciatura en Ingeniería Agronómica y Zootecnia. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Los Reyes de Juárez, CP. 75410, Puebla, México. Email:

patricia.cruz@correo.buap.mx

³Facultad Maya de Estudios Agropecuarios. Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Catazajá-Palenque Km. 4. CP. 29980, Catazajá, Chiapas, México. Email:

manuel.hernandezh@unach.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Animal feeding and nutrition constitute the main limitation in livestock farming in arid and semi-arid zones, because it depends to a large extent on imported concentrated feed. Hydroponic green fodder (FVH) represents an efficient and economical alternative to obtain food with high nutritional value for domestic animals. However, little has been used due to ignorance of the method to produce it and its benefits. **Objective.** To analyze the scientific information available on the agronomic, productive and nutritional attributes of HGF, and its potential as a forage resource in animal feed. **Methodology.** A bibliographic review was carried out based in the following databases: Scopus, NCBI, Springer, Science direct, Google Scholar, Redalyc, ResearchGate and other digital repositories, using keywords in Spanish and English, such as hydroponic green fodder, hydroponic technology, hydroponic food and alternative fodder. **Results.** The HGF production cycle is basically carried out in six stages: *i*) seed selection, *ii*) seed washing and disinfection, *iii*) seed hydration, *iv*) sowing and germination, *v*) growth, and *vi*) harvest. Biomass production increases progressively in relation to a higher seed sowing density. The optimum harvest period for forage is from 12 to 14 days after sowing. However, the volume and yield of production must be assessed in terms of the nutritional quality of harvested fodder. In prolonged harvest periods, the crude protein content increases, while the dry matter content decreases. In cattle and goats, partial diet supplementation with HGF improves milk production and composition, as well as the weight gain rate and feed ratio, due to increased feed intake and nutrients digestibility. In monogastrics, the total replacement of conventional feed with HGF affects feed intake and growth rate. **Implications.** More research is required to determine the adequate portion of HGF in the supplementation of animal diets, without affecting their productive performance, especially in the case of monogastrics. **Conclusion.** The HGF technology represents a viable and economical alternative to counteract the scarcity of fresh and nutritious food, especially in dry seasons of arid and semi-arid areas; as well as in urban or suburban areas where there is limited land area for conventional fodder production.

Key words: Hydroponic technology; biomass production; sowing density; digestibility; alternative fodder.

RESUMEN

Antecedentes. La alimentación y nutrición animal constituyen la principal limitante en la ganadería de zonas áridas y semiáridas, porque depende en gran medida de alimentos concentrados importados. El forraje verde hidropónico (FVH) representa una alternativa eficiente y económica para obtener alimento con alto valor nutricional para los

† Submitted December 19, 2022 – Accepted June 10, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4679>



Copyright © the authors. Work licensed under a [CC-BY 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Pedro Cisneros-Saguilán: <http://orcid.org/0000-0003-3176-9384>, Patricia Cruz-Bautista: <http://orcid.org/0000-0003-2320-5378>, Manuel Hernández-Hernández: <http://orcid.org/0000-0001-6057-6667>

animales domésticos. Sin embargo, poco se ha utilizado por desconocimiento del método para producirlo y sus beneficios. **Objetivo.** Analizar la información científica disponible sobre los atributos agronómicos, productivos y nutricionales del FVH y su potencial como recurso forrajero en la alimentación animal. **Metodología.** Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos, incluyendo Scopus, NCBI, Springer, Science direct, Google Scholar, Redalyc, ResearchGate y otros repositorios digitales, utilizando palabras clave en español e inglés, como forraje verde hidropónico, tecnología hidropónica, alimento hidropónico y forraje alternativo. **Resultados.** El ciclo de producción del FVH se lleva a cabo básicamente en seis etapas: *i*) selección de la semilla, *ii*) lavado y desinfección de la semilla, *iii*) hidratación de la semilla, *iv*) siembra y germinación, *v*) crecimiento, y *vi*) cosecha. La producción de biomasa incrementa progresivamente en relación con una mayor densidad de siembra de semilla. El periodo óptimo de cosecha del forraje es a partir de los 12 hasta los 14 días después de la siembra. Sin embargo, el volumen y el rendimiento de la producción deben ser valorados en función de la calidad nutricional del forraje cosechado. En periodos prolongados de cosecha, el contenido de proteína cruda aumenta, mientras que el de materia seca disminuye. En ganado bovino y caprino, la suplementación parcial de las dietas con FVH mejora la producción y composición de la leche, así como la tasa de ganancia de peso y conversión alimenticia, debido al aumento de la ingesta y la digestibilidad de los nutrientes. En monogástricos, la sustitución total del alimento convencional con FVH afecta el consumo de alimento y la tasa de crecimiento. **Implicaciones.** Se requieren más investigaciones para determinar la porción adecuada de FVH en la suplementación de las dietas de los animales, sin afectar su desempeño productivo, sobre todo para el caso de monogástricos. **Conclusión.** La tecnología del FVH representa una alternativa viable y económica para contrarrestar la escasez de alimento fresco y nutritivo, especialmente en épocas secas de zonas áridas y semiáridas; así como en zonas urbanas o suburbanas en donde existe limitada superficie de terreno para la producción convencional de forrajes. **Palabras clave:** Tecnología hidropónica; producción de biomasa; densidad de siembra; digestibilidad; forraje alternativo.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población a nivel mundial ha generado un incremento en la demanda de alimentos, incluidos los de origen animal, lo que genera alta presión sobre el ambiente, los recursos naturales y la biodiversidad (Avenidaño *et al.*, 2020). El progreso humano ha dependido de los productos y servicios de la ganadería al menos desde la aparición de la agricultura. La ganadería es fundamental en los países en desarrollo, en donde desempeña un papel vital en la mejora de la vida de millones de personas, al proporcionarles un suministro suficiente y confiable de carne, leche, huevos y productos lácteos. Asimismo, contribuye a la obtención de ingresos y a la creación de empleos, reforzando los activos que los hogares rurales utilizan para subsistir (FAO, 2018).

La alimentación y nutrición constituyen la principal limitante en la producción animal, principalmente en zonas áridas y semiáridas, que se consideran terrenos marginales para el desarrollo de la ganadería, debido a la escasez de lluvia, alta evaporación, y suelos y aguas de riego de baja calidad (López-Aguilar *et al.*, 2009; Laguna-Gómez, 2018). Además, la ganadería extensiva se basa en el pastoreo de los animales en pastizales, tanto naturales como inducidos, así como en terrenos con residuos de cosechas (Alvarado-Ramírez *et al.*, 2018). Sin embargo, debido a las condiciones climáticas adversas, la disponibilidad de forraje escasea en la época invernal y sequía, resultando insuficiente en determinados momentos fisiológicos críticos del animal (Birgi *et al.*, 2018). Así, la eficiencia de la producción y reproducción del ganado se ve gravemente afectada por la falta de

disponibilidad de forraje de alta calidad (Bouadila *et al.*, 2022). Por ello, la alimentación animal depende en gran medida de alimentos concentrados importados a pesar de ser costosos y poco accesibles, producidos a partir de cultivos básicos como el maíz, creando competencia por alimento entre el ganado y los humanos (Arif *et al.*, 2023). En este contexto, es necesario evaluar otras estrategias para alimentar al ganado con base en recursos sostenibles potenciales para la producción ganadera, incluyendo subproductos agrícolas y forrajes alternativos con menor presión sobre los recursos agua y suelo en su proceso de producción (Farghaly *et al.*, 2019; Avenidaño *et al.*, 2020).

La tecnología hidropónica surge como una alternativa a los métodos convencionales de producción de forraje que contribuya a una ganadería sostenible en las zonas áridas y semiáridas (Bouadila *et al.*, 2022). En particular, el forraje verde hidropónico (FVH) es un método de producción de alimento para los animales de granja que resulta propicio para evadir las principales dificultades encontradas en zonas áridas y semiáridas (López-Aguilar *et al.*, 2009). Representa una alternativa eficiente, económica y segura en la nutrición animal, ya que presenta alta palatabilidad, digestibilidad y aporta un excelente contenido nutricional, en términos de proteína, energía, vitaminas y minerales (Guevara *et al.*, 2018). Esta técnica consiste en la producción de biomasa obtenida mediante el crecimiento inicial de plántulas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas con alta tasa de germinación para producir forraje fresco, principalmente de cereales

como maíz, cebada, trigo, avena, arroz, sorgo y/o centeno (López-Aguilar *et al.*, 2009).

El FVH se desarrolla en un medio o sistema de cultivo alimentado por solución nutritiva que ofrece el alimento preciso para todo el período de crecimiento de los forrajes, libre de pesticidas y fungicidas, por lo que se obtienen alimentos saludables. La solución de nutrientes minerales permite incrementar la producción de biomasa por metro cuadrado, mejora la calidad nutricional y optimiza el tiempo de cosecha del forraje (Núñez-Torres y Guerrero-López, 2021). La producción del FVH puede llevarse a cabo en diferentes tipos de instalaciones con costos que varían según el grado de tecnificación de la infraestructura y la escala de producción. Además, se produce sin necesidad de suelo, ya que se cultiva principalmente en un medio acuoso, en invernadero y en condiciones controladas de temperatura y humedad, lo que facilita el desarrollo productivo, sostenible y ecológico de las plantas (Birgi *et al.*, 2018). Entre las principales ventajas que presenta el FVH se destaca el suministro constante de forraje durante todo el año, se reduce el desperdicio de agua, se obtiene una fuente alternativa de alto valor nutricional, hay una menor incidencia de enfermedades, entre otras (Tabla 1).

Considerando lo anterior, la producción hidropónica de forraje representa una tecnología alternativa eficaz para la producción ganadera sostenible. Sin embargo, a pesar de los beneficios nutricionales, económicos y ambientales que tiene el uso de la tecnología hidropónica para la producción de forraje, en muchas regiones no se utiliza por varias razones; entre estas el desconocimiento de su existencia, su valor nutritivo, su forma de uso o en definitiva la falta de interés por parte del productor o ganadero (Laguna-Gámez, 2018). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar la información científica disponible sobre los atributos agronómicos, productivos y nutricionales del forraje verde hidropónico y su potencial como recurso forrajero en la alimentación animal.

METODOLOGÍA

La revisión de literatura se desarrolló de forma sistemática, siguiendo los criterios y puntos básicos sugeridos por Snyder (2019), quien considera cuatro fases esenciales: 1) diseño de la revisión, 2) realización de la revisión, 3) análisis de la información y 4) redacción de la revisión.

En la primera fase se plantearon las preguntas: ¿Es realmente necesaria una revisión bibliográfica en este ámbito? ¿Qué tipo de revisión bibliográfica sería la más útil y aportaría la mayor contribución? Asimismo, se consideró a qué público podría interesarle más la revisión actual. De esta manera se determinó el impacto que tendría en la comunidad científica

interesada en el tema. Una vez identificado el enfoque general de la revisión, que fue: “Uso del FVH como alternativa forrajera en la alimentación animal”, se procedió a elaborar una estrategia de búsqueda para identificar la bibliografía pertinente con la finalidad de cumplir con la calidad y el rigor de la revisión.

Tabla 1. Principales ventajas y limitantes en la producción de forraje verde hidropónico.

Ventajas	Limitantes
Uso mínimo de agua	Desinformación y falta de capacitación y/o conocimientos técnicos
Uso mínimo del suelo	Costo inicial elevado (instalación)
Periodo de crecimiento corto	Disponibilidad y precio de las semillas
Rendimiento alto y continuo	Bajo contenido de materia seca
Rico en nutrientes esenciales (proteínas, fibra, vitaminas y minerales)	Mayor riesgo de hongos e infecciones microbianas
Reduce la huella de carbono	Presencia de enfermedades transmitidas a través del agua
Uso mínimo de agroquímicos	Alto costo tecnológico
Impacto positivo en el ganado	
Mínimo uso de mano de obra	
Bajo costo	

Fuente: Ghorbel et al. (2022) y Vargas-Rodríguez (2008).

Los términos de búsqueda consistieron en palabras clave en español y sus equivalentes en inglés relacionadas directamente con la pregunta de investigación, estas fueron: “forraje verde hidropónico”, “tecnología hidropónica”, “alimento hidropónico” y “cultivo alternativo hidropónico”. Se excluyeron aquellos documentos que no eran específicos del tema de interés y no se aplicaban a la alimentación de animales de granja (bovinos, caprinos, ovinos, cerdos y conejos). Las bases de datos consultadas fueron: Scopus, NCBI, Springer, Science Direct, Dialnet, Google Scholar, Redalyc, SciELO y ResearchGate, principalmente. La búsqueda de información se realizó en los meses de agosto de 2022 a noviembre de 2022. De esta manera se recopiló un total de 96 documentos, incluyendo artículos científicos, revisiones de literatura, tesis, capítulos de libros, extensos y resúmenes de conferencias, manuales, informes técnicos y gubernamentales,

escritos mayormente en inglés (72%), seguido por español (23%) y portugués (5%).

Posteriormente se aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión: 1) año de publicación (2003 a 2023), 2) tipo de documento (artículos científicos y revisiones de literatura), y 3) idioma del documento (inglés y español). Adicionalmente, se revisaron las referencias de los documentos seleccionados para identificar otros que pudieran ser potencialmente relevantes. Así se seleccionaron 58 documentos clasificados según su contenido, lo que facilitó su inclusión en los diferentes subtemas planteados en la presente revisión de literatura: a) ciclo de producción del FVH, b) factores que afectan el rendimiento de biomasa del FVH, c) valor nutritivo del FVH y d) utilización del FVH en la alimentación animal (diferenciados por especie).

La segunda fase consistió en la realización de la revisión de literatura por etapas. En la primera etapa se analizaron únicamente los resúmenes de los artículos previamente seleccionados, subrayando y seleccionando la información más relevante. Posteriormente, se dio lectura completa a cada artículo antes de seleccionar la información de interés. Una vez hecho esto, se examinó cada artículo para asegurarse de que cumplieran con los criterios de inclusión.

En la tercera etapa es importante considerar cómo se utilizará los artículos para llevar a cabo un análisis adecuado. En este caso se utilizó un método normalizado (Snyder, 2019), extrayendo la información pertinente de cada artículo, en concordancia con el problema y propósito planteados en la presente revisión de literatura.

CICLO DE PRODUCCIÓN DEL FVH

A diferencia del sistema de producción convencional de forraje, que emplea prácticas de riego por goteo, la tecnología hidropónica utiliza un sistema de recirculación, reduciendo así el agua residual. Se ha observado que la producción hidropónica de forraje requiere sólo un 2-3% del agua utilizada en condiciones de campo para producir la misma cantidad de forraje. El FVH tiene un periodo de crecimiento corto (8 a 15 días) hasta alcanzar una altura de entre 20 a 30 cm, y no requiere tierras de cultivo de alta calidad, sino sólo un pequeño terreno para su producción (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012; Akkenapally y Lekkala, 2021).

La producción de FVH requiere de un control específico de la cantidad de agua y las soluciones nutritivas (Bedolla-Torres *et al.*, 2022). El ciclo productivo del FVH varía en función de la especie

forrajera y las condiciones de manejo empleadas. Este proceso implica la obtención del forraje en bandejas de policarbonato, en las cuales se coloca la semilla para germinarla mediante la aplicación (vía aspersión) de una solución nutritiva, sin la utilización de sustrato (Birgi *et al.*, 2018). Básicamente, el ciclo de producción del FVH se lleva a cabo en seis pasos principales (Figura 1), los cuales se describen a continuación:

Selección de la semilla

En el sistema de producción de FVH, el costo de la semilla representa alrededor del 85-90% del costo total de producción, que comprende la adquisición de semillas/granos limpios, sanos, intactos y de alta calidad (Shit, 2019); lo que garantiza el éxito de la producción de forraje al seleccionar semillas tanto de calidad genética (autenticidad, productividad, adaptabilidad) como fisiológica (nivel de madurez, poder germinativo y vigor) (Juárez-López *et al.*, 2013). Por ejemplo, la semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación de 90% para evitar pérdidas en rendimiento (Abarca-Reyes *et al.*, 2016). También es deseable que la semilla no contenga más del 12% de humedad; debe de estar libre de impurezas o semillas rotas (calidad física), no contaminadas con hongos (calidad sanitaria), ni presentar contaminantes como insecticidas o fungicidas (Zagal-Tranquilino *et al.*, 2016).

Lavado y desinfección de la semilla

La semilla seleccionada se lava a fondo durante 5 minutos con agua limpia hasta eliminar todas las impurezas, suciedad, así como aquellas semillas de baja calidad (Shit, 2019). Las semillas limpias se esterilizan sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio al 0.1-1.5% o de peróxido de hidrógeno al 1-2% durante 30 minutos, para controlar la formación de moho (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012). Sumergir las semillas por más tiempo en la solución desinfectante puede perjudicar la viabilidad de las mismas, causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Posteriormente, las semillas se lavan nuevamente de manera vigorosa con agua limpia para eliminar los restos de la solución desinfectante (Juárez-López *et al.*, 2013). También se limpian y desinfectan las charolas de siembra (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012).

Hidratación de la semilla

Esta etapa es fundamental para alcanzar el éxito en la producción de FVH, ya que asegura un crecimiento inicial uniforme del forraje (Juárez-López *et al.*, 2013). Consiste en el remojo o pregerminación de las semillas, ya que se procede a la imbibición de esta para activar el proceso de germinación (Abarca-Reyes *et*

al., 2016). Las semillas se remojan en agua fresca durante diferentes periodos (4 h, 8 h, 12-16 h o toda la noche, y 24 h), dependiendo de la dureza de la cubierta de la semilla. La temperatura del agua empleada para el remojo afecta la tasa de germinación, por lo que se recomienda una temperatura de remojo de 23°C (Shit, 2019). También se recomienda utilizar dos periodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas se sacan para escurrirlas durante una hora. Después, se sumergen nuevamente por 12 horas, lo que ayuda a una mejor oxigenación de las semillas (Juárez-López et al., 2013). Finalmente, las semillas deben escurrirse adecuadamente y colocarse en la bandeja de germinación.

Siembra y germinación

La densidad de semilla es un factor relevante en la producción de biomasa de FVH y varía según el tipo de semilla (Cerrillo-Soto *et al.*, 2012). Las densidades óptimas por metro cuadrado oscilan entre 2.2 a 3.4 kg de semilla. De acuerdo con Shit (2019), la densidad de semilla recomendada para la producción de forraje hidropónico de cebada, trigo o sorgo es de 4-6 kg/m², mientras que para el maíz es de 6.4-7.6 kg/m². Para la siembra, se debe distribuir una delgada capa de semillas pre-germinadas, la cual no debe ser mayor a 1.5 cm de altura o espesor. Las bandejas de siembra más utilizadas son de polietileno, ya que tienen la particularidad de no oxidarse, resistentes, fácil de lavar, livianas, reutilizables, y apilables. Antes de la siembra de las semillas, las bandejas deben perforarse al menos en uno de sus extremos para permitir el drenaje del agua de riego, evitando así la pudrición de las semillas (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012; Abarca-Reyes *et al.*, 2016).

Después de la siembra, las semillas se cubren con papel periódico o con plástico color negro para proporcionar oscuridad. Las semillas necesitan de ciertos factores externos para desarrollar su proceso de germinación; entre los más importantes son temperatura (18-25°C), humedad, oxígeno y oscuridad (Zagal-Tranquilino *et al.*, 2016). Durante el proceso de germinación de las semillas, se propicia una serie de cambios que le permiten a la plántula en pocos días captar energía luminosa y desarrollar su parte radicular y aérea con poco contenido de fibra y altos contenidos de aminoácidos en forma libre, para que puedan aprovecharse fácilmente por los animales (Vargas-Rodríguez, 2008). Una vez detectada la germinación de las semillas, se retira el papel o plástico y se rocían con agua frecuentemente para lograr el crecimiento inicial del forraje. Se debe mantener la luz solar/temperatura adecuadas (Indira *et al.*, 2020).

Crecimiento

Una vez que los brotes del forraje alcanzan una altura de al menos 2 cm, se procede a ubicar las bandejas en estructuras definidas (estantes metálicos o de madera) para la producción del FVH; con la finalidad que el forraje quede expuesto a la luz, temperatura y alta humedad relativa. Se recomienda ubicar las estructuras de producción dentro de un invernadero o casa sombra, para proporcionarles las condiciones ideales para el crecimiento del forraje, lo que evitará la exposición directa al sol o a una temperatura superior a los 32°C, debido a que las plántulas se queman y no logran crecer. Además, estas estructuras deben contar con un sistema de riego por aspersión de gotas finas, con la finalidad de humedecer el forraje de forma homogénea en todos sus niveles (Abarca-Reyes *et al.*, 2016).

El riego de las bandejas de crecimiento del FVH puede realizarse a través de micro aspersores, nebulizadores o con una bomba aspersora portátil; aplicando durante los primeros cuatro días, no más de 0.5 L/m² por día y hasta un máximo de 0.9 a 1.5 L/m². El volumen de agua de riego se aplica de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales del invernadero o casa sombra. Cuando aparecen las primeras hojas al cuarto o quinto día después de la siembra, se comienza a aplicar riegos con solución nutritiva, la cual dependerá de la disponibilidad de los fertilizantes, y esta se recomienda aplicar al 50% en el riego. En los últimos dos días antes de la cosecha, el riego se realiza únicamente con agua para eliminar residuos de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y raíces (Juárez-López *et al.*, 2013).

Cosecha del forraje

Cuando el forraje haya alcanzado una altura superior a los 20 cm, que es aproximadamente a los 15 días después de la siembra (dds), se encuentra en condiciones de ser cosechado y ofrecido a los animales (Abarca-Reyes *et al.*, 2016). La mayor riqueza nutricional de un FVH se alcanza a los 7 o 8 dds, por lo que el mayor volumen y el rendimiento deben ser valorados en función de la calidad nutricional; sin embargo, el periodo óptimo de cosecha del FVH recomendado es a partir de los 10 hasta los 14 dds. La cosecha del FVH comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja de producción, la cual comprende a las hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas germinadas y no germinadas (Juárez-López *et al.*, 2013). También se sugiere almacenar el forraje compactándolo en bolsas para su posterior aprovechamiento (Birgi *et al.*, 2018). No se recomienda combinar el FVH con otros forrajes hasta que los animales se hayan adaptado a este (Indira *et al.*, 2020).



Figura 1. Ciclo de producción del forraje verde hidropónico. Fuente: Elaboración propia con todas las fotografías como propiedad del primer autor.

FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE BIOMASA DEL FVH

Como se mencionó anteriormente, una característica relevante del FVH es la acelerada producción de biomasa en periodos cortos de tiempo, en comparación con el sistema de producción convencional de forrajes o a campo abierto (Morales-Sinchire *et al.*, 2020). El rendimiento de la biomasa se determina registrando el peso total de FVH cosechado de las charolas, incluyendo todo el material fresco; posteriormente, se calcula el equivalente de la producción de forraje por cada metro cuadrado de superficie (Cerrillo-Soto *et al.*, 2012). Sin embargo, la producción de biomasa del FVH depende de diversos factores, tales como el manejo (densidad de semilla, tiempo de cosecha, tipo de fertilización química u orgánica, entre otros), el genotipo o especie forrajera, el ciclo de producción del cultivo y las condiciones ambientales (Salas-Pérez *et al.*, 2010).

La densidad de semilla tiene un efecto importante sobre el crecimiento y el rendimiento de biomasa en las plantas, debido a que se pretende lograr la máxima relación planta/semilla y mantener una distribución constante entre las plantas dentro de la hilera (Mena-Lorenzo *et al.*, 2018). Además, influye en el mayor aprovechamiento de la radiación solar mediante una mayor cobertura foliar (Alvarado-Ramírez *et al.*, 2018). Al respecto, López-Aguilar *et al.* (2009) observaron que una densidad de semilla de 2.5 kg/m² en el FVH de maíz, incrementó significativamente el rendimiento de biomasa a 21.20 kg/m² y la producción de materia seca a 4.62 kg MS/m²; en tanto, una densidad de semilla de 1.5 kg m² produjo 12.95 kg FVH/m² y 2.68 kg MS/m². Asimismo, Sánchez *et al.* (2013) determinaron la influencia de tres densidades de semilla en el FVH de trigo (4.7, 5.2 y 5.7 kg/m²) y cebada (3.5, 3.9 y 4.3 kg/m²) sobre el rendimiento de biomasa, observando que la mejor densidad para trigo fue 4.7 kg/m², con una producción de biomasa de 30.2 kg/m²; mientras que para cebada fue de 3.5 kg/m², con rendimiento de 32.8 kg/m². En contraste, Naik *et al.*

(2017) no observaron diferencias por efecto de diferentes densidades de semilla (3.8, 5.1, 6.4, 7.6, 8.9 y 10.2 kg/m²) sobre el rendimiento total en base fresca y seca en FVH de maíz, que variaron de 4.94 a 5.14 kg y 0.60 a 0.68 kg, respectivamente. Sin embargo, los autores recomendaron una densidad de semilla de 7.6 kg/m² para obtener un rendimiento óptimo en todas las partes del forraje hidropónico de maíz.

En otro estudio, Cerrillo-Soto *et al.* (2012) evaluaron la producción de biomasa en FVH de trigo y avena en función de tres densidades de semilla (400, 600 y 800 g de semilla/bandeja de 40 × 40 cm) y dos tiempos de cosecha (10 y 12 días). Los autores determinaron que, en ambos cultivos, la producción de biomasa aumentó progresivamente a 30 y 15 kg/m², respectivamente, en relación con la densidad de siembra de 800g de semilla/bandeja; cosechado a los 12 días. Para el caso del FVH de maíz, Zagal-Tranquilino *et al.* (2016) reportaron un mayor rendimiento cuando fue cosechado a los 13 días, que a los 14 días después de la siembra (3.51 kg vs 2.53 kg). De forma similar, Morales-Rodríguez *et al.* (2012) encontraron que la conversión de 1 kg de FVH de maíz a biomasa en base húmeda fue mejor al día 12 de cosecha (5.20), en comparación con los días 8 (4.56) y 10 (4.93) después de la siembra.

Por otra parte, entre los factores que afectan el rendimiento y la calidad de los cultivos en los sistemas de producción hidropónicos, la solución nutritiva y/o fertilización aplicada se considera uno de los más importantes. Lo anterior debido a que el suministro de elementos esenciales en la producción de FVH se realiza a través de la solución nutritiva para garantizar el óptimo crecimiento del forraje (Salvador-Castillo *et al.*, 2022). En este sentido, Salas-Pérez *et al.* (2010) evaluaron el efecto del tipo de fertilización: orgánica (té de composta) vs química (solución nutritiva), sobre el rendimiento del FVH de maíz, determinando que el rendimiento de biomasa fresca (27.22 kg/m²) y materia seca (18.67 kg/m²) del FVH fertilizado de forma orgánica fue similar al rendimiento obtenido con la fertilización inorgánica (26.41 y 18.82 kg/m², respectivamente). Estos mismos autores observaron que el rendimiento del FVH de maíz respecto a la conversión semilla-forraje fresco y al peso fresco no mostró diferencias atribuibles al tipo de solución nutritiva utilizada (té de vermicomposta vs té de composta vs solución química) (Salas-Pérez *et al.*, 2012). Los resultados indican la viabilidad del uso de abonos orgánicos como alternativa sustentable en la producción de FVH; además, al ser un producto procedente de la ganadería (estiércol), reduce los costos y el impacto ambiental (Núñez-Torres y Guerrero-López, 2021).

Por su parte, Ramírez y Soto (2017) observaron un efecto nulo de dos soluciones nutritivas a base de

minerales (baja y alta) sobre el rendimiento en peso fresco, materia seca y eficiencia de conversión del FVH de maíz, cuyos valores variaron de 15.27 a 15.37 kg/m², 1.35 a 1.36 kg/m², y 5.08 a 5.11 kg/kg⁻¹, respectivamente. Otro estudio reportó que la concentración de nitrógeno tiende a incrementar el rendimiento del FVH de trigo, ya que la solución nutritiva con una relación NO₃⁻/NH₄⁺ de 12/0 produjo el valor más alto de rendimiento de forraje fresco que fue de 19.9 kg/m² con 168.1 mg·L⁻¹ de N (Maldonado-Torres *et al.*, 2013). De acuerdo con los autores citados, la relación que guardan los diferentes nutrientes dentro de la solución nutritiva incide en la productividad de los cultivos debido a que interactúan tanto aniones como cationes. Así mismo, Valverde-Lucio *et al.* (2018) determinaron un efecto significativo del tipo de dosis nitrogenada (1, 2 y 3 g/L de agua) sobre el rendimiento de biomasa del FVH de maíz blanco, maíz amarillo y sorgo, donde el mayor rendimiento obtenido fue para el maíz amarillo (6.4 kg/bandeja) y blanco (6.3 kg/bandeja) con la dosis 1 g/L, mientras que el sorgo tuvo un rendimiento de 3.9/bandeja con la dosis 3 g/L. Por el contrario, Salvador-Castillo *et al.* (2022) no encontraron diferencias en el rendimiento de biomasa fresca del FVH de avena y cebada, muestreado a los 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días después de la siembra, al usar dos soluciones nutritivas con diferente relación NO₃⁻/NH₃⁺ (7.0/1.4 y 7.3/0.7); sin embargo, se observó que el rendimiento incrementó conforme aumentó el tiempo de muestreo. Se ha informado que el contenido de nitrógeno en el FVH es mayor a edades tempranas (10 días); es decir, con el incremento en la edad, las partes estructurales y de acumulación como tallo y pecíolos, que son más pobres en nitrógeno, se tornan preponderantes, por lo que las necesidades de ese elemento para la síntesis de biomasa son menores (Vargas-Rodríguez, 2008). Por otra parte, el azufre, junto con el nitrógeno, constituyen elementos estructurales para la nutrición de las plantas, y cuya función en el metabolismo es la de acompañar a los elementos estructurales principales (carbono, hidrógeno y oxígeno) para formar compuestos específicos como aminoácidos y fosfolípidos. Por ello, Quispe *et al.* (2016) determinaron la influencia de los niveles de azufre como aditivo en la productividad del FVH de cebada, observando que la producción de biomasa presenta una mejora sustancial con el incremento de los niveles de azufre en la solución nutritiva.

Dentro de los factores importantes para la producción de FVH incluyen el genotipo y/ especie forrajera, por lo que su evaluación permite identificar aquellas con el mayor potencial de rendimiento. Se han utilizado diferentes especies forrajeras para producir FVH, entre ellas gramíneas y leguminosas (Núñez-Torres y Guerrero-López, 2021). En su estudio, Vargas-Rodríguez (2008) observó un mayor rendimiento de

biomasa para el FVH de sorgo negro forrajero (21.65 k/720 cm²), seguido del maíz (17.20 k/720 cm²) y el arroz (14.35 k/720 cm²); sin embargo, el porcentaje de MS fue de 11.48, 11.54 y 15.82%, respectivamente. Para el caso del FVH de cebada, la producción obtenida a los ocho días fue de 3.8 kg/charola (Romero-Valdez *et al.*, 2008). Morales-Sinchire *et al.* (2020) compararon la producción de biomasa fresca y seca entre el FVH de trigo y avena, obteniendo valores medios de 23.57 y 3.10 kg/m², y 13.23 y 1.39 kg/m², respectivamente. De la misma manera, Al-Karaki y Al-Hashimi (2012) determinaron rendimientos promedio respecto al forraje verde y seco en el FVH de alfalfa, cebada, caupí, sorgo y trigo de 194, 200, 217, 145 y 131 ton/ha, y 15.9, 34.0, 32.6, 27.6 y 22.9 ton/ha, respectivamente. Con base en estos resultados, los autores concluyeron que los cultivos de cebada y caupí mostraron una mejor producción de forraje en condiciones hidropónicas; asimismo, destacaron que el cultivo de cebada mostró un mejor uso eficiente del agua. Por su parte, Contreras *et al.* (2015) evaluaron el efecto de las asociaciones arveja-cebada y arveja-trigo en seis proporciones (0/100, 20/80, 40/60, 60/40, 80/20, 100/0) sobre el porcentaje de biomasa seca y orgánica; sin embargo, no observaron diferencias significativas en los resultados, que fueron en promedio de 17.47 y 89.13% y 17.85 y 91.33%, respectivamente.

VALOR NUTRITIVO DEL FVH

El valor nutritivo de los forrajes se relaciona con el tipo y cantidad de nutrientes disponibles por unidad de

tiempo, y varían con el grado y nivel de consumo, la tasa de digestibilidad y la eficiencia alimenticia, que dependen de las propiedades físicas y químicas del alimento. En este sentido, es importante conocer los nutrientes que estos aportan en términos de proteína, fibra, energía y minerales (López-Valoy *et al.*, 2012). No obstante, el valor nutricional de los forrajes está en función tanto de factores intrínsecos (especie, variedad y tejido vegetal) como extrínsecos (condiciones ambientales y de manejo agronómico) (Salas-Pérez *et al.*, 2012). El FVH, por su alto contenido en proteínas, puede utilizarse como complemento nutricional para diferentes especies animales (Núñez-Torres y Guerrero-López, 2021). Al respecto, se han realizado diversas investigaciones para determinar la composición proximal del FVH de diferentes especies forrajeras usadas comúnmente en la alimentación animal, que evidencian su alto valor nutritivo (Tabla 2).

En la tecnología hidropónica, el proceso de germinación del FVH induce varios cambios, como en la proteína de la semilla convertida en aminoácidos esenciales, los carbohidratos se transforman en azúcares y las grasas se alteran en ácidos grasos esenciales (Farghaly *et al.*, 2019). La especie forrajera más usada para producir FVH es el maíz por su alto contenido de carbohidratos solubles, alta digestibilidad, aceptabilidad por el animal; así como por su valor nutricional en materia seca y contenido de proteína cruda (Guevara *et al.*, 2018).

Tabla 2. Composición proximal del FVH en diferentes especies forrajeras usadas en la alimentación animal[§].

Especie forrajera	MS (%)	PC (%)	CE (%)	FDN (%)	FDA (%)	Referencias
Arroz	15.82	7.92	9.17	58.25	-	Vargas-Rodríguez (2008)
Avena	3.80	13.70	11.70	41.80	22.40	Salvador-Castillo <i>et al.</i> (2022)
Caupí	6.49	31.23	5.38	-	-	Naik <i>et al.</i> (2016)
Cebada	16.22	14.78	4.42	63.68	16.95	Quispe <i>et al.</i> (2016)
Cebada	3.80	11.10	9.60	35.70	19.20	Salvador-Castillo <i>et al.</i> (2022)
Leucaena	23.60	27.2	8.43	31.18	19.06	López-Valoy <i>et al.</i> (2012)
Maíz	2.82	18.25	-	68.06	43.02	Müller <i>et al.</i> (2005)
Maíz	21.80	15.80	6.90	-	28.50	López-Aguilar <i>et al.</i> (2009)
Maíz	-	12.41	2.07	70.14	12.83	Naik <i>et al.</i> (2017)
Maíz	-	19.91	1.19	-	-	Guevara <i>et al.</i> (2018)
Maíz	14.01	13.03	1.75	-	10.4	Zainab <i>et al.</i> (2019).
Maíz criollo	11.54	9.61	2.41	43.13	-	Vargas-Rodríguez (2008)
Maíz criollo	18.54	12.55	-	40.80	11.49	Salas-Pérez <i>et al.</i> (2010)
Maíz híbrido	18.45	13.11	-	41.28	12.85	Salas-Pérez <i>et al.</i> (2010)
Sorgo negro	11.48	10.47	6.54	66.66	-	Vargas-Rodríguez (2008)
Trigo	8.12	33.38	5.00	-	17.10	Sánchez <i>et al.</i> (2013)

MS: Materia seca, PC: Proteína cruda, CE: Cenizas, FDN: Fibra detergente neutra, FDA: Fibra detergente acida.

[§]Determinada en base seca.

En particular, la proteína cruda (PC) es un elemento importante que influye directamente en la productividad de los animales (Girma y Gebremariam, 2018), y los forrajes que contienen menos del 8% de PC en base seca son considerados de baja calidad (Alvarado-Ramírez *et al.*, 2017). Cerrillo-Soto *et al.* (2012) observaron que el contenido de PC del FVH de trigo aumenta desde un 15% a una densidad de 400g de semilla/bandeja, hasta un 17% a densidades de 600 y 800 g/bandeja. Por otra parte, observaron también que el FVH de avena disminuye hasta en un 27% su contenido de PC en una densidad de semilla de 800 g/bandeja, respecto al contenido observado con la densidad de 400 g/bandeja. Estos resultados fueron consistentes con los informados por Müller *et al.* (2005), quienes reportaron que el aumento de la densidad de semilla en el FVH de maíz incrementó los valores de PC, pero disminuyó los valores de FDN, FDA y lignina. Morales-Sinchire *et al.* (2020) compararon el contenido de PC de ambos cultivos hidropónicos frente al sistema de producción tradicional de cultivos, obteniendo un mayor porcentaje de PC (19.90%) en el trigo cultivado de forma convencional, mientras que el FVH del trigo y la avena tuvieron valores de PC de alrededor de 10%. Adicionalmente, los autores determinaron que la producción de FVH resulta ser más económica que la producción convencional, ya que se obtiene una relación beneficio/costo superior a 1.

En otro contexto, entre los factores extrínsecos que afectan la composición química de forrajes destaca el tipo de fertilización aplicada, ya sea orgánica o convencional (química). Salas-Pérez *et al.* (2012) demostraron que el tipo de fertilización afecta significativamente el contenido de MS y PC del FVH de maíz, obteniendo el mayor contenido de MS (18.24%) con fertilización orgánica a base de té de composta, mientras que la fertilización con té de vermicomposta y solución nutritiva química produjo contenidos de PC más altos (13.34 y 13.52%, respectivamente). En otro estudio se determinó que el tipo de fertilización, el genotipo y los días a la cosecha, afectan el contenido de PC en FVH de maíz híbrido y criollo (Salas-Pérez *et al.*, 2010). En este caso, el maíz híbrido presentó mayor contenido de PC con respecto al criollo (13.11 vs 12.55%), y la fertilización orgánica y química produjeron forraje con mayor PC (13.00 y 13.25%, respectivamente), en comparación con el riego a base de solo agua (12.23%); asimismo, se observó mayor contenido de PC cuando se cosechó a los 12 días, comparado a los 16 días (15.04 vs 10.63%). Salvador-Castillo *et al.* (2022) también evidenciaron que el contenido de PC en FVH de avena y cebada es mayor cuando se fertiliza con soluciones nutritivas, comparado al solo uso de agua potable en el riego; sin embargo, el FVH de avena tuvo mayores valores de PC, FDN, FDA y cenizas, que el FVH de cebada.

Zainab *et al.* (2019) reportaron que el contenido de PC en FVH de maíz tiene una tendencia creciente con el tiempo de germinación, siendo más alto en el 8° día que en el 2° día de crecimiento (13.03 vs 9.01%); en tanto, el contenido de MS disminuye del 34.74 al 14.01%, respectivamente. Resultados similares se encontraron para FVH de cebada (Fazaeli *et al.*, 2012), maíz forrajero (Naik *et al.*, 2012) y caupí (Naik *et al.*, 2016), reportándose que a medida que el periodo de crecimiento se prolonga, aumenta el contenido de PC, cenizas, extracto etéreo, FDN y FDA, pero la MS disminuye. El aumento en el contenido de PC puede atribuirse a la pérdida de peso seco, en particular a la síntesis de carbohidratos estructurales como la celulosa y la hemicelulosa, a través de la respiración durante la germinación (Zainab *et al.*, 2019). Así también, se ha observado que el nivel de proporción leguminosa/gramínea influye en el contenido de PC. Por ejemplo, Contreras *et al.* (2015) evidenciaron que la asociación de cultivos hidropónicos arveja-trigo obtiene mayor contenido de PC que la asociación arveja-cebada (24.46 vs 20.27%); sin embargo, el porcentaje de MS no varió entre ambas asociaciones (17.85 vs 17.47%).

La principal limitante para el consumo de forraje por los animales, es la presencia de compuestos antinutricionales (Alvarado-Ramírez *et al.*, 2018). La cubierta y el germen de las semillas contienen ácido fítico (myo-inositol hexafosfato), que se considera un metabolito secundario de amplia distribución en materiales vegetales, tales como granos de cereales, leguminosas, oleaginosas y algunos tubérculos (Ojeda *et al.*, 2012). Este compuesto tiene actividad antinutricional, debido a su capacidad de formar complejos insolubles con minerales y proteínas, convirtiéndolos en no asimilables por el organismo bajo condiciones fisiológicas (Martínez-Domínguez *et al.*, 2002). El principal efecto del ácido fítico es la formación de insolubles con minerales como el calcio y el hierro, que causan la absorción ineficaz en la sangre. Adicionalmente, se ha comprobado que el ácido fítico también genera una disminución en la digestibilidad de lípidos y almidón. Sin embargo, la germinación disminuye el nivel de ácido fítico. Además, las enzimas durante la germinación eliminan otras sustancias perjudiciales. Las enzimas digestivas de los germinados ayudan como catalizadores biológicos en la digestión de proteínas, grasas y carbohidratos (Girma y Gebremariam, 2018).

UTILIZACIÓN DEL FVH EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La producción de FVH es una alternativa para solucionar problemas de alimentación en los animales domésticos, ya que posee alto valor nutrimental para ser un suplemento alimenticio ideal en temporadas de escasez de alimento (Núñez-Torres y Guerrero-López,

2021). Por ello, en las últimas décadas, los forrajes hidropónicos han sido probados en la alimentación animal (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2022).

En ganado lechero el FVH de cebada mezclado con ensilado de maíz, concentrado, alfalfa y paja de sorgo, ha mostrado excelente aceptación (Romero-Valdez *et al.*, 2008). La suplementación de vacas lecheras con FVH mejora la producción y la composición de la leche, debido al aumento de la ingesta y la digestibilidad de los nutrientes. Al respecto, Bari *et al.* (2020) determinaron que la sustitución del 25% de concentrados por FVH de maíz aumenta hasta un 21% la producción de leche. También se observó que la eficiencia alimenticia (1.25 vs 1.63 kg MS/kg producción de leche y 0.76 vs 0.97 kg consumo total de nutrientes digeribles/kg de producción de leche), así como el contenido de sólidos totales (129.66 vs 127.62 g kg⁻¹), grasa (44.46 vs 42.88 g kg⁻¹) y cenizas (6.81 vs 6.54 g kg⁻¹) de la leche, es mayor en las vacas lecheras alimentadas con FVH. Lo anterior coincide con lo reportado por Naik *et al.* (2014), quienes observaron un aumento del 13.7% en la producción de leche para vacas alimentadas con FVH de maíz, respecto a aquellas alimentadas con forraje convencional (4.64 vs 4.08 kg/día). De igual forma, la tasa de conversión alimenticia de MS (2.12 vs 2.37), PC (0.29 vs 0.30), y TND (1.45 vs 1.52); así como la digestibilidad de PC (72.46 vs 68.86%) y fibra (59.21 vs 53.25%), son mejores en las vacas alimentadas con FVH. En el mismo contexto, Nugroho *et al.* (2015) evidenciaron que la suplementación con FVH de maíz al 7% en el ensilaje de maíz, aumenta la ingesta de MS, el consumo de energía y el consumo de nitrógeno; y según los autores también puede mantener la digestibilidad de los nutrientes y la producción de leche durante la lactancia tardía en vacas lecheras. En cuanto a la calidad de la leche, Agius *et al.* (2019) observaron que el contenido de grasa, el pH y algunos minerales como el Cu y Pb son más altos en muestras de leche de vacas Holstein–Friesian alimentadas con FVH de cebada, en comparación con leche de vacas alimentadas con forraje tradicional.

Por otra parte, Jediya *et al.* (2021) determinaron que el uso de FVH de maíz tiene un efecto beneficioso sobre el consumo de MS en terneros, por lo que se puede reemplazar la mezcla de concentrado hasta en un 75% sobre la base de proteínas. Asimismo, Rani *et al.* (2019) observaron que es posible reemplazar el alimento concentrado con FVH de maíz en base a MS a un nivel del 75%, sin ningún efecto sobre el rendimiento del crecimiento y la digestibilidad de los nutrientes en terneros cruzados. Por el contrario, Rajkumar *et al.* (2017) reportaron que la alimentación con FVH de maíz como sustituto parcial del alimento iniciador de terneros a base de proteína al 7%, mejora la ingesta de MS, la ganancia de peso corporal total y diaria, y reduce el costo por kg de ganancia de peso

corporal. Para el caso de FVH de cebada, Fazaeli *et al.* (2011) observaron un efecto nulo de la sustitución de la dieta convencional por FVH al 22.8% sobre el rendimiento productivo de terneros en finalización, excepto sobre el consumo de MS, que fue más alto para la dieta convencional. Sin embargo, los autores también reportaron que el costo del alimento aumenta cuando los animales se alimentan con la dieta a base de FVH; por lo tanto, económicamente el FVH de cebada no se recomienda en terneros mantenidos en corral.

En caprinos, la inclusión de 70 y 25% de FVH de maíz en la dieta incrementa significativamente la ganancia de peso, registrándose valores de 134.7 y 144.3 g día⁻¹, respectivamente (López-Aguilar *et al.*, 2009). Gebremedhin (2015) demostró que la inclusión del 20 y 40% de FVH de maíz y cebada a la dieta de cabritos mejora significativamente el consumo de MS (504.51 y 415.36 g/día, respectivamente), la eficiencia alimenticia (10.56 y 12.15%, respectivamente) y el aumento de peso corporal (56.70 y 61.93 g/día, respectivamente), en comparación con una dieta tradicional a base de paja de mijo africano (*Eleusine coracana*). Resultados similares fueron informados por Arif *et al.* (2023), quienes encontraron que al alimentar a cabras con FVH de maíz y cebada se mejora la digestibilidad, rendimiento, crecimiento y conversión alimenticia. En cuanto a la producción y calidad de leche, García-Carrillo *et al.* (2013) determinaron que la suplementación de cabras con FVH de maíz al 30% conduce a una mayor producción de leche que con 15% de FVH (2.06 vs 1.68 L/animal/día). Además, las cabras alimentadas con la dieta de FVH al 30% producen leche con mayor contenido de caseína (3.06%), sólidos totales (12.35%), sólidos no grasos (8.12%) y proteína (3.68%), que son indicadores importantes de la calidad de este producto alimenticio. Otras investigaciones reportaron que la integración con FVH de avena en sustitución parcial del alimento tradicional en la dieta de cabras no afecta los parámetros bioquímicos y hematológicos (Marsico *et al.*, 2009; Arif *et al.*, 2023). Los resultados anteriores indican que el FVH puede contribuir a la conversión de sistemas convencionales de producción de caprinos al sistema orgánico y elevar la condición nutricional de los animales en zonas áridas y semiáridas, donde es común la subnutrición (López-Aguilar *et al.*, 2009; Arias *et al.*, 2019).

De manera similar, en ovinos se encontró que la alimentación con FVH de cebada reduce el consumo total de MS en un 61.5%, pero se incrementa la digestibilidad en un 10%, en comparación con una dieta a base de trébol egipcio (*Trifolium alexandrinum*) y concentrado. Además, la alimentación con FVH aumenta el recuento total de protozoos ruminales en aproximadamente un 31.3% y la mayoría de las actividades enzimáticas ruminales (45.0, 9.0 y 23.2 % para amilasa, celulosa y proteasa, respectivamente), en

comparación con el trébol, por lo que se recomienda suplementar con FVH para obtener un consumo óptimo de MS y alto rendimiento animal (Farghaly *et al.*, 2019). Ata (2016) comparó el rendimiento productivo de corderos Awassi alimentados con FVH de cebada frente a una dieta a base de granos de cebada, registrando un mayor peso corporal final (39.04 vs 36.36 kg), ganancia de peso total (20.52 vs 17.21 kg) y ganancia de peso diaria (226 vs 191 g) para los corderos alimentados con FVH. La conversión alimenticia también es mejor para estos corderos (2.44 vs 3.39); sin embargo, el consumo de alimento es mayor en corderos alimentados con la dieta de granos de cebada (0.65 vs 0.56 kg/día). En ovinos Pelibuey alimentados con FVH de trigo y cebada se reportó mayor ganancia de peso diaria (159 g/día⁻¹), en comparación con ovinos alimentados únicamente con alimento concentrado, donde la ganancia de peso diaria fue de 116 g/día⁻¹ (Sánchez *et al.*, 2013).

En el caso de cerdos, Adebiyi *et al.* (2018) encontraron que la inclusión de FVH de maíz al 50% en la dieta, mejora la tasa de conversión alimenticia (3.68 vs -8.69) y la digestibilidad de PC (66.27 vs 55.41) y fibra cruda (48.77 vs 34.82), comparado con la inclusión de FVH al 100%. Esta observación puede explicarse por el bajo consumo de MS de los cerdos; además, debido a que son monogástricos no son eficientes con una dieta basada en solo forrajes. Por su parte, Cisneros-Saguilán *et al.* (2020) reportaron que la inclusión de 45% de FVH de maíz en la dieta de cerdos en crecimiento, incrementa su comportamiento productivo en cuanto a la ganancia de peso diaria (508.06 g día⁻¹) y ganancia de peso total (42.67 kg); reportando que también se mejora la relación beneficio/costo a medida que se incrementa el porcentaje de FVH en la dieta.

En conejos, Morales *et al.* (2009) observaron que al reemplazar el alimento comercial por FVH de cebada al 30%, se afecta negativamente el consumo de alimento y crecimiento, pero no se perjudica la conversión alimenticia ni el rendimiento de la canal. En contraste, Fuentes-Carmona *et al.* (2011) determinaron que al reemplazar la dieta comercial con FVH de avena al 50%, no se afecta el consumo de alimento, tiempo de peso vivo a sacrificio, peso vivo final y rendimiento de la canal; haciendo posible su uso como recurso forrajero alternativo en la alimentación de conejos en etapa de engorda. Núñez-Torres *et al.* (2017) obtuvieron mejores resultados con una dieta a base de FVH de avena con solución nutritiva, en cuanto a la ganancia de peso diaria (35.09 g), índice de conversión alimenticia (5.5), peso promedio del animal al mercado (3136.6 g), asimismo lograron buena rentabilidad.

CONCLUSIÓN

Los resultados de las investigaciones abordadas en esta revisión, demuestran el potencial del FVH como fuente de forraje de alta calidad nutritiva, comestible y digerible para los animales domésticos, más aún para los rumiantes. Al sustituir parcialmente el alimento concentrado con FVH, es posible reducir los costos de producción. Los factores que influyen en la producción de biomasa se relacionan con el manejo agronómico, básicamente la densidad de semilla, tiempo de cosecha y tipo de fertilización; así también el genotipo o especie forrajera utilizada. Por su alto contenido de proteínas, el FVH se puede como suplemento nutricional para diferentes especies pecuarias, mejorando significativamente la producción y composición de la leche, ganancia de peso, consumo de alimento y digestibilidad de los nutrientes. Por lo tanto, esta tecnología representa una alternativa viable y económica para contrarrestar la escasez de alimento fresco y nutritivo, especialmente en épocas secas de zonas áridas y semiáridas; así como en zonas urbanas o suburbanas en donde existe limitada superficie de terreno para la producción convencional de forrajes. Sin embargo, se requieren más investigaciones para determinar el porcentaje de inclusión apropiado de FVH en dietas de animales domésticos sin afectar su desempeño productivo, principalmente en monogástricos.

Funding. There was no funding for the preparation of this review.

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of this review, approval from an ethics committee is not required.

Data availability. The data are available in the cited literature.

Autor contribution statement (CRediT). **P. Cisneros-Saguilán:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Supervision, Writing- original draft. **P. Cruz-Bautista:** Conceptualization, Data curation, Visualization, Writing- review & editing. **M. Hernández-Hernández:** Conceptualization, Formal Analysis, Data curation.

REFERENCIAS

Abarca-Reyes, P., Aguirre-Aguilera, C., Silva-Rubio, L., Mora-López, D. and Carrasco-Jiménez, J.,

2016. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. No. 321. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6483>
- Adebiyi, O. A., Adeola, A. T., Osinowo, O. A., Brown, D. and Ambl, J. W., 2018. Effects of feeding hydroponics maize fodder on performance and nutrient digestibility of weaned pigs. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), pp. 2415–2422. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603_24152422
- Agius, A., Pastorelli, G. and Attard, E., 2019. Cows fed hydroponic fodder and conventional diet: effects on milk quality. *Archives Animal Breeding*, 62(2), pp. 517–525. <https://doi.org/10.5194%2Faab-62-517-2019>
- Akkenapally, J. S. and Lekkala, S., 2021. Hydroponic fodder production: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(11), pp. 2435–2439. <https://www.thepharmajournal.com/special-issue?year=2021&vol=10&issue=11&ArticleId=9082>
- Al-Karaki, G. N. and Al-Hashimi, M., 2012. Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions. *International Scholarly Research Network*, 12(1), pp. 1-5. <https://doi.org/10.5402/2012/924672>
- Alvarado-Ramírez, E. R., Joaquin-Cancino, S., Estrada-Drouaillet, B., Martínez-González, J. C. and Hernández-Meléndez, J., 2018., *Moringa oleífera* Lam.: Una alternativa forrajera en la producción pecuaria en México. *Agroproductividad*, 11(2), pp. 106–110. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/134/112>
- Arias, R. O., Muro, M. G., Marino, B., Trigo, M. S., Diego, B. and Cordiviola, C. Á., 2019. Aporte nutricional del Forraje Verde Hidropónico en la alimentación de cabras cruza criollas x Nubian. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 118(1), pp. 133–140. <https://doi.org/10.24215/16699513e013>
- Arif, M., Iram, A., Fayyaz, M., El-Hack, M. E. A., Taha, A. E., Al-Akeel, K. A., Swelum, A. A., Alhimaidi, A. R., Ammari, A., Naiel, M. A. E. and Alagawany, M., 2023. Feeding barley and corn hydroponic based rations improved digestibility and performance in Beetal goats. *Journal of King Saud University – Science*, 35(2), pp.102457. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102457>
- Ata, M., 2016. Effect of hydroponic barley fodder on Awassi lambs performance. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 6(8), pp. 60–64. <https://iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/30014>
- Avendaño, C., Sánchez, M. and Valenzuela, C., 2020. Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(6), pp. 1029–1037. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Bari, M. S., Islam, M. N., Islam, M. M., Siddiki, M. S. R., Habib, M. R. and Islam, M. A., 2020. Partial replacement of conventional concentrate mixture with hydroponic maize and its effect on milk production and quality of crossbred cow. *Journal of Bangladesh Agricultural University*, 18(3), pp. 629–635. <https://doi.org/10.5455/JBAU.98462>
- Bedolla-Torres, M. H., Palacios-Espinosa, A., Palacios-López, O. A., Espinoza-Villavicencio, J. L., Contreras-Godínez, C. A., Ortega-Pérez, R. and Guillen-Trujillo, A., 2022. Efecto del forraje verde hidropónico suplementado con un probiótico sobre el comportamiento productivo y la calidad nutricional del pollo de engorda. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(23), pp. 1-9. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3905>
- Birgi, J. A., Gargaglione, V. and Utrilla, U., 2018. El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(3), pp. 316–323. <https://www.redalyc.org/journal/864/86458368004/>
- Bouadila, S., Baddadi, S., Skouri, S. and Ayed, R., 2022. Assessing heating and cooling needs of hydroponic sheltered system in mediterranean climate: A case study sustainable fodder production. *Energy*, 261(15), pp. 125274. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125274>
- Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Rivera-Ahumada, J. A., Guerrero-Cervantes, M., Ramírez-Lozano, R. G. and Bernal-Barragán,

- H., 2012. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*, 37(12), pp. 906–913. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33925592007>
- Cisneros-Saguilán, P., Aniano-Aguirre, H., Martínez-Martínez, R., Gómez-Vázquez, A., Maldonado-Peralta, M.A. and Ayala-Monter, M. A., 2020. Forraje verde hidropónico en dietas de cerdos en crecimiento en Pinotepa Nacional, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 24, pp. 247–253. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2375>
- Contreras, P. J. L., Tunque, Q. M., Alfonso, G. and 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), pp. 9–19. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10910>
- Farghaly, M. M., Abdullah, M. A. M., Youssef, I. M. I., Abdel-Rahim, I. R. and Abouelezz, K., 2019. Effect of feeding hydroponic barley sprouts to sheep on feed intake, nutrient digestibility, nitrogen retention, rumen fermentation and ruminal enzymes activity. *Livestock Science*, 228, pp. 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.022>
- FAO., 2018. World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. Rome. 222 pp. <https://doi.org/10.4060/ca1201en>
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H. A., Shoayee, A. A., Montajebi, N. and Mosharraf, S., 2011. Performance of feedlot calves fed hydroponics fodder barley. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, pp. 367–375. <https://jast.modares.ac.ir/article-23-1471-en.pdf>
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H. A., Tabatabayee, S. N. and Asghari-Tabrizi, M., 2012. Productivity and nutritive value of barley green fodder yield in hydroponic system. *World Applied Sciences Journal*, 16(4), pp. 531–539. [https://www.idosi.org/wasj/wasj16\(4\)12/9.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj16(4)12/9.pdf)
- Fuentes-Carmona, F. F., Poblete-Pérez, C. E. and Huerta-Pizarro, M. A., 2011. Respuesta productiva de conejos alimentados con forraje verde hidropónico de avena, como reemplazo parcial de concentrado comercial. *Acta Agronómica*, 60(2), pp. 183–189. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/27849
- García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P. and Romero-Paredes, J., 2013. Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 14(1), pp. 169–176. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000100015
- Gebremedhin, W. K., 2015. Nutritional benefit and economic value of feeding hydroponically grown maize and barley fodder for Konkan Kanyal goats. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 8(7), pp. 24–30. <https://www.iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol8-issue7/Version-2/E08722430.pdf>
- Ghasemi-Mobtaker, H., Sharif, M., Taherzadeh-Shalmaei, N. and Afrasiabi, S., 2022. A new method for green forage production: Energy use efficiency and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 363, pp. 132562. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132562>
- Ghorbel, R., Chakchak, J., Kosum, N. and Cetin, N. S., 2022. Hydroponic technology for green fodder production: concept, advantages, and limits. 6th International Students Science Congress Proceedings. <https://doi.org/10.52460/issc.2022.010>
- Girma, F. and Gebremariam, B., 2018. Review on hydroponic feed value to livestock production. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 7(4), pp. 106–109. <http://dx.doi.org/10.31254/jsir.2018.7405>
- Guevara, D. M. A., Orozco A. F. G. and Vargas, W. L. V., 2018. Establecimiento de banco de forraje hidropónico como suplemento alimenticio para ganado bovino del Casanare en época de sequía. *Revista Ingeniería y Región*, 20, pp. 40–47. <https://doi.org/10.25054/22161325.1936>
- Jediya, H. K., Vaishnava, C. S., Dhuria, R. K., Shende, K. A. and Barolia, Y. K., 2021. Effect of hydroponic maize fodder as partial substitute with concentrate mixture on nutrient intake of gir calves. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(2), pp. 170–172.

- <https://doi.org/10.22271/j.ento.2021.v9.i2c.8475>
- Juárez-López, P., Morales-Rodríguez, H. J., Sandoval-Villa, M., Gómez-Danés, A. A., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R., Aguirre-Ortega, J., Alejo-Santiago, G. and Ortiz-Catón, M., 2013. Producción de forraje verde hidropónico. *Revista Fuente Nueva Época*, 4(13), pp. 16–26. <http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/2126/1/Produccion%20de%20forraje%20verde%20hidroponico.pdf>
- Indira, D., Aruna, P., Swetha-Kanthi, S. and Kumar, K., 2020. Hydroponics as an alternative fodder for sustainable livestock production. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 5(2), pp. 87–92. <http://dx.doi.org/10.30574/wjarr.2020.5.2.0030>
- Laguna-Gámez, J. C., 2018. Árboles forrajeros, alternativas proteicas para mejorar la producción y calidad de la leche en bovinos doble propósito, Departamento de Matagalpa, Nicaragua, 2009-2011. *Revista Científica Ciencias Agrícolas, Tecnología y Salud*, 1(2), pp. 29–36. <https://revistarecientec.unan.edu.ni/index.php/recientec/article/view/180>
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B. and Rodríguez-Quezada, G., 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), pp. 121–126. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000200009
- López-Valoy, B., Cisneros-López, M., Valdivié-Navarro, M., Sotto-Agüero, V., Ramírez de la Ribera, J. and Savón-Lourdes, Sosa, W., 2012. Indicadores del valor nutritivo del Hidroforraje de *Leucaena leucocephala* para la alimentación de conejos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(2), pp. 1–12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63623405002>
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Cristóbal-Acevedo, D. and Ríos-Sánchez, E., 2013. Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), pp. 211–223. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>
- Marsico, G., Micera, E., Dimatteo, S., Minuti, F., Vicenti, A. and Zarrilli, A., 2009. Evaluation of animal welfare and milk production of goat fed on diet containing hydroponically germinating seeds. *Italian Journal of Animal Science*, 8(sup2), pp. 625–627. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s2.625>
- Martínez-Domínguez, B., Ibáñez-Gómez, M. V. and Rincón-León, F., 2002. Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52(3), pp. 219–231. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222002000300001&script=sci_abstract
- Mena-Lorenzo, J. L., Díaz-Pita, A. L. and Aguilar-Díaz, R., 2018. Efecto de la densidad de población en el desarrollo y distribución de la biomasa del girasol, variedad Caburé-15. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(1), pp. 23–35. <https://doi.org/10.19084/RCA17248>
- Morales, M. A., Fuente, B., Juárez, M. and Ávila, E., 2009. Short communication: effect of substituting hydroponic green barley forage for a commercial feed on performance of growing rabbits. *World Rabbit Science*, 17, pp. 35–38. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2009.668>
- Morales-Rodríguez, H. J., Gomez-Danés, A. A., Juárez-López, P., Loya-Olguín, L. and Ley de Coss, A., 2012. Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea maíz* L.) con diferente concentración de solución nutritiva. *Abanico Veterinario*, 2(3), pp. 20–28. <https://www.medigraphic.com/pdfs/abanico/av-2012/av123c.pdf>
- Morales-Sinchire, D. B., Jiménez-Álvarez, L. S., Burneo-Valdivieso, J. I. and Capa-Mora, E. D., 2020. Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), pp. e1386. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386
- Müller, L., Manfron, P. A., Santos, O. S., Madeiros, S. L. P., Haut, V., Neto, D. D., Fagan, E. B. and Bandeira, A. H., 2005. Produção y composição bromatológica da forragem hidropônica de milho, *Zea mays* L., com diferentes densidades de sementeira e datas de colheita. *Zootecnia Tropical*, 23(2), pp. 105–119. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-72692005000200002&script=sci_abstract

- Naik, P. K., Dhuri, R. B., Swain, B. K. and Singh, N. P., 2012. Nutrient changes with the growth of hydroponics fodder maize. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 29(2), pp. 161–163. <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9881.S1.004>
- Naik, P. K., Dhuri, R. B., Karunakaran, M., Swain, B. K. and Singh, N. P., 2014. Effect of feeding hydroponics maize fodder on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 84(8), pp. 880–883. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAnS/article/view/43275>
- Naik, P. K., Dhawaskar, B. D., Fataerpekar, D. D., Swain, B. K., Chakurkar, E. B. and Singhi, N. P., 2016. Yield and nutrient content of hydroponics cowpea sprouts at various stages of growth. *Indian Journal of Animal Sciences*, 86(12), pp. 1469–1471. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAnS/article/view/66045>
- Naik, P. K., Swain, B. K., Chakurkar, E. B. and Singh, N. P., 2017. Effect of seed rate on yield and proximate constituents of different parts of hydroponics maize fodder. *Indian Journal of Animal Sciences*, 87(1), pp. 109–112. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAnS/article/view/66923>
- Nugroho, H. D., Permana, I. G. and Despal., 2015. Utilization of bioslurry on maize hydroponic fodder as a corn silage supplement on nutrient digestibility and milk production of dairy cows. *Media Peternakan*, 38(1), pp. 70–76. <https://doi.org/10.5398/medpet.2015.38.1.70>
- Núñez-Torres, O. P., Lozada-Salcedo, E. E., Rosero-Peñaherrera, M. A., Cruz-Tobar, E. S. and Aragadvay-Yungan, R. G., 2017. Evaluación de avena hidropónica (*Arrhenatherium elatius*) en la alimentación de conejos en la etapa de engorde. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(1), pp. 59–71. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2311-25812017000100005
- Núñez-Torres, O. P., and Guerrero-López, J. R., 2021. Hydroponic foods: an alternative for the feeding of domestic animals. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 8(1), pp. 44–52. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2311-25812021000100006&script=sci_abstract&tlng=en
- Ojeda, A., Villavicencio, I., Linares, Z., 2012. Fósforo fítico y actividad de fitasa en formulas infantiles basadas en cereales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(4), pp. 370–374. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2012/4/art-8/>
- Quispe, C. A., Paquiyauri, Z., Ramos, Y. V., Contreras, J. L. and Véliz, M. A., 2016. Influencia de niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(1), pp. 31–38. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v27i1.11457>
- Rajkumar, G., Dipu, M. T., Lalu, K., Shayama, K. and Banakar, P. S., 2017. Evaluation of hydroponics fodder as a partial feed substitute in the ration of crossbred calves. *Indian Journal of Animal Research*, 52(12), pp. 1809–1813. <http://dx.doi.org/10.18805/ijar.B-3421>
- Ramírez, C. R. and Soto, B. F., 2017. Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense*, 41(2), pp. 79–91. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242017000200079
- Rani, K. J., Ally, K., Purushothaman, S. and Anil, K. S., 2019. The effect of feeding hydroponics maize fodder on growth performance and nutrient digestibility in cross bred calves. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(6), pp. 489–492. <https://www.entomoljournal.com/archives/2019/vol7issue6/Part1/7-6-21-298.pdf>
- Romero-Valdez, M. E., Córdova-Duarte, G. and Hernández-Gallardo, E. O., 2008. Producción de Forraje Verde Hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Universitaria*, 19(2), pp. 11–19. <https://doi.org/10.15174/au.2009.93>
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N. and Márquez-Hernández, C., 2010. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), pp. 355–360. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318502007>

- Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., Álvarez-Reyna, V. P., Meza-Velázquez, J. A., Velázquez-Martínez, J. R. and Murillo-Ortiz, M., 2012. Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia*, 37(3), pp. 215–220. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33922725009>
- Salvador-Castillo, J. M., Bolaños-González, M. A., Cedillo-Aviles, A. K., Vázquez-Chena, Y., Varela-de Gante, S. A. and Meza-Discua, J. L., 2022. Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* y *Hordeum vulgare*. *Terra Latinoamericana*, 40, pp. 1–16. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.996>
- Sánchez, C. F., Moreno-Pérez, E. C., Contreras-Magaña, E. and Morales-Gómez, J., 2013. Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso en borregos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(4), pp. 35–43. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.020>
- Shit, N., 2019. Hydroponic fodder production: An alternative technology for sustainable livestock production in India. *Exploratory Animal And Medical Research*, 9(2), pp. 108–119. https://animalmedicalresearch.org/Vol.9_Issue-2_December_2019/HYDROPONIC%20FODDER%20PRODUCTION.pdf
- Snyder, H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, pp. 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Valverde-Lucio, Y., Ayón-Villao, F., Orlando-Indacochea, F., Alcívar-Cobeña, J. L. and Gabriel-Ortega, J., 2018. Producción de tres variedades de forraje verde hidropónico con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(2), pp. 120–126. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942018000200008
- Vargas-Rodríguez, C. F., 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19(2), pp. 233–240. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>
- Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B. and Carrillo-Díaz, F., 2016. Hydroponics maize green forage production with watering every 24 hours. *Abanico Veterinario*, 6(1), pp. 29–34. <https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v6n1/2448-6132-av-6-01-00029.pdf>
- Zainab, S. M., Iram, S., Ahmad, K. S. and Gul, M. M., 2019. Nutritional composition and yield comparison between hydroponically grown and commercially available *Zea mays* L. fodder for a sustainable livestock production. *Maydica Electronic Publication*, 64(29), pp. 1–7.