

Forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) como alimentación de terneros: una revisión actualizada

Hydroponic green corn (*Zea mays*) fodder for feeding calves: an updated review

Janpier Saul Campozano Parrales¹, Marco Antonio Alcívar Martínez

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", Ecuador

Autor de correspondencia: marco.alcivar@espam.edu.ec

Recibido: 21/10/2025. Aceptado: 12/06/2025.

Publicado el 3 de julio de 2026.

Resumen

El forraje verde hidropónico (FVH) de maíz se ha planteado como una alternativa alimenticia de interés para terneros y bovinos jóvenes, sobre todo en sistemas donde la disponibilidad de forraje cambia por estacionalidad, costos de alimentación o limitaciones de tierra y agua. El objetivo de esta revisión fue sintetizar, de manera cualitativa, la evidencia publicada entre 2015 y 2025 sobre el uso de FVH de maíz en la alimentación de terneros, considerando variables nutricionales, productivas, metabólicas, económicas y de sostenibilidad. Se empleó una revisión narrativa estructurada con elementos adaptados de PRISMA 2020. La búsqueda consideró bases académicas como Scopus, PubMed, Web of Science y Google Scholar, además de registros complementarios identificados durante la depuración bibliográfica. Se priorizaron estudios experimentales y revisiones relacionadas con FVH de maíz en terneros, búfalos jóvenes, bovinos jóvenes o terneras, excluyendo literatura gris y documentos sin relación directa con la temática. Los resultados muestran que el FVH de maíz puede mejorar la digestibilidad, el aprovechamiento de nutrientes, la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia cuando se usa como sustituto parcial de concentrados o forrajes convencionales. También se identifican aportes en parámetros ruminales, metabolitos sanguíneos y costos de alimentación. Sin embargo, la evidencia sigue siendo heterogénea y limitada en evaluaciones ambientales y de largo plazo. Se concluye que el FVH de maíz es una alternativa prometedora, pero requiere mayor estandarización experimental y análisis integrales para recomendar su adopción en sistemas ganaderos de pequeña escala.

Palabras clave: nutrición de terneros, forraje hidropónico, digestibilidad, ganancia de peso, sostenibilidad.

Abstract

Hydroponic green maize fodder (HMF) has been proposed as a relevant feeding alternative for calves and young cattle, especially in systems where fodder availability is affected by seasonality, feeding costs, or land and water limitations. The aim of this review was to qualitatively synthesize evidence published between 2015 and 2025 on the use of hydroponic maize fodder in calf feeding, considering nutritional, productive, metabolic, economic, and sustainability-related variables. A structured narrative review was conducted using elements adapted from PRISMA 2020. The search considered academic databases such as Scopus, PubMed, Web of Science, and Google Scholar, together with complementary records identified during bibliographic screening. Experimental studies and reviews related to hydroponic maize fodder in calves, buffalo calves, young cattle, or heifers were prioritized, while gray literature and documents without direct relevance to the topic were excluded. The evidence suggests that hydroponic maize fodder may improve digestibility, nutrient utilization, weight gain, and feed efficiency when used as a partial substitute for concentrates or conventional forages. Contributions related to rumen parameters, blood metabolites, and feeding costs were also identified. However, the evidence remains heterogeneous and limited regarding environmental and long-term assessments. It is concluded that hydroponic maize fodder is a promising alternative, but further experimental standardization and integrated analysis are needed before recommending its adoption in smallholder livestock systems.

Keywords: calf nutrition, hydroponic fodder, digestibility, weight gain, sustainability.

Introducción

La producción pecuaria cumple un papel clave en la seguridad alimentaria, no solo porque aporta carne, leche y huevos, sino porque estos alimentos concentran proteína de alta calidad, aminoácidos esenciales y micronutrientes que no siempre se cubren con facilidad desde dietas basadas únicamente en vegetales. En términos prácticos, los alimentos de origen animal contribuyen al crecimiento, al desarrollo cognitivo y al mantenimiento de funciones fisiológicas básicas, sobre todo en niños, mujeres en edad reproductiva, personas mayores y poblaciones con dietas limitadas. Rueda García *et al.* (2024) destacan que la calidad nutricional de los alimentos terrestres de origen animal varía según especie y sistema productivo, pero mantiene una contribución importante en proteína y micronutrientes como vitamina B12, hierro y zinc. En la misma línea, Leroy *et al.* (2022) y Alders (2025) recuerdan que los sistemas pecuarios deben analizarse dentro de dietas saludables, sostenibles y culturalmente contextualizadas, evitando miradas simplistas que reduzcan la discusión solo a producción o emisiones.

Ahora bien, producir alimentos de origen animal también exige enfrentar varios desafíos. El cambio climático viene modificando la disponibilidad de agua, la calidad de las pasturas y la estabilidad de los sistemas de alimentación animal. Weindl *et al.* (2015) explican que los sistemas pecuarios deben adaptarse a escenarios climáticos cambiantes, porque la disponibilidad de forraje y la productividad pueden verse afectadas de forma directa. A ello se suma el efecto del estrés térmico sobre el desempeño productivo y reproductivo del ganado, señalado por Kebede (2016), así como la presión económica que puede generar el clima sobre sistemas mixtos agrícolas y pecuarios, analizada por Thamo *et al.* (2017). Runting *et al.* (2024) añaden que mantener esquemas productivos tradicionales sin ajustes técnicos puede acelerar la degradación de tierras y afectar la rentabilidad. Por eso, más que hablar de una sola solución, resulta necesario buscar alternativas alimenticias que sean eficientes, accesibles y sostenibles, especialmente para pequeños y medianos productores.

En este escenario aparece el forraje verde hidropónico (FVH), una tecnología que permite producir biomasa vegetal sin suelo, en espacios reducidos y con ciclos cortos. En el caso del maíz (*Zea mays*), el FVH puede obtenerse en pocos días y ofrecer un material fresco, palatable y con potencial nutricional para rumiantes jóvenes. Su interés aumenta cuando el productor enfrenta escasez de forraje, sequías, altos costos de concentrados o limitaciones de tierra. Además, desde una perspectiva de sostenibilidad, la producción controlada de forraje puede ayudar a reducir la dependencia de pasturas estacionales y a mejorar la disponibilidad de alimento durante el año. No obstante, su adopción no debe idealizarse: requiere inversión inicial, manejo higiénico, control de humedad, buena calidad de semilla y conocimiento técnico para evitar

pérdidas por hongos o variabilidad nutricional.

Los estudios recientes sobre FVH de maíz en terneros y bovinos jóvenes muestran resultados alentadores. Rajkumar *et al.* (2018) reportaron mejoras en consumo de materia seca, ganancia de peso, eficiencia alimenticia y costo por kilogramo de ganancia cuando el FVH se usó como sustituto parcial del alimento iniciador. Dadhich *et al.* (2019, 2020, 2021) abordaron su efecto sobre utilización de nutrientes, parámetros ruminales y economía de alimentación en terneros Rathí. Arif *et al.* (2023) evaluaron crecimiento, balance de nitrógeno, digestibilidad, hematología y metabolitos sanguíneos en terneros búfalos. Más recientemente, Benu *et al.* (2024) analizaron el reemplazo de ensilaje de pasto por FVH de maíz en terneros destetados Ongole x Brahman, mientras que Joshi *et al.* (2024) estudiaron el FVH de maíz con y sin probiótico en terneros Gir. En conjunto, estos trabajos permiten mirar el tema con optimismo, pero también muestran que la evidencia está dispersa y no siempre integra nutrición, desempeño productivo, salud, costos y sostenibilidad en una sola lectura.

Por esa razón, esta revisión busca analizar de forma crítica el potencial del FVH de maíz como alternativa nutricional y sostenible para la alimentación de terneros. El propósito no es presentarlo como una solución universal, sino ordenar la evidencia disponible, identificar beneficios, reconocer limitaciones y mostrar las brechas que todavía deben resolverse para generar recomendaciones útiles en sistemas ganaderos de pequeña escala y en contextos donde el acceso constante a forraje de calidad representa una dificultad recurrente.

Materiales y métodos

El estudio corresponde a una revisión narrativa estructurada, con apoyo de elementos metodológicos adaptados de la declaración PRISMA 2020. Se eligió este enfoque porque permite organizar la literatura disponible sin perder la posibilidad de discutir los resultados de manera interpretativa. En otras palabras, no se trató únicamente de reunir artículos, sino de revisar qué aporta cada fuente al análisis nutricional, productivo, económico y ambiental del FVH de maíz en terneros.

La búsqueda bibliográfica se orientó a publicaciones del periodo 2015-2025. Se consideraron bases como Scopus, PubMed, Web of Science y Google Scholar, así como documentos localizados a partir de búsquedas complementarias por título exacto. Los términos usados combinaron expresiones en inglés y español relacionadas con hydroponic maize fodder, hydroponic corn fodder, forraje verde hidropónico, terneros, calves, buffalo calves, young cattle, digestibility, growth performance, nitrogen balance, rumen parameters, blood metabolites, economics y sustainability. A partir de este proceso se identificaron 328 registros; luego de eliminar 55 duplicados quedaron 273 registros para cribado. Tras la revisión de títulos y resúmenes se excluyeron 215 registros, por lo que 58 textos pasaron a

evaluación de elegibilidad. Finalmente, se seleccionaron 8 estudios directamente relacionados con FVH de maíz en terneros, búfalos jóvenes, bovinos jóvenes o terneras para la síntesis cualitativa.

El flujo de identificación, depuración, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios se presenta en la Figura 1.

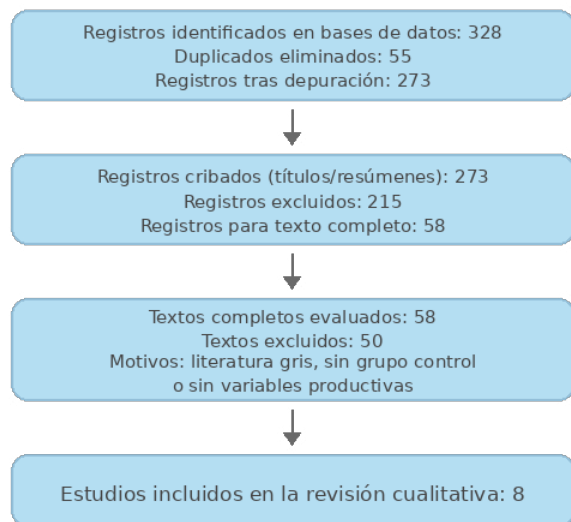


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de búsqueda y selección de estudios según PRISMA

Las cadenas de búsqueda empleadas en las bases de datos y su propósito metodológico se presentan en la Tabla 1.

Los criterios de inclusión priorizaron estudios revisados por pares, publicados entre 2015 y 2025, con acceso al texto completo o a información bibliográfica suficiente para verificar sus variables principales, que evaluaran FVH de maíz o forraje hidropónico de maíz en terneros, búfalos jóvenes, bovinos jóvenes o terneras. Los estudios incluidos debían reportar variables como consumo, digestibilidad, ganancia de peso, conversión alimenticia, balance de nitrógeno, parámetros ruminales, metabolitos sanguíneos, costos de alimentación o sostenibilidad. Se excluyeron estudios centrados únicamente en cabras, ovejas, aves, conejos o cebada hidropónica, salvo cuando aportaban contexto comparativo. También se excluyeron documentos sin metodología clara, literatura gris o referencias que no respaldaban directamente las afirmaciones del manuscrito.

Los criterios de inclusión y exclusión aplicados durante la depuración bibliográfica se detallan en la Tabla 2.

Tabla 1. Cadenas de búsqueda utilizadas para la revisión bibliográfica

Base de datos	Cadena de búsqueda	Propósito
Scopus / Web of Science	("hydroponic maize fodder" OR "hydroponic corn fodder") AND (calves OR "young cattle")	Identificar estudios experimentales sobre FVH de maíz en terneros o bovinos jóvenes.
PubMed / Google Scholar	("hydroponic maize fodder") AND (digestibility OR "nitrogen balance" OR "blood metabolites")	Localizar estudios sobre metabolismo, digestibilidad y salud animal.
Google Scholar / repositorios de revistas	("forraje verde hidropónico") AND (terneros OR "bovinos jóvenes")	Incorporar literatura regional y estudios publicados en revistas no siempre capturadas por una sola base.
Scopus AI / búsqueda por título	Arif 2023; Rajkumar 2018; Benu 2024; Joshi 2024; Dadhich 2019-2021	Verificar estudios directamente relacionados con FVH de maíz y terneros o bovinos jóvenes.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión aplicados en la revisión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos revisados por pares entre 2015 y 2025.	Tesis no publicadas, informes institucionales sin arbitraje o literatura gris.
Estudios sobre FVH de maíz en terneros, búfalos jóvenes, bovinos jóvenes o terneras.	Estudios enfocados solo en cabras, ovejas, aves o conejos.
Investigaciones con variables nutricionales, productivas, ruminales, sanguíneas, económicas o ambientales.	Publicaciones sin variables relacionadas con alimentación animal o desempeño productivo.
Estudios experimentales, revisiones o artículos con metodología explícita.	Opiniones, cartas al editor o documentos sin diseño metodológico verificable.
Fuentes con datos bibliográficos suficientes para citación académica.	Referencias incompletas o no verificables mediante datos bibliográficos suficientes.

Manejo y síntesis de la información

La información se organizó en una matriz bibliográfica que consideró autor, año, especie o categoría animal, tratamiento, variables evaluadas y principales resultados. Cuando una fuente reportó datos numéricos verificables en el resumen, en el texto completo o en la página de la revista, estos se incorporaron de manera concreta. Cuando la fuente aportó evidencia temática, pero no datos numéricos comparables, se utilizó únicamente para interpretación cualitativa. Esta decisión evitó atribuir porcentajes, valores o efectos productivos no comprobados en la fuente primaria.

Resultados

Caracterización general de la evidencia

La evidencia revisada confirma que el FVH de maíz ha sido estudiado principalmente como sustituto parcial de concentrados, alimento iniciador o forrajes convencionales. La mayoría de trabajos se concentra en terneros, terneros búfalos o bovinos jóvenes, con periodos experimentales relativamente cortos y diseños orientados a medir consumo, digestibilidad, crecimiento, conversión alimenticia o indicadores metabólicos. Este punto es importante porque el FVH no aparece como alimento único, sino como complemento o reemplazo parcial dentro de dietas formuladas.

En terneros cruzados, Rajkumar *et al.* (2018) evaluaron el uso de forraje de maíz producido por hidroponía como sustituto parcial del alimento iniciador. El estudio trabajó con 18 terneros destetados distribuidos en tres tratamientos y reportó diferencias significativas en consumo de materia seca, ganancia total de peso, ganancia diaria promedio y conversión alimenticia. Además, el costo por kilogramo de ganancia fue menor en el tratamiento con mayor sustitución, lo que sugiere un aporte productivo y económico cuando el FVH se maneja adecuadamente.

En terneros búfalos, Arif *et al.* (2023) evaluaron tres dietas: una dieta basal, una dieta basal con 20 % de harina de forraje hidropónico de maíz y otra con 40 %. El ensayo se realizó durante 100 días con 12 terneros búfalos de 8 a 10 meses de edad. Los autores analizaron crecimiento, balance de nitrógeno, digestibilidad, hematología y metabolitos sanguíneos, lo que convierte este trabajo en una de las fuentes más completas para discutir el efecto del FVH de maíz más allá del peso corporal.

Benu *et al.* (2024) aportan evidencia reciente en terneros destetados Ongole x Brahman al analizar el reemplazo de ensilaje de pasto por FVH de maíz. Este trabajo es útil porque no se limita a crecimiento, sino que considera consumo, digestibilidad, parámetros ruminales y metabolitos sanguíneos. En términos prácticos, ayuda a entender cómo responde el animal cuando el FVH reemplaza una fuente forrajera convencional y no solo una fracción del concentrado.

Digestibilidad y aprovechamiento de nutrientes

Los estudios orientados a digestibilidad coinciden en que el FVH de maíz puede favorecer el aprovechamiento de nutrientes cuando se incorpora de forma parcial y balanceada. Rajkumar *et al.* (2018) no observaron diferencias significativas en digestibilidad entre tratamientos, aunque sí reportaron mejoras productivas y económicas. En cambio, Dadhich *et al.* (2019) analizaron la eficiencia de utilización de nutrientes en terneros Rathi, mientras que Arif *et al.* (2023) incluyeron mediciones de digestibilidad y balance de nitrógeno en terneros búfalos. Estas diferencias muestran que el efecto del FVH puede depender del nivel de inclusión, la forma de presentación, la dieta base y la categoría animal.

Desde una lectura técnica, el FVH de maíz puede ser valioso por su palatabilidad y por el cambio nutricional que ocurre durante la germinación. Sin embargo, su alto contenido de humedad obliga a interpretar los resultados siempre en base de materia seca. Este punto debe manejarse con cuidado porque comparar FVH fresco con concentrados o forrajes secos puede llevar a conclusiones equivocadas si no se estandarizan las unidades de análisis.

Crecimiento y eficiencia alimenticia

El desempeño productivo es una de las dimensiones más reportadas. Rajkumar *et al.* (2018) encontraron mejores valores de ganancia diaria y conversión alimenticia en terneros alimentados con FVH como sustituto parcial del alimento iniciador. Joshi *et al.* (2024), en terneros Gir, reportaron que el uso de FVH de maíz, especialmente combinado con *Saccharomyces cerevisiae*, tuvo efectos significativos sobre peso corporal, ganancia diaria promedio y conversión alimenticia. Según estos autores, la mejor respuesta se observó cuando el 75 % de la proteína del concentrado fue reemplazada por FVH de maíz con probiótico.

Estos resultados son útiles para sistemas de crianza porque la ganancia de peso temprana influye en el desarrollo posterior del animal. Aun así, conviene evitar generalizaciones rápidas: una mejora en un tratamiento no significa que todos los niveles de reemplazo sean adecuados. La respuesta depende de la calidad del FVH, la dieta total, la edad del ternero, el manejo sanitario y la disponibilidad real de materia seca.

Parámetros ruminales, sanguíneos y seguridad metabólica

El análisis de parámetros ruminales y sanguíneos permite mirar si el FVH solo mejora el consumo o si también influye en la fisiología digestiva y metabólica. Dadhich *et al.* (2020) estudiaron parámetros ruminales en terneros Rathi, mientras que Arif *et al.* (2023) evaluaron hematología y metabolitos sanguíneos en terneros búfalos. Benu *et al.* (2024) también incorporaron parámetros ruminales y metabolitos sanguíneos en terneros destetados. En conjunto, estas fuentes permiten sostener que el FVH de maíz puede analizarse como una

estrategia alimenticia con efectos sobre fermentación ruminal y estado metabólico, no únicamente como una fuente de volumen o fibra.

Sin embargo, se requiere prudencia al interpretar seguridad metabólica. Los resultados disponibles apuntan a que el FVH de maíz puede utilizarse sin efectos adversos evidentes cuando se maneja como sustituto parcial, pero los estudios suelen tener tamaños muestrales pequeños y periodos cortos. Por ello, todavía hacen falta trabajos que evalúen salud, reproducción, crecimiento posterior y desempeño productivo a largo plazo.

Economía y sostenibilidad

La dimensión económica es clave para pequeños productores. Rajkumar *et al.* (2018) reportaron reducción del costo por kilogramo de ganancia en el tratamiento con FVH. Dadhich *et al.* (2021) abordaron específicamente la economía de alimentar terneros Rathí con FVH de maíz, lo que resulta relevante para discutir la viabilidad del sistema en finca. Castillo *et al.* (2023) también evaluaron el FVH de maíz como sustituto de

concentrados en terneros búfalos, aportando evidencia para analizar su uso en dietas donde los concentrados encarecen la alimentación.

En sostenibilidad, la idea central es que el FVH puede producirse con menos superficie y con mayor control sobre el uso de agua, aunque esta ventaja debe demostrarse en cada contexto. Ertl *et al.* (2016) y van Hal *et al.* (2019) ayudan a contextualizar el debate sobre uso de tierra, recursos y conversión de biomasa en sistemas pecuarios, mientras que Runting *et al.* (2024) muestran que la sostenibilidad ganadera exige equilibrar producción, rentabilidad y efectos ambientales. En este marco, el FVH de maíz puede ser una herramienta útil, pero no debe presentarse como sostenible por definición: su impacto depende de energía, agua, semilla, manejo, escala y costos de implementación. La Tabla 3 sintetiza ocho estudios directos sobre

el uso de FVH de maíz en terneros y bovinos jóvenes, destacando sus enfoques metodológicos, variables evaluadas, aportes principales y alcance de aplicación.

Tabla 3. Síntesis de ocho estudios directos sobre FVH de maíz en terneros y bovinos jóvenes

Referencia	Animales / sistema	Enfoque del estudio	Variables principales	Aporte para la revisión	Alcance de interpretación
Rajkumar <i>et al.</i> (2018)	18 terneros cruzados destetados	Sustitución parcial del alimento iniciador con forraje hidropónico	Consumo, ganancia de peso, conversión alimenticia, digestibilidad y costo por kg de ganancia	Aporta evidencia directa sobre el uso del FVH de maíz como sustituto parcial en la dieta de terneros, con énfasis productivo y económico	Ensayo localizado; los resultados deben interpretarse dentro del sistema experimental evaluado
Dadhich <i>et al.</i> (2019)	Terneros Rathí	Utilización de nutrientes con FVH de maíz	Digestibilidad y aprovechamiento de nutrientes	Apoya la discusión sobre el valor nutricional del FVH de maíz en terneros	Limitado a condiciones del ensayo; considerar dieta base, manejo del FVH y categoría animal antes de extrapolar.
Dadhich <i>et al.</i> (2020)	Terneros Rathí	Efecto del FVH de maíz sobre la fermentación ruminal	Parámetros ruminales	Permite discutir el posible efecto del FVH de maíz sobre la actividad fermentativa y el ambiente ruminal	Útil para discutir fermentación ruminal; no infiere efectos productivos de largo plazo.
Dadhich <i>et al.</i> (2021)	Terneros Rathí	Evaluación económica de la alimentación con FVH de maíz	Costos de alimentación y economía del sistema	Aporta respaldo para analizar la viabilidad económica del FVH de maíz como alternativa de alimentación	Evidencia económica inicial; viabilidad depende de costos locales de semilla, agua, energía, infraestructura y mano de obra.

Referencia	Animales / sistema	Enfoque del estudio	Variables principales	Aporte para la revisión	Alcance de interpretación
Arif <i>et al.</i> (2023)	12 terneros búfalos de 8 a 10 meses	Inclusión de FVH de maíz en la dieta de búfalos jóvenes	Crecimiento, balance de nitrógeno, digestibilidad, hematología y metabolitos sanguíneos	Es una de las fuentes más completas, porque integra variables productivas, digestivas, metabólicas y de salud	Muestra pequeña y duración experimental limitada; no permite generalizar a todos los sistemas ganaderos
Castillo <i>et al.</i> (2023)	Terneros búfalos	Sustitución parcial de concentrados con forraje hidropónico de maíz	Evaluación nutricional, consumo, crecimiento y costos	Refuerza la utilidad del FVH de maíz como alternativa parcial frente al alimento concentrado	Interpretar como sustitución parcial de concentrados, no como reemplazo total de la dieta.
Benu <i>et al.</i> (2024)	Terneros destetados Ongole × Brahman	Reemplazo de ensilaje de pasto por FVH de maíz	Consumo, digestibilidad, parámetros ruminales y metabolitos sanguíneos	Aporta evidencia reciente sobre el uso del FVH de maíz como forraje alternativo en terneros destetados	Evidencia reciente en reemplazo parcial de forraje convencional; depende de dieta base y condiciones del ensayo.
Joshi <i>et al.</i> (2024)	36 terneros machos Gir	FVH de maíz con y sin probiótico <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Peso corporal, ganancia diaria, medidas corporales y conversión alimenticia	Permite discutir el uso del FVH de maíz combinado con aditivos nutricionales para mejorar el desempeño productivo	Debe separarse el efecto propio del FVH de maíz del efecto del probiótico

Nota. FVH = forraje verde hidropónico. La tabla resume estudios directamente relacionados con FVH de maíz en terneros, búfalos jóvenes, bovinos jóvenes o terneras. Los alcances de interpretación se formularon para evitar generalizaciones no sustentadas fuera de las condiciones experimentales reportadas.

Discusión

Los resultados revisados permiten sostener que el FVH de maíz es una alternativa con potencial para la alimentación de terneros, pero su valor real depende de cómo se integre en la dieta. La evidencia más sólida apunta a su uso como sustituto parcial, no como reemplazo total de la alimentación convencional. Esta diferencia es importante, porque en terneros el equilibrio entre energía, proteína, fibra efectiva y materia seca disponible es determinante para lograr crecimiento sin comprometer la salud digestiva.

Desde el punto de vista nutricional, los trabajos de Rajkumar *et al.* (2018), Dadhich *et al.* (2019) y Arif *et al.* (2023) sugieren que el FVH de maíz puede mejorar el aprovechamiento de la dieta o, al menos, mantener respuestas productivas aceptables cuando reemplaza parcialmente otros ingredientes. Sin embargo, los resultados no deben leerse como una receta única. El FVH es un material fresco con alta humedad, y su aporte real depende de la materia seca consumida. Por eso, cualquier recomendación práctica debe formularse sobre base seca y considerando la dieta total.

En crecimiento y eficiencia alimenticia, Rajkumar *et al.* (2018) y Joshi *et al.* (2024) muestran respuestas favorables en

terneros. El aporte de Joshi *et al.* (2024) es interesante porque incorpora probióticos, pero también obliga a separar los efectos: parte de la respuesta puede deberse al FVH, parte al probiótico y parte a la interacción entre ambos. Esto confirma una brecha metodológica: se necesitan estudios que comparen niveles de FVH con diseños más simples y replicables, especialmente en sistemas pequeños donde el productor requiere recomendaciones claras.

La información ruminal y sanguínea aporta una lectura más completa. Dadhich *et al.* (2020), Arif *et al.* (2023) y Benu *et al.* (2024) permiten relacionar el FVH con fermentación ruminal, metabolitos y estado general del animal. Aun así, la mayoría de estos estudios tiene muestras pequeñas y duración limitada. Esto no invalida sus hallazgos, pero sí limita la fuerza de las conclusiones cuando se quiere extrapolar a diferentes razas, edades, climas y formas de manejo.

En el plano económico y ambiental, el FVH de maíz se presenta como una opción atractiva porque puede producirse en espacios reducidos y apoyar la disponibilidad de forraje durante épocas críticas. Rajkumar *et al.* (2018), Dadhich *et al.* (2021) y Castillo *et al.* (2023) ofrecen argumentos sobre costos y sustitución de concentrados, mientras que Ertl *et al.* (2016), van Hal *et al.* (2019) y Runting *et al.* (2024) ayudan

a ubicar el debate en una mirada más amplia sobre uso de recursos, productividad y sostenibilidad. Sin embargo, todavía son escasos los estudios que integran en una sola evaluación el costo de infraestructura, semilla, agua, energía, mano de obra, sanidad del cultivo y respuesta animal.

En síntesis, el FVH de maíz no debe verse como una moda tecnológica, sino como una herramienta que puede ser útil bajo ciertas condiciones. Su mayor valor aparece cuando ayuda a estabilizar la oferta de alimento, reducir presión sobre concentrados, mejorar el consumo o apoyar el crecimiento de terneros. Pero para recomendarlo con seguridad hacen falta protocolos más comparables, análisis económicos completos y evaluaciones de sostenibilidad ajustadas a la realidad de pequeños productores.

Conclusiones

El forraje verde hidropónico de maíz muestra potencial como alternativa alimenticia para terneros y bovinos jóvenes, especialmente cuando se utiliza como sustituto parcial de concentrados o forrajes convencionales. La evidencia revisada indica aportes en consumo, ganancia de peso, eficiencia alimenticia, digestibilidad, parámetros ruminales, metabolitos sanguíneos y costos de alimentación.

Los beneficios del FVH de maíz dependen del nivel de inclusión, la calidad del cultivo hidropónico, la dieta base, la categoría animal y las condiciones de manejo. Por tanto, no es recomendable presentarlo como alimento único ni como solución universal. Su uso debe evaluarse dentro de dietas balanceadas y con criterios de materia seca, eficiencia productiva y viabilidad económica.

La revisión también evidencia brechas importantes. Se requieren estudios de mayor duración, con muestras más amplias, protocolos estandarizados y análisis integrales que combinen nutrición, productividad, economía, salud animal y sostenibilidad ambiental. Esta necesidad es especialmente relevante para sistemas ganaderos de pequeña escala, donde la adopción de tecnologías depende tanto de su eficacia productiva como de su costo, facilidad de manejo y adaptación al territorio.

Referencias bibliográficas

- Alders, R. G. (2025). The broader symbiotic relationships between animals and humans in low-, middle- and high-income countries. *Proceedings of the Nutrition Society*, 1–4. <https://doi.org/10.1017/S0029665125101201>
- Arif, M., Khalaf, Q. A. W., Rehman, A. U., Hussain, S. M., Almohadi, N. H., Al-Baqami, N. M., Abd El-Hack, M. E., Kamal, M., Tharwat, M., y Swelum, A. A. (2023). Effects of feeding maize hydroponic fodder on growth performance, nitrogen balance, nutrient digestibility, hematology and blood metabolites of water buffalo calves. *Open Veterinary Journal*, 13(12), 1607–1613. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.v13.i12.10>
- Benu, I., Jelantik, I. G. N., Penu, C. L., y Laut, M. M. (2024). Effect of replacing grass silage with hydroponic maize fodder on nutrient intake and digestibility, rumen parameters and blood metabolites of weaned Ongole × Brahman calves. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 29(1), 36–44. <https://doi.org/10.14334/jitv.v29i1.3331>
- Castillo, C. I., Llantada, P. L. T., Baltazar, C. P., Uy-De Guia, M. R., Amido, R. D., y Del Barrio, A. N. (2023). Nutritional evaluation of hydroponic corn fodder and its effect as substitute for feed concentrates for buffalo calves. *The Philippine Agricultural Scientist*, 106(4), 369–379. <https://doi.org/10.62550/AF011023>
- Dadhich, R., Dhuria, R. K., Jain, D., Nehra, R., y Sharma, T. (2019). Effect of feeding of hydroponics maize fodder on nutrient utilisation efficiency in Rathi calves. *Veterinary Practitioner*, 20(2), 291–294. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203263145>
- Dadhich, R., Dhuria, R. K., Nehra, R., Jain, D., y Sharma, T. (2020). Effect of feeding of hydroponics maize fodder on rumen parameters in Rathi calves. *Veterinary Practitioner*, 21(1), 142–144. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20210155654>
- Dadhich, R., Dhuria, R. K., Jain, D., Nehra, R., y Sharma, T. (2021). Economics of feeding of hydroponics maize fodder in Rathi calves. *Veterinary Practitioner*, 22(1), 153. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20220220108>
- Ertl, P., Steinwider, A., Schönauer, M., Krimberger, K., Knaus, W., y Zollitsch, W. (2016). Net food production of different livestock: A national analysis for Austria including relative occupation of different land categories / Netto-Lebensmittelproduktion der Nutztierhaltung: Eine nationale Analyse für Österreich inklusive relativer Flächenbeanspruchung. *Die Bodenkultur. Journal of Land Management, Food and Environment*, 67(2), 91–103. <https://doi.org/10.1515/boku-2016-0009>
- Joshi, M., Sharma, S. K., y Vaishnav, C. S. (2024). Effect of concurrent feeding of hydroponics maize fodder and probiotic (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth performance in Gir calves. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 43(3), 566–571. <https://doi.org/10.18805/ajdr.DR-1716>
- Kebede, D. (2016). Impact of climate change on livestock productive and reproductive performance. *Livestock Research for Rural Development*, 28(12). <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd28/12/kebe28227.htm>
- Leroy, F., Abraini, F., Beal, T., Dominguez-Salas, P., Gregorini, P., Manzano, P., Rowntree, J., y van Vliet, S. (2022). Animal board invited review: Animal source foods in healthy, sustainable, and ethical diets - An argument against drastic limitation of livestock in the food system. *Animal*, 16(3). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100457>

- Rajkumar, G., Dipu, M. T., Lalu, K., Shyama, K., y Banakar, P. S. (2018). Evaluation of hydroponics fodder as a partial feed substitute in the ration of crossbred calves. *Indian Journal of Animal Research*, 52(12), 1809–1813. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3421>
- Rueda García, A. M., Fracassi, P., Scherf, B. D., Hamon, M., y Iannotti, L. (2024). Unveiling the nutritional quality of terrestrial animal source foods by species and characteristics of livestock systems. *Nutrients*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/nu16193346>
- Runting, R. K., King, D., Nolan, M., Navarro, J., Marcos-Martinez, R., Rhodes, J. R., Gao, L., Watson, I., Ash, A., Reside, A. E., Alvarez-Romero, J. G., Wells, J. A., Ritchie, E. G., Hadjikakou, M., Driscoll, D. A., Connor, J. D., Garber, J., y Bryan, B. A. (2024). Balancing livestock production and environmental outcomes in northern Australia's tropical savanna under global change. *Environmental Research Letters*, 19. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad6f2d>
- Thamo, T., Addai, D., Pannell, D. J., Robertson, M. J., Thomas, D. T., y Young, J. M. (2017). Climate change impacts and farm-level adaptation: Economic analysis of a mixed cropping–livestock system. *Agricultural Systems*, 150, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.10.013>
- van Hal, O., de Boer, I. J. M., Müller, A., de Vries, S., Erb, K. H., Schader, C., Gerrits, W. J. J., y van Zanten, H. H. E. (2019). Upcycling food leftovers and grass resources through livestock: Impact of livestock system and productivity. *Journal of Cleaner Production*, 219, 485–496. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.329>
- Weindl, I., Lotze-Campen, H., Popp, A., Müller, C., Havlík, P., Herrero, M., Schmitz, C., y Rolinski, S. (2015). Livestock in a changing climate: Production system transitions as an adaptation strategy for agriculture. *Environmental Research Letters*, 10(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/9/094021>

