

2020-12-20

El forraje verde hidropónico: una alternativa sostenible en tiempos de cambio climático

Laura Paipa

Programa de Zootecnia, Universidad de La Salle

Laila Bernal

Programa de Zootecnia, Universidad de La Salle

Abelardo Conde

Programa de Zootecnia, Universidad de La Salle

Nicolás Quijano

Programa de Zootecnia, Universidad de La Salle

Kevin Bula

Programa de Zootecnia, Universidad de La Salle

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ai>

Citación recomendada

Paipa, Laura; Bernal, Laila; Conde, Abelardo; Quijano, Nicolás; and Bula, Kevin (2020) "El forraje verde hidropónico: una alternativa sostenible en tiempos de cambio climático," *Ámbito Investigativo*: Iss. 2 , Article 8.

Disponible en:

This Artículo de Divulgación is brought to you for free and open access by the Revistas de divulgación at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in *Ámbito Investigativo* by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

El forraje verde hidropónico: una alternativa sostenible en tiempos de cambio climático



LAURA PAIPA
LAILA BERNAL
ABELARDO CONDE
NICOLÁS QUIJANO
KEVIN BULA

Programa de Zootecnia,
Universidad de La Salle



El cambio climático, derivado de la intervención antrópica, se ha convertido en una amenaza latente que afecta la posibilidad de garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población humana y animal en el planeta.

En los postulados de *ahorrar para crecer* de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), si las tendencias generales de necesidades de alimento, de crecimiento de la población y hábitos de consumo continúan, para el año 2050 el mundo necesitará un 60 % más de alimentos de los que actualmente se producen. Debido a que el área de tierra cultivable es limitada, y una gran proporción de las tierras utilizadas para ganadería están en suelos empobrecidos, compactados y con pasturas deterioradas, la mayor parte de esta producción adicional deberá proceder de una intensificación agrícola sostenible. En estos modelos de intensificación sustentable, la producción de forraje verde hidropónico (FVH), se constituye en una alternativa de gran relevancia que debe ser incorporada y evaluada permanentemente en los modelos de producción de rumiantes, en especial para bovinos, ovinos y caprinos.

La hidroponía es una palabra que se deriva del griego *hydro* (agua), y *ponos* (trabajo), que se refiere al "cultivo de plantas en soluciones acuosas y nutritivas" (Rosas, 2010), sin suelo, donde las raíces de las plantas se encuentran por lo general como *raíces flotantes*.

La FAO (2001), postula que la producción de forraje verde hidropónico es una alternativa de alimentación basada en la producción de "forraje vivo a partir del crecimiento inicial de las plantas desde su estado de germinación y crecimiento temprano de las plántulas de semillas viables". Este forraje se caracteriza por ser de alta digestibilidad, buena calidad nutricional, y apto para el consumo de los animales (Gamero y Bernal, 2014).

En Colombia, para la producción de FVH se reportan las investigaciones adelantadas por Fuentes, Poblete y Huerta (2011), en conejos con avena (*Avena sativa*) como reemplazo parcial del concentrado; Orjuela y Páez (2015), con trigo para producción de bovinos de leche; Sáenz (2018), con avena en pollos; y Gamero y Bernal (2014), con raigrás (*Lolium hybridum*), y vicia (*Vicia sativa*), realizado en el Semillero de Investigación en Ciencia Animal (SICA), al igual que la evaluación de avena y raigrás hidropónico suministrada a pollos de engorde en 2018.

Potencial agronómico del forraje verde hidropónico (FVH)

La producción convencional de forrajes, en las actuales condiciones agroecológicas, considera que la disponibilidad de alimento es limitada a lo largo del año por diversos factores: la baja fertilidad de los suelos, la presencia de plagas y enfermedades, la falta de agua, y las extremas sequías que se



incrementan por el cambio climático, lo que genera mayor escasez de alimentos, afecta la productividad animal, y en muchas ocasiones es causa de muerte.

Buscar opciones que favorezcan la mayor producción de forrajes en menor tiempo, al optimizar áreas y agua, es el gran reto que tienen todos los profesionales del sector agropecuario. Como consecuencia de lo anterior, la producción de FVH es una alternativa de producción sostenible que puede mantener y mejorar las condiciones de productividad y sanidad de los animales (Campêlo *et al.*, 2007), y su uso representa una opción viable, económica y segura, que puede ser utilizada en la nutrición animal. En la producción de FVH, la obtención de biomasa se puede dar en períodos de 9 a 16 días después de la siembra (Müller *et al.*, 2006), lo cual se constituye en una reducción de tiempo favorable para el sistema de producción agropecuario, dado que es un forraje vivo, considerado de alta digestibilidad y óptima calidad nutricional.

Las especies vegetales más empleadas en la producción de forraje verde hidropónico por tradición son las gramíneas, principalmente los cereales, de las cuales se pueden destacar el maíz (*Zea mays*), la avena (*Avena sativa*), la cebada (*Hordeum Vulgare L.*), el sorgo (*Sorghum bicolour L.*), el trigo (*Triticum aestivum L.*), y los pastos como el raigrás (*Lolium multiflorum Lam.*). En cuanto a las especies vegetales leguminosas, se han realizado evaluaciones solo con

alfalfa (*Medicago sativa L.*), y vicia (*Vicia sativa*). Las gramíneas y leguminosas evaluadas en este sistema de FVH tienen rendimientos anuales que oscilan entre las 7 y 20 toneladas (t) de materia seca (MS) por hectárea por año, que se simplifica así a t MS/ha/año (figura 1). Por ejemplo, la leguminosa alfalfa puede producir de 16 a 20 t MS/ha/año y el maíz como gramínea de 12 a 24 t MS/ha/año (López *et al.*, 2009).

La gran ventaja que tiene la producción de FVH es el uso eficiente del agua (UEA), expresada en kg MS/m³, que se genera por el reciclaje de esta al interior del sistema. Por ejemplo, especies vegetales como la cebada reportan UEA de 0,36 a 0,67 kg MS/m³, y el maíz de 2,75 a 2,88 kg MS/m³, con consumos de agua de 16 litros en 12 días para la cebada (Sánchez *et al.*, 2014), y 8,4 litros en 14 días para el maíz (Ramírez y Soto, 2017). El agua se constituye en el principal medio, donde los nutrientes macro y micro minerales requeridos por las plantas serán disueltos y estarán disponibles de forma inmediata para ellas, y favorecerán su rápido crecimiento.

La producción de FVH contempla sistemas versátiles de uso, como las bandejas que pueden ayudar a intensificar la producción en 4 o 5 niveles cubriendo la misma área, de modo que cuadruplican o quintuplican la producción que se tendría de forma tradicional en un cultivo a cielo abierto a nivel del suelo; también se puede producir en sistemas tipo pirámides, torres verticales, y

Figura 1. Potencial agronómico del forraje verde hidropónico.

FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH)

Potencial agronómico



ALTERNATIVA SOSTENIBLE

La producción de FVH se constituye en una opción intensiva, donde la producción de biomasa se puede obtener de 9 a 16 días por siembra (Muller et al, 2006) sin la utilización de sustrato.

BIOMASA

La avena (*avena sativa*) y el trigo (*Triticum aestivum L.*) a los 10 días de crecimiento pueden producir 7 kg/m² (Cerillo et al, 2012)

El maíz (*Zea Mays*) produce 12 a 20 kg MS/m²; el sorgo (*Sorghum bicolor L.*) de 14 a 18 kg MS/m² y raigrás (*Lolium multiflorum Lam.*) de 8 a 12 kg MS/m² (López et al, 2009)

CICLAJE DE NUTRIENTES Y AGUA

El FVH optimiza el espacio, usa pocas áreas, se puede cuadruplicar la producción por metro cuadrado por el uso de bandejas en diferentes niveles. El agua y los nutrientes se reciclan de manera continua en el sistema

¡PRODUCIR FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO ES UNA OPCIÓN EN EL CAMBIO CLIMÁTICO!

- Es un cultivo protegido con condiciones climáticas controladas.
- Se disminuye la incidencia de plagas y enfermedades.
- Se obtiene en poco tiempo y a lo largo del año.

EL GRUPO DE PRODUCCIÓN ANIMAL SOSTENIBLE (PAST) Y EL SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA ANIMAL (SICA) EN PRO DE LA SOSTENIBILIDAD

Fuente: Infografía elaborada por Laila Bernal

de tubos horizontales. La diversidad de sistemas permite que pueda ser adoptado por pequeños productores, bajo diseños sencillos que privilegian el uso de semillas sin la aplicación de insecticidas en el proceso de germinación como requisito indispensable del sistema.

La hidroponía se desarrolla como un cultivo protegido bajo invernadero, que facilita el control de humedad, temperatura, y la incidencia de plagas y enfermedades que suelen presentarse en los cultivos convencionales. Estos suelen ser manejados con el uso de agroquímicos que tienen efectos sobre la salud humana, animal y el ambiente, al no cumplir los protocolos de bioseguridad en el proceso.

Entendiendo que todo sistema de producción de alimentos es un flujo de energía, la maximización de la producción de biomasa, a partir del uso eficiente de la luz solar en los invernaderos, acelera y promueve los procesos fisiológicos de la planta, en especial la transformación de energía lumínica en carbohidratos solubles y de reserva, y su posterior transformación en carbohidratos estructurales como la celulosa y hemicelulosa. Estos se convierten en la principal fuente de energía para la mayoría de las especies fermentadoras domésticas de interés zootécnico, en especial de aquellas que evolucionaron en simbiosis, con microorganismos fermentadores, para aprovechar dichos carbohidratos, al aportarle la energía para la síntesis de carne y leche.

Considerar como opción la producción de gramíneas y leguminosas

para la alimentación animal, bajo cultivo hidropónico, es una estrategia que favorece la producción de forraje en menos tiempo, con buena calidad nutricional. Esto garantiza disponibilidad de alimento a lo largo del año, y con mayor frecuencia de corte para el consumo animal, que permitirá garantizar la obtención de proteína de origen animal para satisfacer las necesidades de proteína de la población humana.

Valor nutricional y su potencial de uso en ovinos

Una de las características distintivas de los forrajes, cuando se cosechan recién germinados, es su alto valor nutritivo, en especial por su contenido de proteína, menores valores de fibra en detergente neutro (FDN), y mayores contenidos de carbohidratos no estructurales (CNE). Estas determinaciones químicas promueven una mayor degradabilidad del alimento en el ámbito ruminal. Además, incrementa la tasa de pasaje del alimento consumido, e impacta positivamente en el mayor consumo por animal día y, por ende, aporta a la eficiencia y la productividad animal.

La calidad nutritiva de los diferentes recursos alimenticios producidos como FVH se modifica de acuerdo con diversos factores de producción: especie forrajera, densidad de siembra, el tipo de soluciones nutritivas utilizada, y las variables ambientales durante la producción. Todos estos factores obedecen a la fisiología de la planta.





Para comparar la calidad nutritiva de los FVH con la producción del mismo forraje en modelos tradicionales de producción —cultivados directamente sobre el suelo—, existen dos enfoques que se pueden aplicar. El primero de ellos es comparar los valores nutritivos obtenidos a través de la evaluación bromatológica, que suelen expresarse como porcentaje; y el segundo es la cantidad del nutriente producido por metro cuadrado.

Para el caso de la edad de cosecha del FVH, cuando ésta se realiza en estados muy precoces, pueden resultar en bajo rendimientos de biomasa por metro cuadrado, mientras que las cosechas tardías conllevan a una mayor competitividad entre las plantas, y a la disminución de la calidad nutritiva final. Un ejemplo de lo anterior ocurre con el trigo, donde la cosecha debe realizarse entre 9 y 12 días, pues en periodos superiores

de crecimiento, se inicia un intenso proceso de pérdida de la calidad nutritiva. Para el caso de proteína, se reconoce que, a edades tempranas de cosecha de cualquier forraje, los valores de proteína expresados como porcentaje son más elevados que en periodos tardíos; esta es una de las grandes ventajas del FVH. Algunos estudios realizados no reportan diferencias significativas en el porcentaje de proteína cuando las edades que se comparan son muy cercanas. Sin embargo, en estos casos se evidencia mayor cantidad de proteína producida en gramos del nutriente por unidad de área cultivada.

Los valores de FDN suelen ser inferiores a la del mismo tipo de forraje cultivados sobre suelo. Así mismo, se ha reportado que soluciones nutritivas con mayores tenores de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, entre otros nutrientes, proporcionan menos valores de fibra en detergente neutro FDN en el FVH.

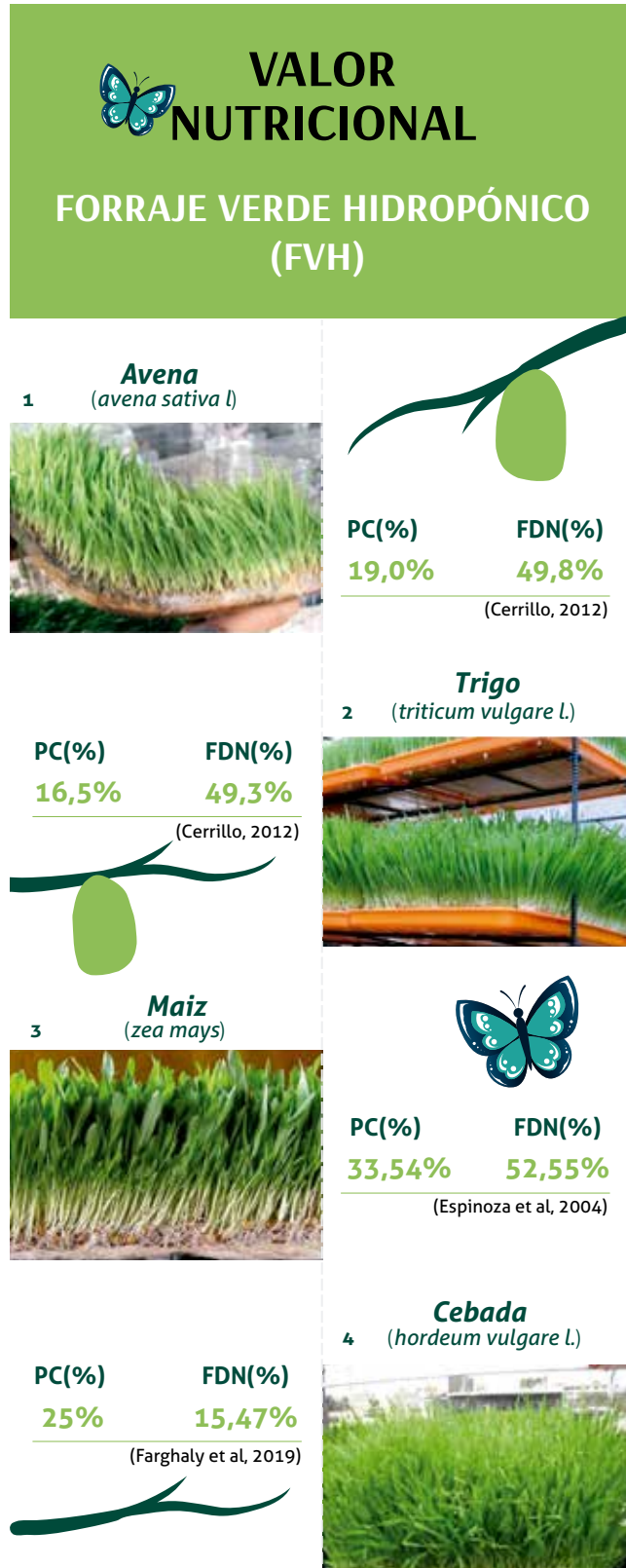
Cuando los valores de FDN de un forraje son muy altos, esto limita la cantidad total de alimento consumido por el animal por espacio en el rumen. Por ello, los valores reportados en este indicador nutricional en el FVH determinan su mayor degradabilidad en el rumen, mejores tasas de pasaje del alimento y, finalmente, mayor consumo de alimento por los rumiantes.

El contenido de carbohidratos no estructurales en plantas jóvenes es superior a la de plantas maduras. Los carbohidratos altamente solubles

y degradables, constitutivos de los CNE, aportan energía rápida para el crecimiento de los microorganismos ruminales, lo que mejora la eficiencia ruminal para la degradación del total del alimento ingerido por el animal; esta es otra de las características más relevantes del FVH.

Los valores de fibra en detergente ácido (FDA), y lignina —expresados como porcentaje de la materia seca de los materiales cultivados como forraje verde hidropónico—, son inferiores a los contenidos de estos indicadores de la calidad nutritiva, del mismo tipo de recurso alimenticio cultivado a cielo abierto en el suelo. En la figura 2 se reportan valores de proteína cruda y fibra en detergente neutro de cuatro especies vegetales: avena, trigo, maíz y cebada. La composición en la calidad nutritiva del forraje verde hidropónico cambia de acuerdo con la parte de la planta que se utiliza. Espinoza *et al.* (2004), señalan que para el contenido de proteína de las hojas del FVH de millo, reportaron valores de 33,54 % de proteína cruda; mientras que, en la raíz, los valores promedios encontrados fueron de 13,76 %. Estos valores, incluso en la raíz, superan o igualan a los contenidos de proteína de los pastos más representativos del trópico bajo, por lo que en estos sistemas de producción se convierten en una alternativa eficiente para suplir los contenidos de nitrógeno, para el crecimiento de los microorganismos del rumen, y las exigencias de proteína para los rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos y búfalos incluso de

Figura 2. Valor nutricional del forraje verde hidropónico (FVH)



Fuente: Infografía elaborada por Nicolás Quijano.

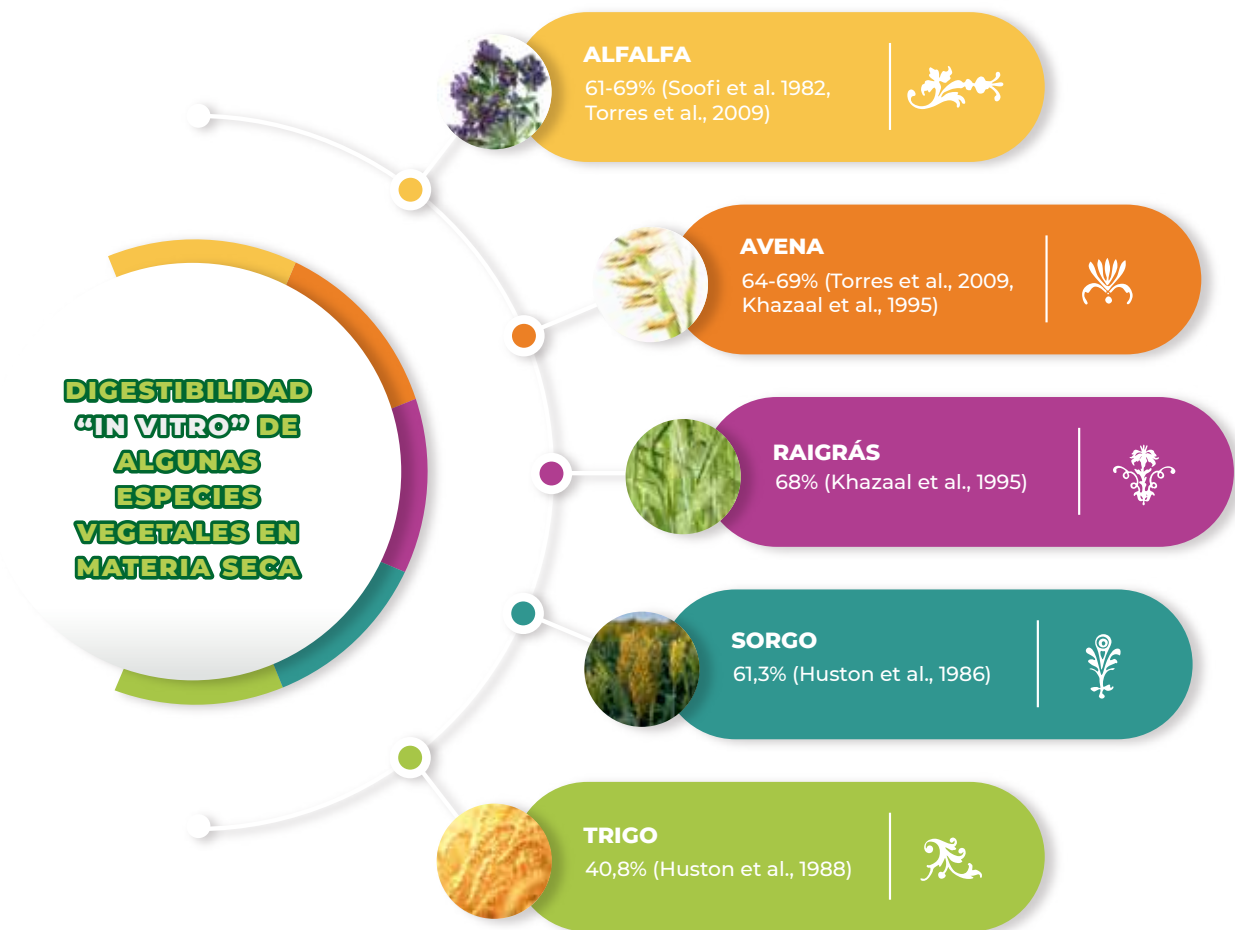
especies no rumiantes como aves, conejos y equinos).

El consumo voluntario en los rumiantes se relaciona con el tiempo de retención del alimento en el retículo-rumen y, por lo general, el consumo aumenta cuando el forraje es más digestible. Por tanto, la mayoría de los indicadores de calidad nutricional del FVH señalan una calidad

óptima, capaces de producir el máximo potencial en los animales.

Las figuras 3 y 4 presenta la información de la digestibilidad *in vitro* e *in vivo* de algunos recursos alimenticios que se deben potenciar en la alimentación de ovinos, tendientes a mejorar su comportamiento productivo en sistemas de producción de carne o leche.

Figura 3. Porcentajes de digestibilidad *in vitro* de algunas especies vegetales en materia seca destinadas al consumo ovino



Fuente: Infografía elaborada por Laura Paipa.

Figura 4. Porcentajes de digestibilidad in vivo de algunas especies vegetales en materia seca destinadas al consumo ovino



Fuente: Infografía elaborada por Laura Paipa

Conde *et al.* (2000; 2004), Cuesta *et al.* (2000), realizaron investigaciones con Jaulas metabólicas con ovinos machos castrados para determinar la digestibilidad *in vivo*, el consumo voluntario, y el comportamiento ruminal de diversos recursos forrajeros, en especial subproductos agroindustriales, con énfasis en su potencial en la alimentación de rumiantes.

En Colombia se requiere mayor investigación y experiencia práctica en el diseño de modelos de alimentación exitosos en ovinos y caprinos, y que se identifiquen alternativas de suplementación con recursos alimenticios de alta calidad. De manera errónea se ha considerado que estas especies tienen menores requerimientos nutricionales en comparación

con los bovinos, y no se reconocen las diferencias fisiológicas entre las diversas especies.

Es necesario profundizar y promover el uso de recursos alimenticios de alta calidad en los sistemas de producción de ovinos, y reconocer sus diferencias de comportamiento alimentario, en especial la selectividad y los efectos de los recursos alimenticios en el comportamiento ruminal, su digestibilidad, y el aporte de nutrientes al animal. Un ejemplo de estas grandes diferencias se evidencia desde la selectividad de los forrajes en sistemas de pastoreo mixto de ovinos y bovinos, donde los ovinos prefieren las leguminosas y las hojas, mientras que las vacas prefieren las gramíneas y los tallos.

Consideración final

La vida en el planeta invita a la amigable coexistencia de las especies que habitan la tierra, donde el cambio climático genera grandes reflexiones sobre la producción de alimentos, la seguridad alimentaria y nutricional, la conservación de los recursos naturales, y la biodiversidad. Además, se deben buscar opciones de producción que optimicen recursos

preciados como el agua y la energía solar, que favorezcan la obtención de alimentos en menor tiempo, y que sean de mejor calidad nutritiva, con condiciones ambientales controladas, y con mayor disponibilidad a lo largo del año para satisfacer los requerimientos alimenticios de los animales y de los humanos en cuanto a proteína.

Referencias

- Campêlo, J. E., Oliveira, J. C., Rocha, A. S., Carvalho, J., Moura, G. C., Oliveira, M. E., Silva, J. A., Moura, J. W., Costa, V. M., y Uchoa, L. (2007). Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(2), 276-281. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000200002>.
- Cerrillo M., Juárez A., Rivera J., Guerrero M., Ramírez R., Bernal H. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Revista Interciencia*, 37(12), 906-913.
- Conde P., A., Manjarres P. y Cuesta P., A., (2000). Consumo y comportamiento ruminal de ovinos alimentados con fibra de palma de aceite amonificada con urea al 10. *Revista Palmas*, 21(especial), 275-282. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/795>
- Conde P., A., Cuesta P., A., & Morales V., C. J. (2004). Funcionamiento ruminal y consumo voluntario en ovinos alimentados con fibra de palma de aceite amonificada con sulfato de amonio al 11. *Revista Palmas*, 25(especial), 288-294. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1043>.
- Cuesta P., A., Conde P., A., & Moreno S., M. L. (2000). Tratamiento y calidad nutritiva de subproductos fibrosos de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*, 21(especial), 264-274. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/794>
- Espinoza, F., Argenti, P., Urdenata, G., Araque, C., Fuentes, A., Palma, J., Bello, C. (2004). Uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. *Zootenia Tropical, Maracay*, 22(4), 303-315.
- FAO. (2001). Forraje Verde Hidropónico. Manual técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América latina y el Caribe. Santiago de Chile. <http://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf>
- Farghaly, M. M., Abdullah, M. A. M., Youssef, I. M. I., Abdel-Rahim, I. R., & 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, 31-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.022>
- Fuentes, F., Poblete, C. & Huerta, M. (2011). Respuesta productiva de conejos alimentados con forraje verde hidropónico de avena, como reemplazo parcial de concentrado comercial. *Acta agronómica*, 60(2), 183-189.
- Gamero, C. y Bernal, L. (2014). *Evaluación de gramíneas y leguminosas de trópico alto*

- en cultivo hidropónico como alternativa de producción orgánica para la nutrición animal. *Cosechando investigadores una ruta hacia el conocimiento*. Bogotá: Ediciones Unisalle.
- González, V. G., Jimeno, E. Z., & Ballesteros, J. G. (1975). Digestibilidad e ingestión voluntaria de veza común (*Vicia sativa* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) en corderos. *Pastos*, 5(2), 475-479. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1461/1468>
- Huston, J. E., Engdahl, B. S., & Bales, K. W. (1988). Intake and digestibility in sheep and goats fed three forages with different levels of supplemental protein. *Small Ruminant Research*, 1(1), 81-92. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(88\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0921-4488(88)90047-8)
- Huston, J. E., Rector, B. S., Ellis, W. C., & Allen, M. L. (1986). Dynamics of Digestion in Cattle, Sheep, Goats and Deer. *Journal of Animal Science*, 62(1), 208-215. <https://doi.org/10.2527/jas1986.621208x>
- Instituto colombiano agropecuario (ICA). (s.f.) Ovinos. Manual de asistencia técnica N° 8. Bogotá D.C, Colombia: Produmedios.
- Khazaal, K., Dentinho, M. T., Ribeiro, J. M., & Ørskov, E. R. (1995). Prediction of apparent digestibility and voluntary intake of hays fed to sheep: comparison between using fibre components, in vitro digestibility or characteristics of gas production or nylon bag degradation. *Animal Science*, 61(3), 527-538. <https://doi.org/10.1017/S1357729800014107>
- López R., Murillo B., Rodríguez G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Rev. INCI*, 34(2).
- Müller, L., Santos, O. S. D., Manfron, P. A., Medeiros, S. L. P., Haut, V., Dourado Neto, D., Menezes, N. L., & Garcia, D. C. (2006). Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. *Ciência Rural*, 36(4), 1094-1099.
- Orjuela Villalobos, W. y Páez Barón, E. (2015). Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de trigo como alternativa nutricional en la producción de leche del ganado bovino en Turmequé. Trabajo de pregrado para obtener el título de Zootecnista. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Tunja, Boyacá. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/3712/1054372103.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Ramírez, C., y Soto, F. (2017). Efecto de la nutrición minerales sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agron. Costaricense* 41(2), 79-91
- Rosas, A. (2010). *Manual Técnico: Forraje Verde Hidropónico*. Bogotá: Hidroponía Industrial.
- Sáenz B., A. V. 2018. Producción sostenible de pollos de engorde utilizando forraje verde hidropónico a base de avena (*Avena sativa* L.) en el municipio de Boyacá. Trabajo de grado de Zootecnia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Universidad Nacional abierta y a distancia. Tunja, Boyacá.
- Sánchez-Del Castillo, F., Moreno-Pérez, E., Pineda-Pineda, J.M. Rodríguez-Pérez, J., Osuna-Encino, T. (2014). Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia*, 48(2), 185-197.
- Soofi, R., Fahey, G. C., Berger, L. L., y Hinds, F. C. (1982). Digestibilities and Nutrient Intakes by Sheep Fed Mixtures of soybean Stover and Alfalfa. *Journal of Animal Science*, 54(4), 841-848. <https://doi.org/10.2527/jas1982.544841x>
- Torres, G., Arbaiza, F., Carcelén, C., & Lucas, A. (2009). Comparación de las técnicas in situ, in vitro y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 20(1), 5-9. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172009000100002&lng=es&tlng=en
- Travieso, M. D. C., Álvarez, J. S. G., Puente, S. L., Solís, C. V., y Bochi-Brum, O. (1999). Digestibilidad in vitro de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Archivos de zootecnia*, 48(181), 51-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4119>