

Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura

**David Alejandro Mejía Suazo
Alejandra Nicole Reyes Zelaya**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**
Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

David Alejandro Mejía Suazo
Alejandra Nicole Reyes Zelaya

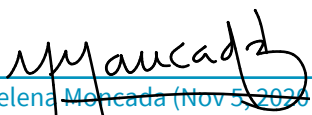
Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura

Presentado por:


David Alejandro Mejía Suazo
Alejandra Nicole Reyes Zelaya

Aprobado:



Marielena Moncada (Nov 5, 2020 11:49 CST)

Marielena Moncada, Ph.D.
Asesora Principal



Alejandra Sierra (Nov 5, 2020 14:48 CST)

Alejandra Sierra, M.Sc.
Asesora



Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico

Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura

David Alejandro Mejía Suazo
Alejandra Nicole Reyes Zelaya

Resumen. El forraje verde hidropónico es un alimento fresco que se obtiene del proceso de germinación de granos de cereales, que después de 12 días es cosechado y suministrado a la vaca lechera como alimento. Esta revisión de literatura se realizó para evaluar la aplicabilidad del FVH de maíz y sorgo como alternativa nutricional en vacas de la Unidad de Ganado Lechero en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El estudio contó con una metodología de carácter cualitativa, utilizando la revisión de literatura como principal herramienta, recopilando la información en bases de datos que brinda la Biblioteca Wilson Popenoe visitando sitios de relevancia científica tales como la FAO, Research Gate y Scielo. Mediante esta investigación, se determinaron las ventajas y desventajas de esta técnica, los principales factores que afectan el desarrollo óptimo del FVH que son la iluminación, temperatura y riego. Se comprobó que la suplementación con FVH influye en el volumen producido de leche y el contenido de grasa de esta. A la vez, se determinó que el FVH de maíz resulta ser más palatable gracias a su alto contenido de fibra y un buen nivel de proteína cruda, la cual le aporta una mayor concentración de energía al animal. Se recomienda realizar más estudios sobre la producción de FVH de diferentes cereales y evaluar la rentabilidad de esta misma.

Palabras clave: Hidroponía, luz, nutrición, producción de leche, proteína, riego, temperatura.

Abstract. Hydroponic green forage (HGF) is a fresh feed that is obtained from the germination process of cereal grains that after 12 days is harvested and supplied to the dairy cattle as feed. The present literature review was done to evaluate the applicability of the HGF of corn and sorghum as a nutritional alternative in production cows of the Dairy Cattle Unit at the Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. The study had a qualitative methodology, using the literature review as the main tool. Collecting the information in databases provided by the Wilson Popenoe Library visiting sites of scientific relevance such as FAO, Research Gate, and Scielo. Through this research, the advantages and disadvantages of this technique were determined, also the main factors that affect the optimal development of the HGF, which are the lighting, temperature, and irrigation. When evaluating different literatures, it was found that HGF supplementation influences the volume of milk produced and its fat content. It was also determined that the HGF of corn turns out to be more palatable thanks to its high fiber content and a good level of crude protein, which provides a greater concentration of energy to the animal. It is recommended to carry out more studies on the production of HGF of different cereals and to evaluate the profitability of it.

Key words: Hydroponics, irrigation, light, milk production, nutrition, protein, temperature.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros y Figuras	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	4
4. CONCLUSIONES.....	22
5. RECOMENDACIONES.....	23
6. LITERATURA CITADA	24

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Concentración de nutrientes en diferentes soluciones utilizadas como fertilizante en forraje verde hidropónico (FVH) de maíz y sorgo.....	14
2. Composición bromatológica de las especies gramíneas maíz y sorgo.....	17
3. Consumo de forraje verde hidropónico (FVH) por parte del animal	21

Figuras	Página
1. Producción de forraje verde hidropónico (FVH) en plástico	6
2. Producción de forraje verde hidropónico (FVH) con bandejas en piso	6
3. Producción de forraje verde hidropónico (FVH) en camas.....	7
4. Diseño de una estructura de madera para la producción de forraje verde hidropónico (FVH).....	8
5. Sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) en estantes metálicos.....	8
6. Biomasa de forraje verde hidropónico (FVH) compuesta por tallo, sistema radicular, semillas germinadas y no germinadas.....	11

1. INTRODUCCIÓN

El sector ganadero en Honduras es uno de los rubros más importantes, ya que tanto los ganaderos como la población del país se ve beneficiada por los productos cárnicos y lácteos obtenidos de los bovinos. Según el Banco Central de Honduras (BCH) en el 2017, el dinamismo que impregna el sector agropecuario ha permitido el crecimiento de un 5.2% en la economía hondureña. Sin embargo, existen algunas limitantes en el rubro de la ganadería de leche y carne hoy en día.

Debido a nuestra ubicación en el trópico, la alimentación del ganado bovino se ha vuelto difícil en algunas zonas de Honduras, específicamente durante la época seca, en los meses de marzo a mayo. Los pastos tropicales son de bajo contenido proteínico y la producción por metro cuadrado es baja, lo que incide en la necesidad de más hectáreas para sostener ganado vacuno, ovino, caprino, entre otros (Caldera 2015).

La escasez de alimento produce bajos niveles nutricionales lo que incide en la producción de la leche (volumen), pérdida de peso de 20-40 kg por cabeza en un período de 3-4 meses y con esto la predisposición a enfermedades (Caldera 2015). La alimentación del ganado es complementada principalmente con pastos, ensilaje y concentrado, manteniendo un balance entre ellos. Sin embargo, la producción de pasto se ha visto afectada por la baja productividad de los suelos, escasez de agua de riego, enfermedades, organismos patógenos y el cambio climático. Además de esto la suplementación de dietas basadas en concentrados tienen un alto costo, ya que los insumos para la elaboración de estos mismos son importados.

El forraje verde hidropónico (FVH) es una de las alternativas empleadas en las empresas pecuarias que buscan ofrecer al ganado alimento de excelente calidad, de bajo costo y en las cantidades necesarias en cualquier época del año. En el caso de Honduras, para evitar más pérdidas en el sector ganadero, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) y en conjunto con la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), impulsaron la producción de forraje verde hidropónico en cuatro departamentos del país: Olancho, Choluteca, Atlántida y El Paraíso (MO 2019). Mediante este proyecto, los ganaderos podrán producir leche y carne con el uso eficiente de los recursos, reduciendo a la vez el impacto ambiental y lo más importante brindándole al animal un alimento de calidad.

El FVH se refiere a la obtención de biomasa vegetal de distintos cereales, la cual pasa por un proceso de germinación de 12 días. Una vez cumple los 12 días, se realiza la cosecha y se suministra a los animales (Zagal-Tranquilino *et al.* 2016). El producto obtenido posee una alta digestibilidad y alto valor nutritivo por lo que ha sido implementado como una alternativa para la alimentación de cabras, terneros, vacas, conejos, aves, caballos, entre otras especies domésticas (Cuesta y Machado 2009). Las familias más usadas para la producción de forraje verde hidropónico son las leguminosas y gramíneas (Poáceas y Fabáceas) entre ellas el trigo, avena, cebada, centeno, maíz, alfalfa, entre otros (Zagal-Tranquilino *et al.* 2016). En el caso de la familia de las gramíneas, los cultivos de maíz y sorgo son los más utilizados debido a su calidad nutricional y altos rendimientos.

Existen varios factores que afectan la calidad y el rendimiento del FVH, entre ellos: calidad y cantidad de luz, temperatura, humedad, variedad, tiempo de remojo, calidad de la semilla,

suministro de nutrientes, profundidad de siembra, densidad de siembra y la presencia de patógenos. De acuerdo con la FAO (2001), el principal factor que tiene un impacto negativo en la producción de un forraje de calidad y determinante en los rendimientos es la calidad y cantidad de luz.

La producción de FVH se puede realizar de diferentes maneras dependiendo de las necesidades de los productores, siendo la técnica comercial la más utilizada. La técnica comercial consiste en la siembra de semillas, sin la utilización de sustrato, en contenedores, como ser bandejas plásticas, capaces de mantener la humedad. Durante los primeros días las bandejas se riegan únicamente con agua hasta que el forraje alcanza 3 a 4 cm de altura, a partir de allí, reciben riegos diarios con solución nutritiva hasta el momento de la cosecha. Durante esta etapa las raíces crecen formando un tapete radicular que cumple la función de sustrato y adicionalmente facilita su transporte y manejo. Por otro lado, el suministro de los macro y micronutrientes para la producción de forraje verde hidropónico se realiza a través de una solución nutritiva. La concentración de dichos nutrientes minerales en la solución nutritiva varía ampliamente debido a ciertos factores como: el genotipo, clima, densidad de siembra y cosecha (Soto Peña 2020).

En innumerables ocasiones han ocurrido pérdidas importantes de ganado y de animales menores como consecuencia de déficits alimentarios o faltas de forraje, henos, ensilajes o granos para alimentación animal (FAO 2001). Hoy en día, la necesidad de contar con nuevos sistemas de producción de forraje es fundamental, ya que con esto se evitarían las grandes pérdidas productivas (bajo volumen de leche, pérdida de peso y baja fertilidad) que conllevan a las pérdidas económicas de los medianos y pequeños ganaderos. Es por esto por lo que el FVH es una alternativa válida para contrarrestar los efectos del cambio climático en la producción animal. Los objetivos del presente estudio fueron:

- Identificar y conocer las ventajas y desventajas, tipos de sistemas y etapas de producción de FVH.
- Conocer los factores que inciden en el desarrollo óptimo del FVH de maíz y sorgo.
- Conocer el efecto de la suplementación de FVH de maíz y sorgo en la vaca lechera.

2. MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se basó en la recopilación de datos sobre la suplementación de forraje verde hidropónico en la dieta de vacas lecheras a partir de una revisión de literatura. El estudio contó con una metodología de carácter cualitativa, utilizando la revisión de literatura como principal herramienta. Dicha metodología permitió conocer el efecto de la suplementación de FVH de maíz (*Zea mays*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) en la producción de leche, sanidad animal y nutrición de la vaca lechera. A la vez, permitió describir y comparar diferentes investigaciones y experimentos sobre el tema realizados por diferentes autores.

La investigación se realizó durante los meses de agosto y septiembre de 2020, mediante la recopilación en bases de datos que brinda la Biblioteca Wilson Popenoe visitando sitios de relevancia científica tales como la FAO, Research Gate, Scielo y Dspace. La ruta de búsqueda consistió en el uso de palabras claves tales como forraje verde hidropónico, maíz, sorgo, dieta, ganado lechero, nutrición, costos y análisis bromatológico, grasa, volumen, proteína cruda, materia seca, nutrientes, entre otras.

La selección de los artículos se basó en resúmenes y temática de interés (FVH), sin embargo, no todos los artículos fueron seleccionados para esta revisión. El contenido de los estudios fue el principal criterio para la elegibilidad e inclusión en el documento. Los artículos consultados fueron escritos en su mayoría en el idioma español e inglés. Se incluyeron estudios de los últimos 39 años (1981 a 2020), debido a que es una práctica que se ha ido trabajando durante muchos años y se ha acoplado a las necesidades de cada hato lechero.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ventajas y Desventajas

Las ventajas del sistema de producción de FVH son: ahorro de agua, menores costos de producción, uso eficiente del espacio, tiempo de producción y calidad.

Ahorro de agua. Al utilizar este tipo de sistemas la pérdida de agua por escurrimiento, infiltración y evapotranspiración se reduce en comparación con la producción convencional de forraje. Según López *et al.* (2009) la técnica del FVH emplea menos de 2 L de agua para producir un kg de forraje, lo que equivale a 8 L para promover un kg de materia seca de FVH.

Costos y uso eficiente del terreno. La producción de FVH puede reducir costos de hasta 10 veces menos en comparación a la producción de forrajes utilizando el método convencional, el sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en sistema vertical lo que optimiza el uso del espacio útil por metro cuadrado (López y Mcfield 2013).

Tiempo de producción. El FVH tiene un ciclo de producción de 10-15 días según Martínez (2005); sin embargo, se recomienda no extender la cosecha más allá de los 12 días, ya que el valor nutricional disminuye a partir de ese mismo día (FAO 2001).

Calidad del forraje. El FVH es rico en vitaminas, especialmente la A y E, contiene carotenoides que varían de 250 a 350 mg/kg de materia seca (MS), posee una elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo, su digestibilidad es alta, ya que la lignina y celulosa están presentes en pequeñas cantidades (López y Mcfield 2013). Además de su alto contenido nutricional, el producto final es limpio e inocuo, ya que está libre de plagas y enfermedades. Con la implementación de FVH en la alimentación de la vaca lechera, se evita que el animal consuma malezas o pasturas indeseables que perjudiquen el proceso de metabolización y absorción de nutrientes. Datos de producción indican que los animales que consumen FVH no sólo tienen menos riesgo de sufrir mastitis, sino que, además, aquellos que la contraen a pesar de ingerir FVH, se recuperan en menos de la mitad del tiempo que los alimentados en forma convencional (FAO 2001).

En cuanto a las desventajas de la producción de FVH son: la falta de capacitación a los ganaderos por parte de las instituciones gubernamentales, el bajo contenido de materia seca el cual se resuelve al complementar la ración de FVH con alimentos concentrado y heno. Martínez (2005), sostiene que el FVH posee un bajo contenido de fibra, por lo que este no puede ser utilizado como una dieta completa, sino como un suplemento alimenticio. Se puede apreciar que las ventajas de la producción de FVH son numerosas en comparación con las desventajas, por lo que esta es una alternativa favorable para la alimentación de la vaca lechera, destacando como beneficios principales que es un producto inocuo, que se obtienen en un corto tiempo, con altos rendimientos y con el uso eficiente de los recursos, como se mencionó anteriormente.

Descripción de las instalaciones

La localización de las instalaciones para producción de FVH no exige grandes requisitos, pueden hacer uso de materiales económicos y sencillos o realizar construcciones de invernaderos formales. Como parte de una estrategia, el productor debe realizar la construcción de estas instalaciones cerca de las explotaciones ganaderas o próxima a estas (Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017). Para iniciar la construcción se debe nivelar bien el suelo; buscar un sitio que esté protegido de los vientos fuertes; que cuente con disponibilidad de agua de riego de calidad aceptable para abastecer las necesidades del cultivo y con fácil acceso a energía eléctrica (FAO 2001).

Existen diferentes tipos de instalaciones que pueden ser construidas artesanalmente con bambú y plástico o pueden ser sofisticados modelos con alta tecnología y con uso reducido de mano de obra. Estos cuentan con métodos operativos en los cuales se utiliza modernos instrumentos de medición y de control (relojes, medidores del pH, medidores de conductividad eléctrica y controladores de la tensión de CO₂). De acuerdo con su complejidad, estas pueden ser clasificadas en:

Sistemas horizontales. Los sistemas de producción horizontales son utilizados por los productores que no poseen las condiciones económicas para construir invernaderos, o que no cuentan con el espacio suficiente para ellos. Sin embargo, la desventaja de estos sistemas es que el rendimiento por metro cuadrado es menor, el uso de mano de obra es mayor por lo que eleva los costos y se debe realizar una mayor inversión en sistemas de riego (Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017).

Plástico en piso. El plástico debe tener un metro de ancho y el largo debe ser determinado según el terreno seleccionado por el productor. Es importante que el terreno sea plano, sin problemas de inundaciones y cerca de la explotación animal. El plástico debe ser de calibre grueso resistente a la tensión, ya que esta es la que facilita la distribución uniforme de la semilla sobre él, además de brindar una superficie plana para evitar la formación de charcos y evitando problemas fitosanitarios (Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017). En el caso de que haya encharcamiento en el plástico, se recomienda perforarlo de manera que el tamaño del orificio sea de menor tamaño que el grano y de esta manera evitar pérdidas (Figura 1).



Figura 1. Producción de forraje verde hidropónico (FVH) en plástico.
Fuente: Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017.

Bandejas en piso. En este sistema se puede hacer uso de materiales reciclables, limpios y que estén adaptados para la producción de FVH. Es importante realizar perforaciones en la parte baja de la bandeja, que sirvan como drenaje. Las bandejas deben estar localizadas a favor de la pendiente del terreno, la cual debe ser de un 5% (Sánchez 2017) (Figura 3).



Figura 2. Producción de forraje verde hidropónico (FVH) con bandejas en piso.
Fuente: Sánchez 2017.

Camas. Posee una delimitación perimetral similar a las que utilizan para los cultivos de hortalizas. La diferencia entre ambas es que el fondo de la cama debe llevar un forro de plástico negro, con un ancho de 1-1.10 metros y la altura de los laterales debe ser aproximadamente de 10 cm. Esta es una de las técnicas más utilizadas por los productores que tienen terrenos con pendientes (Figura 3).



Figura 3. Producción de forraje verde hidropónico (FVH) en camas.
Fuente: Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017.

Sistemas verticales. Los sistemas de producción vertical son apropiados para la producción de FVH, ya que esta resulta ser más efectiva y productiva. Le brinda al productor mayores oportunidades de adaptación, uso eficiente del espacio, mayor producción por metro cuadrado y le permite tener en uso tecnología en diferentes grados. Requieren de una inversión inicial por parte del productor, sin embargo, los rendimientos la justifican (Rodríguez 2003).

Vertical sobre estantes de madera. Este sistema se desarrolla sobre estructuras las cuales deben ser resistentes y de larga duración. Los estantes pueden ser construidos con bambú o madera, con un ancho de 0.30 y 0.40 metros, mientras que el largo o altura va a depender del sitio se va a producir el FVH. Las bandejas pueden ser de cualquier tipo u origen, lo más común es que sean recipientes de plástico con perforaciones pequeñas para drenar el agua del riego (Figura 4).



Figura 4. Diseño de una estructura de madera para la producción de forraje verde hidropónico (FVH).

Fuente: Rodríguez 2003.

Vertical sobre estantes metálicos. Los racks son diseñados con diferentes metales como varilla de acero de 10 mm, sin embargo, el calibre de la varilla va a variar según el nivel de racks y el peso de las bandejas. Se realizan también este tipo de estructuras con paneles de yeso resistentes al agua, las cuales son de bajo costo y la alternativa más viable para los pequeños y medianos productores. Según Guzmán Ramírez y De La Pava López (2017), menciona que las vigas de este material han mostrado una buena resistencia para los estantes de cuatro niveles, con 16 bandejas y un peso promedio de 100 kg al cosechar el FVH a los 14 días después de siembra (Figura 5).



Figura 5. Sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) en estantes metálicos.

Fuente: Rodríguez 2017.

Etapas de producción

Para ambos sistemas, el horizontal y vertical, la producción de forraje verde hidropónico está basada en el mismo método productivo. Existen diferentes técnicas para la producción de FVH que se adaptan a las necesidades del productor y su nivel económico, estas técnicas se pueden llevar a cabo en plásticos de color negro en el piso o en bandejas plásticas localizadas en invernaderos que cuentan con un ambiente favorable para el óptimo desarrollo de la planta (Hydroenvironment 2020). De acuerdo con Reyes *et al.* (2012), sin importar el método que vaya a utilizar el ganadero, el proceso a seguir para la producción de FVH es el mismo y se deben considerar las siguientes etapas:

Etapas 1: Selección de la semilla. Usualmente se utilizan las especies de trigo, avena, cebada, maíz y otros cereales para la elaboración de FVH, dependiendo de la disponibilidad de la zona. Es importante que las semillas de maíz y sorgo contengan un porcentaje de humedad del 12 % y debe estar libre de cualquier impureza, enfermedad y hongos, de igual forma deben estar libre de insecticidas y fungicidas (Zagal-Tranquilino *et al.* 2016). Además, las semillas tienen que ser idóneas, debe ser entera y seca y tener por lo menos un 85% de poder germinativo (Tarrillo 2005).

Etapas 2: Prelavado de las semillas. Las semillas utilizadas se deben sumergir en el agua y las semillas que queden en la superficie del agua deben ser retiradas; se procede a frotar las semillas que quedaron en el fondo del recipiente entre sí, cambiando el agua del recipiente tres veces para eliminar impurezas (Mejía Castillo y Orellana Núñez 2019).

Etapas 3: Desinfección y lavado. Se debe realizar una desinfección de la semilla con cloro al 1% (10 mL/L de agua) para eliminar la presencia de hongos y bacterias. Las semillas deben ser sumergidas durante un período de 1-2 minutos, luego de esto las semillas deben ser sumergidas en agua limpia durante 24 horas, dividido en dos periodos de 12 horas cada uno y se debe considerar una hora de oreado de las semillas entre las dos etapas de este proceso (Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017). Mediante el proceso de lavado se induce la imbibición de la semilla por el estímulo que recibe el embrión y con esto, se activa la pre-germinación. Cuando el proceso de imbibición ha terminado, la intensidad respiratoria aumenta y por lo tanto los requerimientos de oxígeno también, es importante tomar en cuenta que los períodos de imbibición no deben superar las 24 horas, ya que la producción no resultaría efectiva (Reyes *et al.* 2012).

Etapas 4: Siembra. La siembra se realiza en cada una de las bandejas de producción, distribuyendo las semillas en una capa delgada que no sobrepase 1.5 cm de altura (FAO 2001). Las bandejas deben estar ubicadas en un área que cuente con una temperatura adecuada y ausencia de luz durante las primeras 24-48 horas para favorecer la germinación. La cantidad de semilla sembrada debe estar basada en las dimensiones de la bandeja y los requerimientos de la especie a la que vayamos a alimentar.

Etapas 5: Ubicación de la semilla. Las bandejas deben ubicarse en camas, plástico negro y estantes que soporten su peso. A la vez, la ubicación de la semilla debe permitir que esta tenga una buena aireación, luminosidad y temperatura. Por último, la estructura debe contar con una línea de desagüe y una inclinación de (3 cm) para eliminar el exceso de agua y si se coloca en el piso, deben ser ubicadas a favor de la pendiente para evitar encharcamientos.

Etapa 6: Germinación de las semillas. La temperatura, humedad, oxígeno y oscuridad son factores externos que la semilla necesita para poder desarrollar su proceso de germinación. Las semillas deben ser tapadas con un plástico de color negro para mantener la oscuridad y temperatura que se necesita para la germinación de esta (Reyes *et al.* 2012). En cuanto a la temperatura, se debe tener cuidado de que esta no exceda los 25 °C. Según Reyes *et al.* (2012), si el forraje de las especies trigo, maíz, sorgo, cebada y avena, queda expuesto a temperaturas por sobre los 32 °C no logran crecer. Por último, se recomienda realizar dos riegos al día para mantener la humedad durante esta etapa (Reyes *et al.* 2012). La etapa de germinación finaliza cuando el entrelazado de la raíz se ha formado, lo cual ocurre entre el cuarto y quinto día. Es necesario que ocurra esto, ya que ayuda a mantener las plántulas fijas (López y Mcfield 2013).

Manejo del FVH: Riego y fertilización. El riego debe realizarse a través de micro-aspersores o nebulizadores y se puede realizar también con una pulverizadora. Se requiere partículas pequeñas de agua, ya que al tener un exceso de agua se da una asfixia radicular y ataque de hongos lo que lleva a una pudrición que puede causar la pérdida total del FVH. Los sistemas de riego por microaspersión y nebulizado son de los que han dado mejores resultados; porque a diferencia de otros sistemas el riego es proporcional, uniforme y el tamaño de la gota no ocasiona ningún daño a la semilla (Hydroenvironment 2020).

De acuerdo con Lomelí (2000), para producir 1 kg de FVH con un 12-18% de MS se necesitan de 2-3 L de agua por día, lo cual se traduce a un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca (MS) en un periodo de producción de 14 días. Según la FAO (2001) a partir del día 1 al día 6 después de la siembra, se debe aplicar únicamente agua en un volumen de 0.5/m²/día dividido en 6-9 riegos y a partir del día 7 al día 12 se deben aplicar soluciones nutritivas e incrementar el volumen hasta llegar a un promedio de 0.9 a 1.5 litros/m²/día con una menor frecuencia. La frecuencia de riego va a depender de las condiciones ambientales en las que se encuentre el cultivo, por lo que se recomienda de 4-6 riegos durante el día (Sommantico 2018). Sin embargo, Ramirez (2016) en su estudio, reportó una eficiencia de uso de agua de 1.46 L/kg de peso fresco (PF) y 17.7 L/kg de MS, lo cual representa un aumento sustancial en comparación a los rangos establecidos por la FAO en el 2001. El volumen de agua de riego se basa en los requerimientos del cultivo y las condiciones ambientales en las que se encuentra el FVH. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas del cultivo se encuentran levemente húmedas al igual que su respectiva masa radicular (Sánchez 2002).

Etapa 8: Cosecha y rendimiento. El mayor volumen y el rendimiento deben ser valorados con la calidad, ya que el factor tiempo es un elemento que tiene un impacto negativo en términos de una producción eficiente. En términos generales, de 10 a 14 días es el periodo óptimo de cosecha del FVH; sin embargo, en función del requerimiento de forraje, se puede cosechar antes o después (López y Mcfield 2013).

La cosecha del FVH es el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja de producción. Esta biomasa está compuesta por las hojas, el tallo y el sistema radicular, semillas sin germinar y las semillas semi germinadas (Figura 6).



Figura 6. Biomasa de forraje verde hidropónico (FVH) compuesta por tallo, sistema radicular, semillas germinadas y no germinadas.

Fuente: Sánchez Del Castillo *et al.* 2013.

Factores que afectan la producción de FVH

Calidad de semilla. la calidad de semilla es un factor que determinará el éxito de todo FVH. La semilla debe de presentar como mínimo un porcentaje de germinación de 95-100% para evitar pérdidas en rendimiento (Garduño 2011). Sin embargo, Tarrillo (2005) menciona que la semilla debe ser entera y seca y con un poder germinativo de 85%. Por lo que podemos inferir que el rango óptimo de germinación debe ser de 85 a 100%.

Iluminación. La luz es un elemento básico para el crecimiento de las plantas, ya que, promueve la síntesis de compuestos nutricionales como las vitaminas, las cuales son de vital importancia en la nutrición animal (Urías 1997; FAO 2001). Es un aspecto con una gran relevancia debido a que a mayor iluminación se obtiene una mayor producción de biomasa mientras en ausencia de iluminación tendremos una baja actividad fotosintética. A pesar de la importancia de la luz para el buen desarrollo del FVH, en sus primeros 4 a 5 días no se recomienda, por lo tanto, la semilla debe ser tapada con un plástico negro con el propósito de estimular la germinación y elongación del tallo (Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017). De acuerdo con Vargas Tarqui (2015), las semillas deben de permanecer bajo estas condiciones por un tiempo de 48 horas. Con lo que podemos concluir que esto va a depender del vigor de la semilla. Según Maldonado *et al.* (2013) para la obtención de FVH, se debe contar con un período de luz de 13 a 16 horas en promedio, sin importar si esta es artificial o natural. Sin embargo, los requerimientos de luz aumentarán conforme al crecimiento del forraje. Rodríguez (2006) considera que, en términos generales, un invernadero con cubierta plástica que proporcione 50% de sombreo es suficiente para la producción de FVH.

Temperatura. La temperatura es un factor de suma importancia, ya que cada uno de los cultivos tienen su propio rango de temperatura óptima para las etapas de germinación y crecimiento. Por lo tanto, en este factor debemos de tomar en cuenta el cultivo que estemos utilizando. En nuestro caso el maíz y sorgo fueron nuestros cultivos a utilizar como FVH. La temperatura ideal para el

desarrollo de maíz es de 15 °C, y para la etapa de crecimiento la temperatura debe ser de 24 a 30 °C (Rodríguez 2006; FAO 2001).

El sorgo requiere de altas temperaturas para su desarrollo óptimo, siendo por la tanto más sensible a las bajas temperaturas que otros cultivos. Según Carrasco *et al.* (2011), la siembra debe realizarse a una temperatura de 15 °C y se debe mantener un rango de 18-20 °C. El crecimiento de la planta no es verdaderamente activo hasta que se sobrepasan los 15 °C, situándose el óptimo hacia los 32 °C (Vargas Tarqui 2015).

Humedad. La humedad está altamente ligada a la temperatura de donde se encuentre nuestro forraje verde hidropónico, ya que al tener una alta humedad relativa y una elevada temperatura, existe la probabilidad de que haya una proliferación de hongos (Deras Flores y de Serrano 2018). De acuerdo con Rodríguez (2003), la humedad relativa en el interior de un invernadero no debe de ser menor a 70% y los valores superiores a 90% sin adecuada ventilación pueden causar enfermedades fúngicas.

Calidad del agua de riego. La condición básica que debe presentar un agua para ser usada en sistemas hidropónico es su potabilidad (FAO 2001), ya que, si no lo es, se podrían presentar problemas sanitarios en el FVH. Se recomienda realizar un análisis microbiológico antes de usar el agua.

El rango de pH óptimo del agua de riego oscila entre 5.5 a 6.0, a excepción de las leguminosas que pueden desarrollarse en un pH de 7.5. Sin embargo, el maíz y sorgo no se desarrollan eficientemente en pH arriba de 7, por lo que se recomienda mantener el pH en un rango de 5.5 a 6.5, para favorecer la disponibilidad y absorción de los nutrientes (López y Mcfield 2013).

La conductividad eléctrica (CE) nos indica la concentración de sales en una solución. En términos fisicoquímicos la CE de una solución significa una valoración de la velocidad que tiene un flujo de corriente eléctrica en el agua (FAO 2001). El rango óptimo de CE en una solución nutritiva debe ser de 1.5-2.0 mS/cm, por lo que aguas con una conductividad eléctrica menor a 1.0 serían las más aptas para preparar la solución nutritiva. Debe tenerse presente también que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 miligramos por litro de agua (Hess *et al.* 1999).

Densidad de siembra

Las densidades óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2.2 kg y 3.4 kg (FAO 2001; Rodríguez 2003; Vargas-Rodriguez 2008; Salas-Pérez *et al.* 2010; Cerrillo Soto *et al.* 2012; Maldonado *et al.* 2013). Sin embargo, un estudio realizado por Duran Baron (2007), estableció que 2.5 kg/m² es la densidad óptima para producir FVH, ya que existe menor competencia de nutrientes por parte de las plántulas.

Vargas Tarqui (2015) obtuvo rendimientos de 15.96 kg/m² al utilizar una densidad de siembra de 1.25 kg/m² en maíz y con una densidad de 2.5 kg/m² en sorgo obtuvo rendimientos de 12.9 kg/m². Mientras que en el caso del maíz el mayor rendimiento obtenido en el estudio realizado por Gomez Hidalgo (2007) fue utilizando una densidad de 1.0 kg/ m², el cual resultó en 25.4 kg/m² de forraje al finalizar la etapa de producción. Sin embargo, Rodríguez (2008) al comparar la producción de

biomasa entre maíz, sorgo y arroz, reportó que el mayor rendimiento de biomasa se obtuvo en sorgo negro forrajero (302.78 kg/m^2) de FVH seguido del maíz que obtuvo rendimientos de 239 kg/m^2 . En otra investigación, González González y Blandón Valdivia (2014), evaluaron cuatro variedades de sorgo, al finalizar el estudio reconocieron que se disminuyó la cantidad de biomasa vegetal, obteniéndose en el mejor de los casos 7.56 kg/m^2 con una densidad de siembra de 2 kg/m^2 . López-Aguilar *et al.* (2009) evaluaron tres densidades de siembra (1.5 , 2 y 2.5 kg/m^2) en el cultivo de maíz; mediante su experimento, obtuvo un mayor rendimiento en FVH y materia seca (MS) con una densidad de 2.5 kg/m^2 , pero una mayor conversión de semilla utilizando una DS de 2 kg/m^2 .

Por lo tanto, podemos decir que el rendimiento va a depender de la densidad de siembra y la variedad que se está sembrando. En base a la literatura consultada la densidad óptima de semillas a sembrar es de 2.5 kg/m^2 , ya que con esta se obtiene un mayor rendimiento en FVH y valor nutricional del cultivo por la baja competitividad de nutrientes por parte de las plántulas.

Soluciones nutritivas

La hidroponía es una técnica que permite cultivar forraje a pequeña o gran escala, sin la necesidad de usar un sustrato (Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017). La práctica se lleva a cabo mediante la incorporación de los nutrientes esenciales a la planta, para su crecimiento y desarrollo, a través del riego. Las raíces de la plántula absorben una concentración de minerales esenciales equilibrada diluida en agua, para su propio desarrollo (Garduño 2011). En la literatura, se ha reportado una alta variabilidad en cuanto a las concentraciones de nutrientes utilizados en la nutrición del FVH (FAO 2001; Salas-Pérez *et al.* 2010 y 2012; Candía 2014; Maldonado *et al.* 2013).

Cuadro 1. Concentración de nutrientes en diferentes soluciones utilizadas como fertilizante en FVH de maíz y sorgo.

Referencia	Cultivo	Tratamientos evaluados	Nutrientes (mg/L)						
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
FAO 2001	No específica	Solución nutritiva a base de fertilizantes minerales	207	83	178	ND	71	90	10
Salas-Pérez <i>et al.</i> 2010	Maíz	Solución nutritiva a base de fertilizantes minerales	202	48	32	81	60	9.4	23
		Té de compost	238	39	53	80	91	2.6	10.4
		Agua	ND	ND	14	47	8	13	ND
Viquez 2016	Sorgo	Agua	6.2	0.3	3.6	12.6	5.4	0.9	ND
		Solución nutritiva a base de fertilizantes minerales	94.6	18.4	145.6	94.2	22.3	35.0	0.3
		Solución nutritiva a base de fertilizantes minerales	227	46.1	341.4	202.7	49.5	78.8	1.2
López y Macfield 2013	No específica	12-30-10	200	500	166	ND	ND	ND	ND
		Urea 46%	200	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		15-15-15	200	200	200	ND	ND	ND	ND

La FAO (2001), determinó que, al aplicar soluciones nutritivas a base de fertilizantes minerales, se puede obtener una altura de 20 cm a los ocho días de cosecha. De acuerdo con Salas-Pérez *et al.* (2010), obtuvo excelentes resultados en cuanto al contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), peso fresco, fibra neutro detergente (FND) a excepción de la fibra ácido detergente (FAD), con el uso del té de compost en comparación con los fertilizantes comerciales. Otro estudio realizado por Salas-Pérez *et al.* (2012), el contenido de materia seca (MS) fue elevado, utilizando el té de compost como fertilizante y en el caso de la proteína cruda (PC), también obtuvieron resultados positivos al utilizar el vermicompost y la solución nutritiva química. Por otro lado, Víquez (2016) mediante el uso de dos soluciones nutritivas a base de fertilizantes minerales, obtuvo buenos resultados en cuanto a la altura del sorgo (similares a las de la FAO 2001), pero en el caso del contenido de materia seca (MS), fibra neutro detergente (FND), fibra detergente ácida (FDA) y proteína cruda (PC) fueron inferiores al resto de los estudios anteriormente mencionados. En el estudio realizado por Lopez y Macfield (2013) el mejor resultado fue obtenido por el tercer tratamiento (15-15-15) este tratamiento se destacó sobre el resto de los tratamientos en proteína bruta (PB), Materia seca (MS), fibra neutro detergente (FND) y rendimiento.

Cabe recalcar que cada uno de los estudios contaba con condiciones ambientales, días a cosecha, genotipo, manejo nutricional y riego totalmente diferente. Por lo tanto, podemos decir que los factores mencionados anteriormente, tienen como consecuencia una alta variabilidad en los resultados reportados por estos autores.

Efecto de las soluciones minerales en la composición bromatológica del FVH

Proteína verdadera (PV) (g/m²). A medida transcurre el tiempo, los valores de PV disminuyen, por lo que el aporte proteico se reduce en relación con el aporte del grano. Independientemente de la solución nutritiva utilizada, al cumplir los 15 días se da esta reducción. Según los experimentos realizados por Dosal (1987), las pérdidas pueden ser significativas si no se fertiliza con nitrógeno.

Proteína bruta (PB) (g/m²). De acuerdo con Contreras *et al.* (2015), el forraje verde hidropónico es valorado por sus niveles de proteína bruta. Van Soest *et al.* (1994) señalaron que el contenido mínimo de PB en el FVH es de aproximadamente un 7%.

Específicamente en maíz, Müller *et al.* (2005) informaron que a menor edad del germinado y mayor densidad de semilla por unidad de área, se obtienen mayores valores de PB. Sin embargo, con otras variedades de maíz: grano amarillo (PB: 20.41%) y blanco (PB: 16.83%) se han obtenido concentraciones proteicas mayores a las de este experimento (Deras Flores y de Serrano 2018). Rodríguez *et al.* (2009) registraron que el sorgo obtuvo un mayor rendimiento de 21.65 kg, con un contenido de PB de 10.47%, la cual fue la más alta de su experimento gracias a las soluciones nitrogenadas aplicadas. Vargas Tarqui (2015) reportó que el FVH de sorgo en su experimento obtuvo 17.2% de proteína bruta y en este caso los tiempos de cosecha jugaron un papel muy importante de esta variable. En el estudio realizado por Guzmán Ramírez y De La Pava López (2017) el contenido de proteína bruta en el FVH de maíz fue de 18.95% regando solo con agua. Salas-Pérez *et al.* (2010) obtuvo mejores resultados en el contenido de PB (13.3%) aplicando soluciones nutritivas, comparado con el testigo de ese mismo estudio (12.2%).

Fibra neutro detergente / fibra ácido detergente. La calidad del FVH también es valorado por un buen balance de fibra, ya que esta determina la digestibilidad de los nutrientes en el alimento (Ramírez y López 2017). Según Candía (2014), fibra neutro detergente (FDN) es el componente digerible del forraje. Con relación a lo mencionado, López y Mcfield (2013) indican que al tener valores arriba de 55% de FND afecta la digestibilidad del alimento por parte del animal, ya que la relación entre el contenido de FND, valor nutricional, consumo y digestibilidad es inversamente proporcional. Por otro lado, la fibra ácido detergente (FAD) es la porción insoluble de la fibra cruda y una determinante para la adecuada fermentación del alimento en el rumen (Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017). Maldonado *et al.* (2013) establecieron que las raciones de alimento para ganado lechero deben contener aproximadamente 19-27% de FAD, para mantener el contenido de grasa en la leche. Gómez Burneo (2008) obtuvo resultados satisfactorios en cuanto al contenido de FAD y FND, los cuales fueron de < 32% y < 40% independientemente del uso de soluciones nutritivas. Sin embargo, en otros estudios las soluciones nutritivas aplicados en el riego del FVH de maíz y sorgo no tuvieron ningún efecto en el contenido de FND y FAD (Ramírez y López 2017; Lopez *et al.* 2009; Acosta Lozano *et al.* 2016).

Pared celular (PC). De acuerdo con Trujillo y Uriarte (2010), durante los días de mayor crecimiento y desarrollo del FVH, ocurre una disminución de la calidad del alimento, debido a un incremento en el contenido de pared celular, un nivel bajo de digestibilidad del FVH y una reducción de los compuestos solubles y nitrogenados.

Lignina. En el FVH, existe un aumento en la cantidad de lignina (g/m^2) en comparación con el grano, lo cual nos indica que si existe una síntesis durante la etapa de crecimiento del FVH. La lignina cumple un rol importante en la estructura celular (Avendaño 2017). El aumento de la lignina en el FVH con respecto al grano se debería al incremento en la actividad de enzimas relacionadas a la biosíntesis de la lignina (tirosina amonioliasa) (FAO 2001). La luz, la temperatura, concentración de etileno y el metabolismo de hidratos de carbono, son los factores que regulan la actividad de la enzima precursora de la lignina.

Digestibilidad estimada (DE). Aprovechamiento de un alimento, es decir la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición (FAO 2001). La digestibilidad varía de acuerdo con los factores que poseen los alimentos y por efecto los animales que los consumen. En general, la digestibilidad de los granos de cereales y otras fuentes de azúcares o almidones es elevada para todas las especies de animales de granja (Avendaño 2017). También, la digestibilidad estimada, disminuye en cuanto al grano al cumplir las dos semanas, independientemente de las soluciones nitrogenadas.

Cuadro 2. Composición bromatológica de las especies gramíneas maíz y sorgo.

Contenidos Porcentuales (%)									
Referencia	Material	MS	PC	C	FND	Cel	Hem	Lig	FAD
(Vargas-Rodriguez 2008)	Maíz	11.54	9.61	2.41	43.13	11.21	24.25	7.67	18.89
(Vargas-Rodriguez 2008)	Sorgo	11.48	10.47	6.54	66.66	30.96	21.42	14.28	45.17
(Pereira y Zúniga 2016)	Maíz	12.72	13.32	N/D	34.32	N/D	N/D	N/D	13.52
(Pereira y Zúniga 2016)	Sorgo	11.98	11.88	N/D	51.53	N/D	N/D	N/D	20.30
(Romero 1999)	Maíz	18.00	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
(Romero 1999)	Sorgo	13.00	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
(Lopez <i>et al.</i> 2009)	Maíz	20.90	15.20	6.70	N/D	21.80	N/D	21.80	N/D
(Gomez 2008)	Maíz	22.08	10.50	N/D	37.6	N/D	N/D	N/D	13.00
(Gomez 2008)	Sorgo	13.68	9.80	N/D	44.80	N/D	N/D	N/D	22.00

C: Cenizas; FND: Fibra neutra detergente; Cel: Celulosa; Hem: Hemicelulosa; Lig: Lignina; FAD: Fibra ácido detergente.

Composición bromatológica de las especies gramíneas

Romero (1999), mostró niveles de 18% de MS para maíz y 13% de MS para sorgo, utilizando densidades de 3 kg/m² para ambas semillas, aplicando fertilizantes y cosechando a los 12 días. En el estudio realizado por Lopez *et al.* (2009), obtuvieron un contenido superior de MS (21%) para el maíz, utilizando densidades de 2 kg/m², sin utilizar fertilizantes y con cosechando a los 14 días después de la siembra. En el caso de Gómez (2008), encontró niveles de 10.5% de PC para maíz y 9.8% de PC para sorgo, utilizando una densidad de 2 kg/m² de ambas semillas sembradas sobre bandejas, cosechando a los 11 días. Lopez *et al.* (2009) encontraron un tenor de 14.5% de proteína (P) en maíz con densidades de 1.5 kg/m² también sembrado sobre bandejas plásticas. Gómez (2008) tuvo niveles de 13% y 22% de FAD para maíz y sorgo, respectivamente, utilizando densidades de 2 kg/m² de semilla sembrada sobre bandejas. Según Gómez (2008), quien evaluó combinaciones de maíz, sorgo y dólicos, el maíz tuvo una FND de 37.6% y en el caso del sorgo fue de 44.8%

De acuerdo con Vargas-Rodriguez (2008), el material con mejor contenido de proteína cruda (PC) fue el sorgo, ya que presentó 10.47% de dicho nutriente y en el caso del maíz fue de 9.61% respectivamente. De acuerdo con Müller *et al.* (2005) puede haber reducciones conforme al avance

en la madurez del cultivo. En este mismo estudio, el maíz obtuvo un contenido del 17.4% de PC y siendo cosechado 2 días después se redujo a 13.4%. Comparando los resultados obtenidos en el estudio realizado por Baleiro *et al.* (2000), se puede reafirmar la idea, ya que el obtuvo valores de 11.7% de proteína cruda a los 16 días después de la siembra. Al igual que Carballo (2000) en su experimento, obtuvo niveles altos de PC de un 18.80% al cosechar el FVH de maíz a los 12 días después de la siembra. Los niveles altos de cenizas en el FVH de sorgo se deben a la cutícula que recubre a la semilla, caso contrario a la semilla de maíz (Carballo 2000; FAO 2001).

En el caso de los altos niveles de hemicelulosa, celulosa y lignina (componentes de la pared celular), se logró determinar su importancia para la producción de ácidos grasos volátiles, los cuales son traducidos al final en el contenido graso de la leche (Vargas-Rodríguez 2008). De acuerdo con Vargas-Rodríguez (2008), existe una diferencia entre el contenido de celulosa y lignina en el FVH de maíz y sorgo, obteniendo mayores resultados en el sorgo. Mientras que en la hemicelulosa no se encontraron diferencia entre ninguna de las dos especies de FVH. Vargas-Rodríguez (2008) menciona que el alto contenido de lignina en el sorgo puede ser una limitante, a pesar de contener el nivel más alto de PC.

Según el “National Research Council” (NRC 2001), en el periodo de lactación las vacas deben contener como mínimo un 25% de fibra neutro detergente (FND), de la cual el 75% lo suple el forraje. De esta manera se asegura la producción de saliva suficiente para regular el pH del rumen. Se puede inferir mediante los resultados obtenidos en el análisis bromatológico de Valencia (2007), ambos forrajes verdes hidropónicos, de maíz y sorgo, cumplen con los requerimientos. A la vez, podemos inferir que los niveles de fibra ácido detergente (FAD) en los FVH de ambas especies, son parecidos al contenido de FND en estos. Romero (1999) reportó que al aumentar los días de cosecha del FVH aumenta el contenido de materia seca (MS).

Efecto de los fertilizantes en el animal

Las plántulas fertilizadas con elevadas dosis de fertilizantes nitrogenados acumulan nitrato (NO_3^-) y otros componentes no proteicos del nitrógeno (N), que provocan un envenenamiento en los rumiantes (Horrocks y Valentine 1999). De acuerdo con Maldonado *et al.* (2013) el nitrato puede ser tóxico en estos animales, sin embargo, Maldonado *et al.* (2013) señala que su efecto cambia cuando en el rumen estas sales son reducidas a dióxido de nitrógeno NO_2^- .

Las investigaciones anteriormente mencionadas, determinaron que cuando la vaca ingiere niveles subletales de NO_3^- sufre de abortos, una baja en la producción de leche, interferencia en el uso de la vitamina A y problemas de crecimiento (Horrocks y Valentine 1999). Los temblores, respiración acelerada, tambaleo e incluso la muerte son signos de intoxicación por alto contenido de nitrato (0.7 a 2.2 g/kg) en el forraje (Maldonado *et al.* 2013). De acuerdo con la literatura, la dosis letal basada en el peso del animal es de 0.05% de nitrato (Maldonado *et al.* 2013). Campabadal (1999), determinó que al consumir proporciones pequeñas de manera gradual en presencia de carbohidratos como el maíz y mediante la adición de sulfuro (S), se reduce el riesgo de intoxicación por NO_3^- , ya que el pH del rumen es ácido lo que facilita la reducción de estas sales.

Suplementación con FVH de maíz y sorgo en ganado lechero

Actualmente es poco conocido el uso de forraje verde hidropónico como inclusión en las dietas para bovinos en la producción de leche. En Honduras el método de pastoreo es la principal fuente de alimentación de bovinos, según la Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA 2000) los pastizales en Honduras alcanzan más de 1.5 millones de hectáreas, lo que demuestra un método tradicional en las dietas para la producción ganadera.

De acuerdo con el estudio realizado por Orjuela (2015), quien evaluó el uso de forraje verde hidropónico en la producción de leche, demuestra en sus resultados que existe una correlación positiva al aumentar los niveles de suplementación de FVH en la dieta con el volumen producido de leche comparándolas con una dieta de pastoreo convencional. Estos resultados concuerdan con lo establecido por Valdivia (1996) en una prueba de producción con ganado lechero, donde alimentó a cinco vacas durante 15 días con 18 kg/vaca/día de FVH, además de ensilaje de maíz, concentrado, rastrojo de maíz y melaza, granos de sorgo y maíz molidos y obtuvo como resultados que la producción de leche con la inclusión de FVH se elevó en un 18%.

Por otro lado, es importante mencionar la calidad de la leche como un factor importante ya que en Honduras el precio por litro de leche se ve influenciado por el contenido de sólidos. Mora-Agüero (2009) evaluó el uso de FVH en la producción de leche, demostrando en sus resultados que no existe diferencias en dietas con y sin la inclusión de FVH en el contenido de sólidos totales sin embargo existe un aumento numérico para esta variable; así mismo Valdivia (1996) en su estudio mencionado anteriormente demostró que si existe un incremento en la producción de grasa la cual fue 15.2% mayor en las vacas bajo estudio con el suministro de FVH; destacando que la grasa es uno de los principales parámetros de calidad de leche.

Estos resultados mencionados anteriormente son producto del alto valor nutricional que tiene el uso de FVH en la dieta, Tarrillo (2005) en su manual de producción “Forraje Verde Hidropónico” describe el FVH de maíz como un suplemento forrajero de excelente valor nutricional, con un 80 – 90% DIVMS, entre 13 y 20% PC, 12 a 25% de fibra cruda, y entre un 12 y 20% de materia seca; estos aportes nutricionales son los principales factores que inciden directamente en la calidad de la leche.

Características de los alimentos convencionales

La nutrición es uno de los factores más importantes en un sistema productivo. Al emplear una dieta balanceada y un manejo adecuado se obtienen excelentes rendimientos en los hatos ganaderos. De acuerdo con Ortiz Salazar *et al.* (2005), el productor debe suministrar alimento según las necesidades del animal y que sean de bajo costo. Los bovinos requieren alimentos que contengan agua, materia seca, fibra cruda, proteína, fibra, vitaminas y minerales en cantidades balanceadas y suficientes. Estos elementos comprenden la materia seca que consume el rumiante. De acuerdo con Orjuela (2015), la cantidad de materia seca que consume el animal va a depender de la cantidad de fibra que contiene el alimento. El contenido de fibra también influye en la palatabilidad del alimento, ya que cuando el contenido de fibra es muy alto, el alimento se vuelve poco apetecible para el animal.

El consumo de agua depende de la edad, consumo de materia seca, clima y los niveles de producción por parte del animal. En cuanto al consumo de materia seca, la vaca consume

aproximadamente del 2-3% de su peso vivo y según el volumen de leche que esta produce. Según Valencia (2007), 2/3 partes de la materia seca se da en forma de forraje. La dieta de los bovinos está constituida normalmente por: forraje, heno, ensilaje y concentrado, siendo estas a veces deficientes en el aporte de nutrientes y de alto costo.

El valor nutritivo de los forrajes depende de la especie, fertilizantes utilizados en el cultivo, cantidad de agua en el forraje y la forma de conservación (henificación o ensilaje) adecuada (Martínez 2005). La mayor cantidad de nutrientes en los forrajes se obtiene cuando son cosechados antes de la floración.

En el caso de los concentrados, estos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de nutrientes que aportan. Según su aporte, se dividen en energéticos (maíz sorgo, aceites, grasas, etc.) y proteicos (soya, semilla de algodón, harina de sangre y gluten de maíz). Los alimentos concentrados pueden obtenerse directamente de las cosechas o como subproductos industriales.

Características del FVH

Rodríguez (2008), señala que el forraje verde hidropónico aporta a la alimentación del ganado, una gran cantidad de elementos necesarios para los animales, como agua, materia seca, proteína, fibra, minerales y vitaminas en cantidades balanceadas y suficientes. Diferentes autores coinciden en que el FVH puede ser utilizado como una alternativa en la alimentación animal, especialmente en aquellos sistemas de producción basados en el uso de concentrados (Valdivia 1996; Sánchez 2002; Rodríguez 2003; Carballo 2000; Tarrillo 2005; Castro Ramírez 2012). Su alto valor nutritivo es obtenido mediante la germinación del grano.

De acuerdo con la FAO (2001) el FVH posee un pH de 6-6.5, lo que hace que este sea conveniente como alimento. El FVH brinda todas las vitaminas libres y solubles, haciéndolas más asimilables y con esto evitar el uso de vitaminas sintéticas o cualquier otro suplemento nutritivo. Un ejemplo de esto es la vitamina E, la cual es completamente asimilable y se encuentra en libre circulación por toda la planta. Mientras que en la semilla esta se encuentra en la envoltura cuticular y es expulsada por los animales en las heces (Martínez 2005). El análisis de laboratorio realizado por Martínez (2005) comprobó que no hay vitamina E en las heces de las vacas que consumen este tipo de alimento, lo que demuestra que es completamente asimilable. El contenido de vitamina E en el FVH es de suma importancia para la fertilidad de los animales (Valdivia 1996). También se ha visto un aumento en la fertilidad debido al alto contenido de vitamina C que este posee (15.45 mg por cada 100 g en FVH) y de autodefensas contra enfermedades (Martínez 2005). El FVH contiene una gran cantidad de enzimas que lo hacen doblemente aprovechable, ya que evita el trabajo en el tracto digestivo de la vaca, estimula el sistema endocrino y aumenta la actividad metabólica.

De acuerdo con la FAO (2001), las plantas de FVH absorben los minerales que contienen las soluciones nutritivas y realizan un equilibrio casi perfecto de calcio, magnesio y fósforo. Al suministrar FVH durante toda la dieta, se reducen los trastornos digestivos causados por los cambios en las composiciones y procedencias de los alimentos convencionales.

Recomendaciones para la alimentación de las vacas lecheras

Al momento de realizar una suplementación es importante contar con un plan de alimentación balanceando una dieta con elementos como los carbohidratos, proteína, agua, energía, minerales y vitaminas, que son necesarios en los procesos fisiológicos del animal (Ramírez 2016). Con respecto a los requerimientos nutricionales de las vacas lactantes, el NRC (1978, 2001) estableció los niveles de macro y micronutrientes que debe contener el alimento. La vaca en producción necesita un promedio de 0.18-0.43% de fósforo (P), 0.18-0.60% de calcio (Ca), 0.13-0.15% de magnesio (Mg), 0.0006-0.0008% de potasio (K), 0.004-0.005% de hierro (Fe), 0.005-0.002% de cobre (Cu) y 0.003-0.005% de zinc (Zn). Diferentes estudios demostraron que el FVH en comparación a las pasturas producidas de forma convencional, es capaz de suplir los requerimientos minerales del animal, para su propio mantenimiento y desarrollo. El contenido de P, Zn, Mn, Cu y Mg en el FVH superan al contenido de las pasturas convencionales, a excepción del contenido de Ca que se encuentra dentro del rango (Cabalceta 1999; Villalobos 2006; Salazar Villanea 2007; Lopez *et al.* 2009).

Según la literatura, a las vacas en producción, se recomienda suministrarles un estimado de 12-18 kg de FVH y deben ser divididos en dos raciones, generalmente una se da durante el ordeño con el objetivo de disminuir el uso de alimentos concentrados (Hydroenvironment 2020). Sin embargo, eso va a depender de los litros de leche que esté produciendo la vaca al día. El suministro de FVH le brinda 1.8 kg de proteína diarios al animal, lo que se ve reflejado en el volumen de la leche producido entre un 10-20%, en comparación con las dietas tradicionales (Martínez 2005). Estas dosis anteriormente mencionadas, reemplazan en un 20-50% (óptimo de 30%) las raciones de concentrado (Martínez 2005).

Cuadro 3. Consumo de forraje verde hidropónico (FVH) por parte del animal.

Ganado Lechero	Consumo (kg)
Baja Producción (10-12 L)	15 kg de FVH
Mediana Producción (13-16 L)	20 kg de FVH
Alta Producción (17-20 L)	22 kg de FVH

Fuente: Guzmán Ramírez y De La Pava López 2017

De acuerdo con la FAO (2001), por cada 100 kg de peso vivo se le debe suplementar de 1 a 2 kg de FVH más una ración de fibra a las vacas en producción y en vacas secas, se les debe proporcionar una ración de 0.5 kg de FVH más una ración de fibra de buena calidad. Contreras *et al.* (2015), mencionan que la fibra se fermenta lentamente aportando un bajo contenido de energía al animal e influye negativamente en la producción de ácido en el rumen, pero si aporta una textura física al contenido ruminal el cual estimula la masticación, secreción salivar, rumia y regula el ritmo de paso. Los suplementos fibrosos están constituidos por pastos, heno y hojas de árboles que se encuentran disponible los potreros designados para el pastoreo. De acuerdo con Soto Peña (2020) las vacas en producción necesitan como mínimo 17% y un máximo de 22% de fibra cruda en la MS, si el contenido de fibra supera el 22% en la ración, el consumo de alimento se ve perjudicado y cuando está por debajo del 17% el contenido de grasa en la leche disminuye. Es importante suministrarles el alimento de manera fresca, pero no muy húmedo para contrarrestar problemas de timpanismo, desorden fisiológico causado por un alto contenido de N (Orjuela 2015).

4. CONCLUSIONES

- Se identificaron las ventajas y desventajas de la producción de FVH; se logró conocer las diferentes instalaciones para la elaboración de FVH y las etapas de producción que van desde la selección de la semilla hasta la cosecha.
- Según la investigación, los principales factores que afectan el desarrollo óptimo del FVH son la iluminación y temperatura; los secundarios son la calidad de la semilla, calidad del agua de riego y la humedad.
- De acuerdo con la revisión de literatura la suplementación con FVH influye en la producción de leche, contenido de grasa en la leche, fertilidad y en la incidencia de mastitis.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre la producción de FVH de sorgo, ya que en la literatura la información se encuentra incompleta.
- Realizar análisis bromatológicos de FVH en diferentes especies a diferentes días de cosecha.
- Evaluar el uso de diferentes soluciones nutritivas para la producción de FVH de maíz y sorgo y el efecto de estas en la calidad del alimento.
- Se recomienda utilizar el FVH para la alimentación de los animales en la época seca o durante todo el año como una alimentación suplementaria.
- Realizar estudios con FVH, enfocados en evaluar la respuesta de la vaca lechera a la suplementación con este alimento.
- Evaluar la rentabilidad de la producción de FVH para la Unidad de Ganado Lechero en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

7. LITERATURA CITADA

- Avendaño A. 2017. Evaluación productiva y nutricional de tres variedades de avena forrajera (*Avena sativa*): Cayuse, Ever Leaf y Avena Nativa, con tres niveles de ferti-riego hidropónico en Monguíboyacá [Tesis]. Boyaca-Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 82 p.
- Acosta Lozano NV, Lima Orozco R, Castro Alegría A, Avellaneda Cevallos JH, Suárez Reyes YG. 2016. Evaluación de diferentes sistemas de producción de biomasa hidropónica de maíz. *Centro Agrícola*. 43(4): 57-66.
- Baleiro G, Ferreira J, Viana A, Resende M, Cruz J. 2000. Produção de forragem hidropônica de milho com diferentes substratos. *Ceres*. 60(4): 544-551. doi:10.1590/S0034-737X2013000400014
- Cabalceta G. 1999. Fertilización y nutrición de forrajes de altura. *In XI Congreso Nacional Agronómico. III Congreso Nacional de Suelos, 1999*. San José, Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_239.pdf
- Caldera C. 2015. Forraje verde hidropónico alternativa apta para pequeños y medianos ganaderos [internet]. Argentina: Engormix; [consultado el 13 de ago. de 2020]. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/foros/forraje-verde-hidroponico-alternativa-t21917/>
- Carrasco N, Zamora M, Melin A. 2011. Manual del sorgo. 1ª ed. Buenos Aires, Argentina: INTA; [consultado el 4 de ago. de 2020]. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf
- Candía L. 2014. Evaluación de la calidad nutritiva de forraje verde de cebada *Hordeum vulgare* hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de cuy *Cavia porcellus* a dos concentraciones. *Salud y Tecnología Veterinaria*. 2(1): 55–62. doi:10.20453/stv.v2i1.2202.
- Campabadal C. 1999. Factores que afectan el contenido de sólidos en la leche. *Nutrición Animal Tropical*. 5(1): 67-92. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/11103>
- Carballo C. 2000. Manual de procedimientos para germinar granos para alimentación animal México: ZOE Tecno-Campo; [consultado el 30 de ago. de 2020]. <https://dl-manual.com/download/manual-de-procedimientos-para-germinar-granos-para-alimentacion-animal-0vejyypgk4op?hash=69a5b1bcb498d8ff9b610ef534eb4872>
- Castro Ramírez A. 2012. Forraje hidropónico para alimentar cabras [internet]. Costa Rica: Sitio Argentino de Producción Animal; [consultado el 15 de sept. de 2020]. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/forraje_hidroponico/17-para_cabras.pdf
- Cerrillo Soto MA, Juárez Reyes AS, Rivera Ahumada JA, Guerrero Cervantes M, Ramírez Lozano RG, Bernal Barragán H. 2012. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*. 37(12): 906-913.

- Contreras JL, Tunque M, Cordero AG. 2015. Rendimiento hidropónico de la arveja con cebada y trigo en la producción de germinados. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 26(1):9-19. doi:10.15381/rivep.v26i1.10910.
- Cuesta T, Machado R. 2009. Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. *Biotecnia*. 6(2):127-134.
- Dosal M. 1987. Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de avena producido bajo condiciones de hidroponía [Tesis]. Concepción-Chile: Universidad de Concepción. 106p.
- Duran Baron R, Velez G, Robles J. 2007. Comportamiento fisiológico del maíz blanco en condiciones de hidroponía con diferentes dosis de nutrientes para producción de forraje verde en el norte del Cesar [Tesis]. Valledupar-Colombia: Universidad Popular del Cesar. 11p.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2001. Manual técnico de forraje verde hidropónico. 1ª ed. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; [consultado el 5 de ago. de 2020]. <http://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.htm>
- Flores HR, de Serrano RF. 2018. Cultivo de maíz (*Zea mays L.*). El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA); [consultado el 15 de sept. de 2020]. http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Ma%C3%ADz%202019.pdf
- Garduño Taboada F. 2011. Modelo de producción de forraje verde mediante hidroponía [Tesis]. México D.F.-México: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 94p.
- Gómez Burneo JM. 2008. Evaluación de la producción y la composición nutricional de tres tipos diferentes de forraje hidropónico [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 10p.
- Gomez Hidalgo MI. 2007. Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada, con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes [Tesis]. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 76p.
- González González JH, Blandón Valdivia CN. 2014. Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (*Sorghum*) variedad Inta tortillero precoz, en un invernadero no tradicional [Tesis]. Managua-Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. 26p.
- Guzmán Ramírez CJ, De La Pava López R. 2017. Manual forraje verde hidropónico para pequeños productores [internet]. Colombia: Calaméo; [consultado el 27 de ago. de 2020]. <https://es.calameo.com/read/00527288440fda49deefe>
- Hess HD, Florez H, Lascano CE, Barquero LA, Becerra A, Ramos J. 1999. Fuentes de variación en la composición de la leche y niveles de urea en sangre y leche de vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo de Colombia. *Pasturas Tropicales*. 21(1): 33-42.
- Horrocks R, Valentine J. 1999. *Harvested forages*. 1a ed. San Diego, California (United States of America): Academic Press. 426 p. ISBN: 0123562554.

- Hydroenvironment. 2020. Guía: ¿Cómo incluir en la dieta de tus animales el FVH? México: Hydroenvironment; [consultado el 30 de ago. de 2020]. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=126
- López Pascua PE, Mcfield Garcia SE. 2013. Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) variedad NB6, en un invernadero no tradicional. [Tesis]. Managua-Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. 42 p.
- López-Aguilar R, Murillo Amador B, Rodríguez-Quezada G. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado de zonas áridas. *Interciencia*. 34(2): 121-126.
- Lomelí HM. 2000. Forraje verde hidropónico. El forraje del futuro...Hoy. *Agricultura*. 6(3): 15-18.
- Martínez L. 2005. Producción de forraje verde hidropónico [Tesis]. Coahuila-México: Centro de Investigación en Química Aplicada. 57p.
- Mejía Castillo HJ, Orellana Núñez FS. 2019. Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 5(9): 1103-1120. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7947>
- M O. 2019. Impulsan la producción de forraje hidropónico. Tegucigalpa-Honduras: La Tribuna; [consultado el 3 de sept. de 2020]. <https://www.latribuna.hn/2019/06/20/impulsan-la-produccion-de-forraje-hidroponico/>
- Mora-Agüero CE. 2009. Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) sobre la producción de leche de vacas en pastoreo [Tesis]. Cartago-Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 58p.
- Müller L, Souza do Santos O, Manfron PA, Haut V, Binotto Fagan E, Petter Medeiros SL, Dourado-Neto D. 2005. Produção e qualidade bromatológica de gramíneas em sistema hidropônico. *Revista da FZVA Brasil*. 12(1):88-97.
- Maldonado Torres R, Álvarez Sánchez ME, Acevedo DC, Ríos Sánchez E. 2013. Mineral nutrition of hydroponic forrage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. XIX(2): 211–223. doi:10.5154/r.rchsh.2011.10.053.
- [NRC] National Research Council. 1978. Nutrient requirements of dairy cattle. 5ª ed. Washington D.C. (EEUU): National Academy Press. 83p. <https://doi.org/10.17226/20049>
- [NRC] National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle: 7ª ed. Washington D.C. (EEUU): National Academy Press. 405p. <https://doi.org/10.17226/9825>
- Ortiz Salazar JA, García Terán O, Morales Terán G. 2005. Manejo de bovinos productores de leche. En: Colegio de Postgraduados, Manual para el manejo de bovinos productores de leche. Veracruz: México. Colegio de Postgraduados. 3-57.
- Orjuela Villalobos WG. 2015. Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de trigo como alternativa nutricional en la producción de leche del ganado bovino en Turmeque [Tesis]. Boyacá-Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 86p.

- Pereira Rojas PC, Zúniga Galo TA. 2016. Evaluación de la calidad nutricional de tres densidades de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 25p; [consultado el 16 de sept. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5866/1/CPA-2016-T074.pdf>
- Ramírez C. 2016. Efecto de la nutrición sobre la calidad del forraje verde hidropónico [Tesis]. Cartago-Costa Rica: Escuela de Agronomía, Cartago-Costa Rica. 81p.
- Ramírez C, López F. 2017. Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense*. 41(2): 79-91.
- Rodríguez J. 2017. Sistema de producción de forraje verde hidropónico [internet]. Cordoba: Engormix; [consultado el 13 de ago. de 2020] <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/foros/alimentar-ganado-unicamente-forraje-t41335/>
- Rodríguez R, Hernández D, Flores I, Escobedo A, Santana V, Rodríguez S. 2009. Cascarrilla de avena y paja de trigo utilizados como sustrato para la producción de forraje verde hidropónico. *Revista Tecnociencia Chihuahua*. 3(3): 160-165.
- Rodríguez S. 2006. Como producir forraje verde hidropónico. 3a Ed. México: Editorial Diana. 113p.
- Rodríguez AC. 2003. Forraje verde hidropónico: como producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados. 3a Ed. México: Editorial Diana. 113p.
- Rodríguez A. 2008. Comparación productiva de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. 19(2): 233-240. doi: 10.15517/am.v19i2.5005
- Romero Herrera C. 1999. Evaluación hidropónica de dólicos (*Lablab purpureus L.*), maíz (*Zea mays L.*) y sorgo (*Sorghum bicolor L.*) en producción y calidad de forraje [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 35p.
- Salas-Pérez L, Preciado-Rangel P, Esparza-Rivera JR, Álvarez-Reyna VP, Palomo-Gil A, Rodríguez-Dimas N, Márquez-Hernández C. 2010. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*. 28(4): 355-360.
- Salas-Pérez L, Preciado-Rangel P, Esparza-Rivera JR, Álvarez-Reyna VP, Palomo-Gil A, Rodríguez-Dimas N, Márquez-Hernández C. 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): 215-220.
- Salgado S. 2017. ¿Cuál es el aporte de las actividades agropecuarias al PIB en Honduras? Honduras: Revista Proagro; [consultado el 27 de ago. de 2020]. <https://revistaproagro.com/cual-es-el-aporte-de-las-actividades-agropecuarias-al-pib-en-honduras/>
- Sánchez A. 2002. Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay. Boletín Informativo No.7. Universidad Nacional Agraria La Molina, Octubre-Diciembre 2000. Lima, Perú: Red Hidroponía.
- Sánchez Del Castillo F, Moreno Pérez EC, Contreras Magaña E, Morales Gómez J. 2013. Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. *Revista Chapingo Serie Hortícola*. 19(4): 35-43. doi: 10.5154/r.rchsh.2012.02.020

- Sánchez W. 2017. Producción de forraje hidropónico. Paraguay: ABC Rural; [consultado el 29 de ago. de 2002]. <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/produccion-de-forraje-hidroponico---ing-agr-wilson-sanchez--1592184.html>
- Salazar Villanea S. 2007. Disponibilidad de biomasa y valor nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el distrito de Quesada, Cantón de San Carlos [Tesis]. Cartago-Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 96p.
- [SERNA] Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente. 2000. Primer informe nacional sobre la implementación de la convención de desertificación en Honduras. Honduras: Dirección General de Biodiversidad; [consultado el 24 de sept. de 2020]. <http://www.desastres.hn/RIDH/pdf/doch0091/pdf/doch0091.pdf>
- Soto Peña RG. 2020. Evaluación de tres raciones totalmente mezcladas (TMR) de forraje hidropónico más fibra en la nutrición de vacas lecheras y su relación con sólidos totales [Tesis]. Guanujo-Ecuador: Universidad Estatal de Bolívar. 91p.
- Sommantico S. 2018. Forraje verde hidropónico: la solución para seguir produciendo alimento en tiempos de sequía [internet]. Argentina: Infocampo; [consultado el 24 de sept. de 2020]. <https://www.infocampo.com.ar/forraje-verde-hidroponico-la-solucion-para-seguir-produciendo-alimento-en-tiempos-de-sequia/>
- Tarrillo H. 2005. Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal [Tesis]. Arequipa-Perú: Universidad Agraria La Molina de Trujillo. 84 p.
- Trujillo AI, Uriarte G. 2010. Valor nutritivo de las pasturas [Tesis]. Montevideo-Uruguay: Universidad de la República de Uruguay. 19 p.
- Urías E. 1997. Hidroponía: Como cultivar sin tierra. Boletín informativo No.21. Universidad Nacional Agraria La Molina, Octubre-Diciembre 2003. Lima, Perú: Red Hidroponía.
- Valdivia E. 1996. Producción de forraje verde hidropónico. Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial, 1996. Lima, Perú.
- Valencia Trujillo FI. 2007. Modulo sistema de producción bovino. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia; [consultado el 24 de sept. de 2020]. https://issuu.com/edgargonzalezrodriguez9/docs/sistemaproduccion_bovino_
- Van Soest P, Mertens D, Deinum B. 1994. Preharvest factors influencing quality of conserved forage. *Journal of Animal Science*. 47(3): 712-720. <https://doi.org/10.2527/jas1978.473712x>
- Vargas-Rodriguez CF. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. 19(2): 233-240.
- Vargas Tarqui A. 2015. Rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor*) y cebada (*Hordeum vulgare*) bajo tres densidades de siembra como forraje verde hidropónico [Tesis]. La Paz-Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. 55 p.
- Villalobos L. 2006. Disponibilidad y valor nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) en las zonas altas de Costa Rica [Tesis]. San José-Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 140 p.
- Viquez C. 2016. Efecto de la de la nutrición sobre la calidad de forraje verde hidropónico en la zona de Alajuela, Costa Rica. [Tesis]. Cartago-Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 75p.

Zagal-Tranquilino M, Martínez-González S, Salgado-Moreno S, Escalera-Valente F, Peña-Parra B, Carrillo-Díaz F. 2016. Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. *Abanico Veterinario*. 6(1): 29-34.