



PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

Porfirio Juárez-López¹, Héctor J. Morales-Rodríguez², Manuel Sandoval-Villa³, Alejandro A. Gómez Danés⁴, Elia Cruz-Crespo¹, Cecilia R. Juárez-Rosete¹, Jorge Aguirre-Ortega⁵, Gelacio Alejo-Santiago¹, Margarito Ortiz-Catón¹

¹Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit

²Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

⁴Unidad Académica Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (UAENIP), UAN.

⁵Secretaría de Investigación y Posgrado, UAN.

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal que se obtiene a partir de la germinación y crecimiento de semillas de cereales. El FVH es de alta digestibilidad, calidad nutricional y es apto para la alimentación animal.

El FVH se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad). Usualmente se utilizan semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo. La producción del FVH es una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía. El proceso se realiza en contenedores de plástico rígido (charolas) por un periodo de entre 10 y 14 días, con riegos de agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 cm; a partir de ese momento, se continúan los riegos con una solución nutritiva con el fin de proporcionarle los nutrimentos necesarios para el óptimo crecimiento del forraje. Con esta producción se obtiene en corto tiempo un alimento de alta sanidad y calidad nutricional para el ganado, en cualquier época del año y localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello.

La tecnología de FVH es complementaria y no competitiva con la usada en la producción convencional de forraje. El FVH es una alternativa para la alimentación de animales como bovinos, caprinos, ovinos, equinos, porcinos, aves, entre otros; y es especialmente útil en periodos de escasez de forraje verde.

Ventajas del FVH

Las ventajas del sistema de producción de forraje verde hidropónico son:

Ahorro de agua. Al utilizar el sistema de producción FVH la pérdida de agua por escurrimiento superficial, infiltración y evapotranspiración es mínima comparada con la producción convencional de forraje. La técnica del FVH emplea menos de dos litros de agua para producir un kg de forraje, lo que equivale a 8 litros para promover un kg de materia seca de FVH (considerando un 25% de materia seca del FVH), cantidad notablemente menor a los 635, 521, 505, 372 y 271 litros de agua por kg de materia seca producida de avena, cebada, trigo, maíz y sorgo respectivamente, cultivados a campo abierto.

Menor costo de producción y eficiencia en el uso del espacio. En general, el costo de



producción de FVH es 10 veces menor comparado con la producción de cualquier forraje en espacios abiertos. 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. Se ha estimado que 170 m² de instalaciones con bandejas modulares en 4 pisos para FVH de avena son equivalentes a 5 hectáreas con producción convencional de forraje de la misma especie.

Eficiencia en el tiempo de producción. La producción de FVH tiene un ciclo de 10 a 14 días. En algunos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza después de los 14 días, a pesar de que el óptimo definido por varios estudios ha mostrado que la cosecha no debería extenderse más allá del día 12, debido a que a partir de ese día el valor nutricional del FVH disminuye.

Calidad del forraje. El FVH es un alimento succulento de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del periodo de crecimiento) y de adecuada aptitud comestible para los animales. Su valor nutritivo deriva de la germinación de las semillas. El FVH es rico en vitaminas, especialmente la A y E, contiene carotenoides que varían de 250 a 350 mg por kg de materia seca (MS), posee una elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo, su digestibilidad es alta puesto que la presencia de lignina y celulosa es escasa.

Inocuidad. El FVH producido en condiciones adecuadas de manejo representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de plagas ni enfermedades. Con el FVH los animales no comen hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción.

Desventajas del FVH

Las principales desventajas de producción de FVH son las siguientes:

Desinformación y falta de capacitación. En la producción de FVH se debe considerar la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de agua, nutrientes, condiciones de luz, temperatura, humedad relativa, entre otros. Asimismo, la producción de FVH es una actividad continua y exigente en cuidados diariamente, por lo que la falta de conocimientos e información pueden representar desventajas para los productores.

Costos de instalación. Algunos autores mencionan como desventaja el costo de instalación, sin embargo, se ha demostrado que utilizando estructuras de invernaderos de bajo costo (tipo túneles), se pueden obtener excelentes resultados.

Bajo contenido de materia seca. En general, el FVH tiene bajo contenido de materia seca, lo que se resuelve agregando diversos rastrojos o alimento concentrado para complementar la ración en la alimentación del ganado.

Como se puede apreciar, al comparar las ventajas con las desventajas imperan las ventajas, sobre todo por la posibilidad de producir forraje inocuo en corto tiempo, con menor cantidad de agua y en menor espacio.

Las condiciones climáticas durante el año 2012 han sido críticas debido a la sequía que afectó principalmente a la región norte de México, Adicionalmente, diversos escenarios climáticos prevén aumento de la temperatura en varias regiones de México así como mayor incidencia de eventos extremos durante los próximos años, por lo que se considera que la producción de FVH podría representar una alternativa para complementar la alimentación del ganado y contrarrestar los efectos de cambio climático en los sectores agrícola y ganadero.



Factores que influyen en la producción de FVH

Calidad de la Semilla. El éxito del FVH inicia con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación de 90% para evitar pérdidas en rendimiento.

Iluminación. En ausencia de luz la fotosíntesis se ve afectada negativamente, por lo que la radiación solar es básica para el crecimiento vegetal, y en consecuencia, en el rendimiento final. En términos generales, un invernadero con cubierta plástica que proporcione 50 % de sombreo es suficiente para la producción de FVH.

Temperatura. La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, por lo que se debe efectuar un adecuado control de la temperatura. La producción óptima del FVH de maíz se sitúa entre los 21 y 28 centígrados.

Humedad. La humedad relativa en el interior del invernadero es muy importante. Ésta no debería ser menor a 70 %. Valores de humedad superiores a 90 % sin adecuada ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios debido enfermedades fungosas difíciles de eliminar, además de incrementar los costos operativos.

La excesiva ventilación y baja humedad relativa, provoca un ambiente seco y disminución significativa de la producción por deshidratación del forraje.

Calidad del agua de riego. La calidad de agua de riego es otro de los factores

importantes en la producción de FVH. La condición básica que debe presentar un agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su potabilidad. Puede ser agua de pozo, agua de lluvia o agua de la llave. Si el agua disponible no es potable, se podrían tener problemas sanitarios por lo que se recomienda realizar un análisis microbiológico para usar el agua de manera confiable.

Es recomendable realizar un análisis químico del agua, y con base en ello, formular la solución nutritiva, así como evaluar algún otro tipo de tratamiento que tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (filtración, acidificación, etc.).

pH del agua de riego. El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.5 y 6.0 y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas empleadas en la producción de FVH, no se comportan eficientemente por arriba de 7. Para favorecer la disponibilidad y absorción de los nutrientes se recomienda que el pH de agua de riego sea de 5.5 a 6.5.

Conductividad eléctrica del agua y de la solución nutritiva. La conductividad eléctrica (CE) del agua indica cual es la concentración de sales en una solución. Su valor se expresa en deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno a 1.5 a 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ serían aptas para preparar la solución nutritiva.



Proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH)

Selección de las especies utilizadas en FVH.

Generalmente se utilizan semillas de cebada, avena, maíz, trigo y sorgo. La elección de la semilla depende de la disponibilidad local y de su precio. La producción de FVH con semillas de alfalfa no es tan eficiente como en los granos de gramíneas debido a que su manejo es delicado y los volúmenes de producción obtenidos son similares a la producción convencional.

Selección de semilla. Se debe emplear semilla de excelente calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento (Figura 1A). Se pueden usar semillas de cereales que se producen a nivel local. Es conveniente que las semillas se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas que podrían ser fuente de contaminación, semillas de otras plantas y fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con agroquímicos. En este sentido, se debe evitar el empleo de semillas que se destinan para siembra (certificadas) puesto que tienen un tratamiento que incluye fungicidas e insecticidas, si bien esto favorece la germinación, tiene un inconveniente, los residuos de pesticidas pueden generar problemas en la alimentación del ganado. Se sugiere sembrar la F2 de esas semillas, es decir, se puede sembrar la semilla que se cosecha de las semillas híbridas.

Lavado y desinfección de semillas. Las semillas se deben lavar y desinfectar (Figura 1B), con una solución de hipoclorito

de sodio al 1% (10 mL de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado y desinfección tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas limpias. El tiempo que se dejan las semillas en la solución de hipoclorito, no debe ser menor a 30 segundos ni exceder los tres minutos. Sumergir las semillas por más tiempo en la solución desinfectante puede perjudicar la viabilidad de las mismas causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Una vez que se termina de lavar se procede a enjuagar las semillas de manera vigorosa con agua limpia.

Pre-germinación (remojo de las semillas).

Esta etapa consiste sumergir completamente las semillas por un periodo no mayor a 24 horas para lograr una completa imbibición (Figura 1C). Este tiempo se divide en 2 periodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas se sacan para escurrirlas durante 1 hora. Después, se sumergen nuevamente por 12 horas, para finalmente escurrirlas por última vez. Mediante este fácil proceso se induce la rápida germinación de la semilla. Esta pre-germinación asegura un crecimiento inicial uniforme del FVH. Cambiar el agua cada 12 horas facilita y ayuda a una mejor oxigenación de las semillas.

Siembra y densidad. Las densidades óptimas por metro cuadrado oscilan entre 2.2 a 3.4 kg de semillas. Para la siembra, se distribuirá una delgada capa de semillas pre-germinadas, la cual no debe ser mayor a 1.5 cm de altura o espesor (Figura 1D).



Figura 1. Proceso de producción de forraje verde hidropónico. Se muestra desde la selección de la semilla hasta la siembra. Rancho “Los Limones”. Ahuacatlán, Nayarit, México.

Germinación. Después de la siembra, las semillas se cubren con papel periódico (Figura 2A) para proporcionar condiciones de semioscuridad y se moja con la finalidad de generar alta humedad y temperaturas óptimas para favorecer la germinación y el crecimiento inicial. Una vez detectada la germinación de las semillas se retira el papel (Figura 2B).

Riego. El riego de las bandejas de crecimiento del FVH puede realizarse a través de micro aspersores, nebulizadores (Figura 2C) o con una bomba aspersora portátil (mochila de mano). El riego por inundación no es recomendado dado que causa excesos de agua que provocan asfisia radicular, ataque de hongos y pudriciones que pueden causar inclusive la pérdida total del cultivo.



Al principio (primeros 4 días), no deben aplicarse más de 0.5 litros de agua por metro cuadrado por día hasta llegar a un promedio de 0.9 a 1.5 litros por metro cuadrado. El volumen de agua de riego se aplicará de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales del invernadero. Recomendar una dosis exacta de agua de riego según cada especie de FVH resulta difícil, debido a que dependerá del tipo de infraestructura de producción disponible.

Es importante recordar que las cantidades de agua de riego deben ser divididas en varias aplicaciones por día. Es recomendable dividir el volumen diario de

riego en 6 ó 9 veces en el transcurso del día, con una duración menor a 2 minutos. El agua a usar debe estar convenientemente oxigenada, por lo tanto los mejores resultados se obtienen mediante el sistema de riego por aspersión o nebulización.

Riego con solución nutritiva. Cuando aparecen las primeras hojas, al cuarto o quinto día después de la siembra, se comienzan a aplicar riegos con solución nutritiva. Para los macronutrientes, en el Cuadro 1 se presentan siete opciones para preparar 1,000 litros de solución nutritiva, en función de la disponibilidad de los fertilizantes.

Cuadro 1. Opciones para preparar la solución nutritiva con macronutrientes.

Orden de disolución	Fertilizante	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6	Opción 7
1	Ácido sulfúrico	—	50 mL	—	50 mL	—	50 mL	—
2	Ácido fosfórico	175 mL	—	175 mL	—	175 mL	—	133 mL
3	Sulfato de potasio	—	551 g	890 g	558 g	558 g	—	600 g
4	Fosfato monoamónico	—	297 g	—	297 g	—	—	—
5	Nitrato de potasio	650 g	140 g	—	—	—	388 g	—
6	Fosfato monopotásico	—	—	—	—	—	351 g	600 g
7	Sulfato de magnesio	950 g	950 g	—	950 g	—	950 g	950 g
8	Nitrato de magnesio	—	—	800 g	—	605 g	—	—
9	Nitrato de amonio	—	—	—	154 g	126 g	103 g	—
10	Nitrato de calcio	1230 g						

Fuente: Velasco-Hernández y Nieto-Ángel (2006).



Para producción de FVH se deben aplicar las soluciones nutritivas propuestas al 50 %. Por ejemplo, se pueden obtener las soluciones al 50 % agregando los fertilizantes indicados a 2,000 L de agua o agregando la mitad de la cantidad de los fertilizantes recomendados en 1,000 L de agua.

Como fuente de micronutrientes se puede usar una mezcla comercial de quelatos. Por ejemplo, Ultrasol Micro Rexene® de la empresa SQM, en dosis de 20 g por cada 1,000 litros de agua. La composición de esta mezcla es: Fierro (Fe-EDTA) 7.5 %, Manganeso (Mn) 3.7 %, Boro (B) 0.7 %, Zinc (Zn) 0.6 %, Cobre (Cu) 0.3 %, Molibdeno (Mo) 0.2 %.

Los últimos dos días antes de la cosecha el riego se realiza únicamente con agua para eliminar rastros de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y raíces.

Existen investigaciones que se han realizado sin la aplicación de riegos con soluciones nutritivas, es decir, se riega solamente con agua; sin embargo, el máximo rendimiento de FVH se obtiene cuando se aplican riegos con solución nutritiva.

Cosecha y rendimiento. La mayor riqueza nutricional de un FVH se alcanza en los días 7 y 8 después de la siembra, por lo que el mayor volumen y el rendimiento deben ser valorados con la calidad, dado que el factor

tiempo es un elemento 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.

La cosecha del FVH comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja o franja de producción (Figura 2D). Esta biomasa comprende a las hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas germinadas y no germinadas. Lo anterior forma un sólo bloque alimenticio, el cual es fácil de sacar y de entregar a los animales en trozos, desmenuzado o picado. Se recomienda utilizar el FVH recién cosechado, aunque no existen problemas sanitarios de conservación por dos o tres días, salvo el asociado a un descenso de la calidad nutricional.

La conversión de semilla a pasto aproximadamente es de un kg de semilla por siete kg de forraje, y por su valor nutritivo, un kg de FVH reemplaza entre 3.1 y 3.4 kg de alfalfa verde.

Alimentación de ganado con FVH. En el Cuadro 2 se presentan las dosis recomendadas de FVH en función de la especie animal.



Figura 2A. Semillas cubiertas con papel periódico después de la siembra para favorecer la germinación.



Figura 2B. Germinación de semillas de maíz para forraje verde hidropónico, 3 días después de la siembra.



Figura 2C. Riego de las plántulas de forraje verde hidropónico mediante nebulizadores, 5 días después de la siembra.



Figura 2D. Forraje verde hidropónico listo para cosecharse, 12 días después de la siembra.

Figura 2. Proceso de producción de forraje verde hidropónico. Se muestra desde la germinación hasta la cosecha. Rancho "Los Limones". Ahuacatlán, Nayarit, México.



Cuadro 2. Dosis recomendadas de FVH en función de la especie animal.

Especie animal	Dosis de FVH (kg por cada 100 kg de peso)	Observaciones
Vaca lechera	1.0 – 2.0	Suplementar con paja de cebada y otras fibras.
Vacunos de carne	0.5 – 2.0	Suplementar con fibra normal.
Cerdos	2.0	Crece más rápido y se reproducen mejor.
Aves	25 kg de FVH por cada 100 kilos de alimento seco.	Mejoran el factor de conversión.
Caballos	1.0	Agregar fibra y comida completa.
Ovejas	1.0 – 2.0	Agregar fibra.
Conejos	Conejos en engorde, de 180 a 300 g de FVH por día. Conejos madre en lactancia, hasta 500 g de FVH por día.	Suplementar con fibra y balanceados.

Fuente: FAO (2001).

Conclusiones

Es factible producir forraje verde hidropónico (FVH), como alimento de alta sanidad y calidad nutricional para el ganado en un periodo relativamente corto (de 10 a 14 días), en cualquier época del año y localidad geográfica, siempre y cuando se proporcionen las condiciones mínimas necesarias de temperatura, luminosidad y humedad relativa, principalmente. La tecnología de producción de FVH es complementaria a

los productos balanceados que se usan en la alimentación del ganado y no es competitiva con la producción convencional de forraje. La producción de FVH es especialmente útil durante períodos de sequía cuando el forraje verde es escaso, por lo que se considera una alternativa para complementar la alimentación del ganado y contrarrestar los efectos de cambio climático en los sectores agrícola y ganadero.

Bibliografía

Juárez-López, P.; Bugarín-Montoya R.; Bojórquez-Serrano, J. I.; Soto-Ceja, Edel; Brizuela-Amador, B. 2010. Efectos del cambio climático. Revista Productores de Hortalizas, 19: 86-88. Disponible en: <http://www.hortalizas.com/articulo/18943>.

López-Aguilar, R.; Murillo-Amador, B.; Rodríguez-Quezada, G. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. Interciencia, 34: 121-126.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Alimentación (FAO). 2001. Forraje verde hidropónico: manual técnico. Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 55 p.

Rivera, A.; Moronta, M.; González-Estopiñán, M.; González, D. Perdomo, D.; García, D. E.; Hernández, G. 2010. Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia Tropical*, 28: 33-41.

Rodríguez S, A. C. 2003. Forraje Verde Hidropónico. Editorial Diana. México, D. F. 113 p.

Romero-Valdez, M. E.; Córdova-Duarte, G.; Hernández-Gallardo, E. O. 2009. Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Universitaria*, 19: 11-19.

Vargas-Martínez, A. H. 2008. Evaluación productivo-ambiental de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Durango. Instituto Politécnico Nacional. 60 p.

Vargas-Rodríguez, C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19: 233-240.

Velasco-Hernández, E.; Nieto-Ángel, R. 2006. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 100 p.

DATOS DE LOS AUTORES

Dr. Porfirio Juárez López

Coordinador del Cuerpo Académico de
Agricultura Protegida
Universidad Autónoma de Nayarit (UAN)
Unidad Académica de Agricultura (UAA)
Xalisco, Nayarit, México
porfiriojlopez@yahoo.com

MVZ. Héctor J. Morales-Rodríguez

Estudiante del Posgrado en Ciencias
Biológico Agropecuarias (CBAP)
UAN, UAA.
hector_moro59@hotmail.com

Dr. Manuel Sandoval-Villa

Profesor Investigador
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo
Montecillo, Estado de México, México.
msandoval@colpos.mx



Dr. Alejandro Ángel Gómez-Danés
Profesor investigador
Unidad Académica Escuela Nacional
de Ingeniería Pesquera (UAENIP), UAN
Compostela, Nayarit, México
alangoda@gmail.com

Dra. Elia Cruz-Crespo
Profesora Investigadora
UAN, UAA.
Xalisco, Nayarit, México
ccruz2006@yahoo.com.mx

Dra. Cecilia Rocío Juárez-Rosete
Profesora Investigadora
UAN, UAA.
Xalisco, Nayarit, México
cecirjr_uan@hotmail.com

Dr. Jorge Aguirre-Ortega
Profesor-Investigador
Secretaría de Investigación y Posgrado, UAN
Tepic, Nayarit, México
jorgea@nayar.uan.mx

Dr. Gelacio Alejo-Santiago
Profesor Investigador
UAN, UAA.
Xalisco, Nayarit, México
gelacioalejo@hotmail.com

Dr. Margarito Ortiz-Catón
Profesor Investigador
UAN, UAA.
Xalisco, Nayarit, México
margaritooc1@hotmail.com