Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CON UN SISTEMA VERTICAL AUTOMATIZADO (Preliminar)

Juan José García Rodriguez[1]; José Roberto Augusto Dorantes Gonzalez[1]; Davino Pérez Mendoza[2]; Ana Karen Pérez Juarez[3]

[1]Investigador del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Celaya-San Miguel de Allende, 37765 San Miguel de Allende, Guanajuato; [2]Docente del Tecnológico Nacional De México Campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas; [3]Estudiante del Tecnológico Nacional De México Campus Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas. §Autor de correspondencia: annanerak99@gmail.com

RESUMEN

La producción de forraje verde hidropónico representa una alternativa sustentable para la alimentación animal debido al ahorro de agua, rapidez de producción y aprovechamiento del espacio. El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de forraje verde hidropónico de trigo mediante un sistema vertical automatizado en condiciones controladas. El trabajo se desarrolló en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Celaya, Guanajuato. Se construyó una estructura metálica de cuatro niveles equipada con un sistema hidráulico automatizado compuesto por micro aspersores, tubería PVC, bomba hidráulica y temporizador digital para controlar la frecuencia de riego. Se utilizarán semillas comerciales de trigo y se establecerán tres tratamientos correspondientes a diferentes cantidades de semilla por charola: 500 g, 750 g y 1 kg. Cada tratamiento contara con seis repeticiones distribuidas aleatoriamente en la estructura. Las variables evaluadas serán peso seco de semilla, peso húmedo, producción de biomasa, altura de planta y relación raíz-parte aérea y contenido proteico. Los resultados obtenidos permitirán observar diferencias en el desarrollo y rendimiento del forraje dependiendo de la cantidad de semilla utilizada. El sistema automatizado permitirá una distribución uniforme del agua y un uso eficiente del recurso hídrico. Se evaluará si la producción de forraje verde hidropónico de trigo mediante sistemas automatizados constituye una alternativa viable para la obtención rápida de alimento fresco para animales.

Palabras clave: *Hidroponía, automatización, trigo, forraje, eficiente*

ABSTRACT

Hydroponic green forage production represents a sustainable alternative for animal feed due to water savings, rapid production, and efficient use of space. The objective of this research was to evaluate the production of hydroponic green wheat forage using an automated vertical system under controlled conditions. The study was carried out at the facilities of the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP), located in Celaya, Guanajuato, Mexico. A four-level metal structure equipped with an automated hydraulic

system composed of micro-sprinklers, PVC piping, a hydraulic pump, and a digital timer to control irrigation frequency was constructed. Commercial wheat seeds will be used, and three treatments corresponding to different seed quantities per tray will be established: 500 g, 750 g, and 1 kg. Each treatment will have six replications randomly distributed within the structure. The variables to be evaluated will be dry seed weight, wet weight, biomass production, plant height, and root-to-shoot ratio. The obtained results will allow the observation of differences in forage development and yield depending on the number of seed used. The automated system will allow uniform water distribution and efficient use of water resources. It will be evaluated whether the production of hydroponic green wheat forage through automated systems constitutes a viable alternative for the rapid production of fresh animal feed.

Keywords: *hydroponics, automation, wheat, forage, efficient*

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores apremiantes para la producción agrícola siempre ha sido el agua; sin embargo, en los últimos años, el crecimiento poblacional, el abatimiento de los mantos freáticos y la irregularidad de las precipitaciones han hecho necesario contribuir a un mejor manejo del recurso hídrico (CONAGUA, 2023).

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) representa una alternativa importante para afrontar las dificultades de alimentación en rumiantes en zonas áridas y semiáridas (López , 2009).
El forraje verde hidropónico consiste en la germinación y crecimiento de semillas de cereales bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y luz, sin utilizar suelo agrícola. Entre las especies más utilizadas destacan maíz, cebada y trigo, debido a su rápida germinación y alto valor nutritivo. El trigo (*Triticum aestivum* L.) representa una opción importante para la producción de FVH por su capacidad de generar biomasa uniforme y digestible para la alimentación animal. (FAO, 2001) (CONAGUA, 2023).

Los sistemas automatizados aplicados a la hidroponía permiten optimizar el uso del agua mediante temporizadores y sistemas de riego programados, reduciendo pérdidas y mejorando la eficiencia del sistema. Además, el uso de estructuras verticales facilita el aprovechamiento del espacio disponible y aumenta la capacidad de producción y el aprovechamiento del agua que escurre de los estratos superiores (López Elías;David, S. G. A., 2018,2026).

Diversos estudios han demostrado que los sistemas hidropónicos automatizados pueden incrementar la eficiencia en la producción de forraje y disminuir los costos relacionados con el consumo de agua y mano de obra. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la producción de forraje verde hidropónico de

trigo mediante un sistema vertical automatizado bajo condiciones controladas. (ResearchGate;Acta Universitaria, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la región de Celaya, Guanajuato, México, en las cercanías del Tecnológico Nacional de México, Campus Roque. El sitio experimental se localiza aproximadamente en las coordenadas 20.58° LN y -100.82° LO, a una altitud promedio de 1,760–1,770 m s.n.m. (Mexico.mx, 2023)

Preparación de materiales y herramientas. En la primera etapa se realizó la selección y adquisición de los materiales necesarios para la construcción del módulo hidropónico. Entre los materiales utilizados se incluyeron tubos de PVC, conectores de manguera hembra PVC, codos de media de 90, conectores macho de rosca de media, llaves ,pegamento especial para PVC, bomba de agua, barril de almacenamiento de agua, micro aspersores, manguera de 10 m de media, pichancha, charolas para germinación y estructura metálica. Así mismo, se utilizaron herramientas de medición, corte y ensamblaje para facilitar la instalación del sistema hidráulico.

Construcción y acondicionamiento de la estructura. La estructura metálica fue diseñada para sostener 20 charolas distribuidas en cuatro niveles, con la finalidad de aprovechar eficientemente el espacio disponible para la producción de FVH. Antes del ensamblaje definitivo, la estructura fue pintada. Este procedimiento para aumentar la durabilidad de la estructura y protegerla de la humedad generada durante el funcionamiento del sistema de riego. Una vez aplicada la pintura, se dejó secar completamente para continuar con la instalación del sistema.

Corte y ensamblaje de la tubería PVC. Posteriormente se realizaron las mediciones correspondientes para determinar las dimensiones requeridas de la tubería PVC que conformaría el sistema hidráulico. Los tubos fueron cortados de acuerdo con el diseño previamente establecido para permitir la correcta distribución del agua hacia cada nivel de producción. Después del corte, las conexiones y tuberías fueron ensambladas utilizando pegamento especial para PVC, garantizando un sellado hermético y evitando fugas de agua o pérdidas de presión dentro del sistema. Las uniones permanecieron en reposo el tiempo necesario para asegurar el secado y fijación adecuada del adhesivo.

Instalación del sistema de riego. Una vez ensamblada la red hidráulica, se instalaron los micro aspersores en la parte superior de cada nivel de la estructura, con el objetivo de distribuir el agua de manera uniforme sobre las charolas de germinación. También se colocó la manguera de distribución

Prueba y calibración de la bomba de agua. Posteriormente se realizaron pruebas de funcionamiento de la bomba hidráulica para verificar que contara con la presión suficiente para abastecer correctamente los cuatro niveles del módulo hidropónico. Las pruebas permitieron realizar ajustes en el sistema hasta asegurar que la bomba proporcionara la fuerza necesaria para un riego homogéneo en todas las charolas de producción ya que se notaron distintas fallas, como el taponamiento de goteros por el pegamento que se utilizó para pegar los tubos de PVC, al igual la bomba que se utilizó, en las primeras pruebas no se obtuvo la presión que se requería, para esto se tuvieron que hacer varias modificaciones

Materiales de prototipo para el proceso de la construcción del estante para la producción de abono verde en trigo.

Figura 1. Medición de tubos para la estructura
Figura 2. Manquera para las conexiones de regreso
Figura 3. Temporizador

Figura 4. Bomba de presión
Figura 5. Pichancha
Figura 6. Micro aspersor

Figura 7. Estructura del sistema hidropónico terminada

Material vegetal y tratamientos. Se utilizará semilla comercial de trigo (*Triticum aestivum* L.). Los tratamientos consistirán en tres cantidades de semilla por charola: 1) T1: 500 g de semilla, 2) T2: 750 g de semilla, 3) T3: 1 kg de semilla. Cada tratamiento contara con seis repeticiones distribuidas aleatoriamente en los diferentes niveles de la estructura.

Manejo de la semilla y producción de forraje. Las semillas serán desinfectadas mediante una solución de agua con cloro al 2% y posteriormente enjuagadas con agua limpia. Después del lavado, las semillas permanecieron en remojo durante 24 horas para favorecer la germinación. Posteriormente, las semillas se colocarán en las charolas correspondientes según el tratamiento establecido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Presupuesto de material y equipo para la construcción de uin anaquel para la producción de forraje verde.

Material / Equipo	Cantidad	Porcentaje de avance
Tubos de PVC	2 tubos de 3 m	100%
Conectores de manguera hembra PVC	6	100%
Codos de media de 90°	2	100%
Conectores macho de rosca de media	9	100%
Llaves hidráulicas	2	100%
Pegamento especial para PVC	1 lata	100%
Bomba de agua de ½ HP	1	100%
Barril / bote de almacenamiento de agua de 200 L	1	100%
Micro aspersores	20	100%
Manguera de media pulgada (10 m)	1	100%

Pichancha	1	100%
Charolas para germinación	20	100%
Estructura metálica vertical	1	100%
Temporizador digital (TIMER)	1	100%
Sistema de drenaje y reciclaje de agua	1	100%
Filtro para agua	1	100%
Pintura para estructura metálica	4	100%
Herramientas de medición	2	100%
Herramientas de corte	1	100%
Herramientas de ensamblaje	1	100%
Semilla de trigo	2.250 kg	20%
Solución de agua con cloro al 2%	2 L	20%

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que el presente trabajo corresponde a una propuesta de investigación y el sistema aún se encuentra en etapa de implementación y validación, no se cuenta todavía con resultados experimentales definitivos. Sin embargo, durante el proceso de construcción y acondicionamiento del prototipo se identificaron diversas situaciones que permitieron realizar mejoras en el funcionamiento del sistema hidropónico automatizado. Durante las pruebas preliminares del sistema hidráulico se detectaron problemas relacionados con el taponamiento de algunos micro aspersores ocasionados por residuos de pegamento utilizados en las conexiones de PVC. Asimismo, que la bomba hidráulica utilizada no generaba la presión suficiente para abastecer adecuadamente los cuatro niveles de la estructura vertical, provocando una distribución desigual del agua entre las charolas. Debido a ello fue necesario realizar ajustes en las conexiones hidráulicas para mejorar la presión y uniformidad del riego. También se observaron posibles factores que podrían influir en el desarrollo del forraje, como la posición de las charolas dentro de la estructura, la intensidad de humedad en cada nivel y la cantidad de semilla utilizada por tratamiento. Por esta razón, el diseño experimental considera bloques y repeticiones que permitan reducir el efecto de estas variaciones dentro del sistema. Con el desarrollo de esta investigación se espera obtener una producción uniforme de forraje verde hidropónico de trigo, utilizando menores cantidades de agua en comparación con sistemas tradicionales de producción de forraje. Se espera además que el tratamiento intermedio de 750 g de semilla por charola presente un equilibrio adecuado entre producción de biomasa y crecimiento de planta, evitando excesiva competencia entre plántulas. Asimismo, se espera que el sistema automatizado permita optimizar la frecuencia y cantidad de riego mediante el uso del temporizador digital, favoreciendo el ahorro de agua y reduciendo la necesidad de mano de obra constante. De igual forma, se pretende demostrar que la producción de forraje verde hidropónico de trigo puede representar una alternativa sustentable y eficiente para la alimentación animal en zonas con problemas de disponibilidad de agua.

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema vertical automatizado para la producción de forraje verde hidropónico de trigo representa una alternativa viable para optimizar el uso del agua y el espacio en la producción de alimento para animales. El diseño del sistema permitió identificar áreas de mejora relacionadas con la presión hidráulica y distribución uniforme del riego, las cuales fueron corregidas durante las pruebas preliminares para favorecer un funcionamiento más eficiente del prototipo. Se espera que la automatización del riego mediante temporizador digital contribuya a reducir el desperdicio de agua y mejorar el manejo del sistema hidropónico. Asimismo, se pretende que el uso de trigo como material vegetal permita obtener una producción rápida y uniforme de biomasa bajo condiciones controladas. Finalmente, este proyecto busca demostrar que la producción de forraje verde hidropónico automatizado puede ser una alternativa sustentable para enfrentar problemas relacionados con la escasez de agua y la necesidad de producir alimento fresco para el sector pecuario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CONAGUA. (2023). *Estadísticas del agua en México 2023*. Obtenido de https://agua.org.mx/biblioteca/estadisticas-del-agua-en-mexico-2023-conagua/

CONAGUA. (2023). *Estadísticas del agua en México 2023*. Obtenido de https://agua.org.mx/biblioteca/estadisticas-del-agua-en-mexico-2023-conagua/

FAO. (2001). *Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal*. Obtenido de https://www.fao.org/4/ah472s/ah472s00.htm

López . (2009). *Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidroponico de trigo*. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/339/33913156008.pdf

López Elías;David, S. G. A. (2018,2026). *Sistemas hidropónicos y agricultura sostenible*. Obtenido de Sistema de dosificación de fertilizantes y control de riego para cultivos hidropónicos de hortalizas: https://repository.unad.edu.co/handle/10596/78856

Mexico.mx. (2023). *Inifap*. Obtenido de https://mexicoo.mx/inifap-en-celaya-guanajuato-9324630

ResearchGate;Acta Universitaria. (2018). *Producción de forraje verde hidropónico (FVH)*. Obtenido de Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero: https://www.researchgate.net/publication/275715557

https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/844