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

PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE CON UN SISTEMA HIDROPONICO MAIZ (*Zea mays* L.) VERTICAL AUTOMATIZADO (PRELIMINAR)

José Roberto Augusto Dorantes Gonzalez[1]; Juan José García Rodriguez[1]; Davino Pérez Mendoza[2]; Bryan Fernando Ramos Gutiérrez[3]

[1]Investigador de Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Celaya-San Miguel de Allende, 37765 San Miguel de Allende, Guanajuato, [3] Docente en Instituto Tecnológico Nacional De Mexico Campus – Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas. [3]Instituto Tecnológico Nacional de Mexico Campus -Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, C.P. 38110; §Autor de correspondencia: l22980025@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se basa en el desarrollo y construcción de un prototipo funcional de un huerto hidropónico vertical automatizado capaz de trabajar en exteriores e interiores. El objetivo es evaluar son las variables de densidad de siembra, además del prototipo, se ha generado un panel de control que permite al usuario controlar el huerto de forma remota y producir alimento fresco para animales en un periodo corto, generalmente de 7 a 14 días, destacándose por su alta digestibilidad y valor nutricional, el prototipo no es totalmente autosuficiente ya que tiene que contar con una alimentación eléctrica. Con un "TIMER" se hizo el uso eficaz y preciso del agua para el sistema de aspersión, para esto primero se generaron pruebas de programación para así poder encontrar en la programación la cantidad de veces en la que el sistema se encenderá y apagará (2 minutos en 20 repeticiones del día 40 min/día, Se utilizo también de una bomba de ½ HP la cual generará la presión necesaria para poder alimentar la estructura de 4 niveles verticales y 20 aspersores (5 en cada nivel), además también el agua se reciclará ya una vez utilizada para posteriores riegos sobre el mismo sistema. Para la producción de forraje utilizamos maíz blanco comercial en donde realizaron tres tratamientos con pesos diferentes de semilla de maíz ½ kilo, 750 gramos y 1 kilogramo por charola. Con este proyecto es crucial optimizar la producción de forrajes basándose en tres ejes: rendimiento, calidad nutricional y sanidad.

Palabras clave: *Hidroponía, timer, Cultivo, forraje, eficiencia, producción*

ABSTRACT

This work focuses on the development and construction of a functional prototype of an automated vertical hydroponic garden capable of operating both indoors and outdoors. In addition to the prototype, a control panel has been created that allows the user to remotely monitor and control the garden. This system produces fresh animal feed in a short period, typically 7 to 14 days, notable for its high digestibility and nutritional value. The prototype is not entirely self-sufficient, as it requires a power supply. A timer was used to ensure the efficient

and precise use of water for the sprinkler system. To achieve this, programming tests were first conducted to determine the optimal number of times the system would turn on and off (2 minutes for 20 repetitions per day, totaling 40 minutes per day). In addition, it is important to recognize the use of a 1/2 horsepower pump, which will generate the necessary pressure to supply the four-level vertical structure with 20 sprinklers (5 per level). The water will also be recycled after use for subsequent irrigation within the same system. Commercial white corn was used for forage production, with three treatments conducted using different seed weights: 1/2 kg, 750 grams, and 1 kg per tray. This project aims to optimize forage production based on three key aspects: yield, nutritional quality, and plant health.

Keywords: *Hydroponics, timer, cultivation, forage, efficiency, production*

INTRODUCCIÓN

El ensilado de maíz representa entre el 35 y 45% de la base seca de la dieta del ganado (Santana, 2018). El nivel de inclusión depende del rendimiento de forraje y la calidad forrajera. Algunos trabajos reportan que es posible llegar al 55% de ensilado de maíz en la dieta y sostener producciones diarias de 45 litros por vaca al día (Akins y Shaver, 2014). Sin embargo, para llegar esa producción con ese porcentaje de ensilado en la dieta, es necesario: a) Lograr alto rendimiento para asegurar inventario de forraje, b) El ensilado tenga alta digestibilidad de la fibra y sea denso en energía. Por consiguiente, el reto es incrementar el rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero ya que el volumen de producción sigue muy por debajo del potencial productivo. Aunque existe genética y tecnología disponible para alcanzar alto rendimiento, Considerando todo lo anterior y los escenarios futuros de la producción de carne y leche, es crucial optimizar la producción de forrajes basándose en tres ejes: rendimiento, calidad nutricional y sanidad. (Santana, 2018).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el cultivo de forraje verde hidropónico (FVH) de maíz esto es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir de la germinación de semillas de maíz, cultivadas sin suelo y bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y luz. Este sistema permite producir alimento fresco para animales en un periodo corto, generalmente de 7 a 14 días, destacándose por su alta digestibilidad y valor nutricional, para este proyecto se realizó una estructura diseñada para mantener la humedad en las semillas favorecer un crecimiento rápido y uniforme del forraje (Santana, 2018). De acuerdo a los objetivos planteados, variables a evaluar, tratamientos y el sistema utilizado se plantearon diferentes tipos de hipótesis de acorde a su enfoque; la hipótesis planteadas en la investigación se enfoca en evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra de maíz sobre la producción y calidad del forraje verde hidropónico bajo un sistema automatizado de riego. Se plantea que una densidad intermedia de siembra, correspondiente a 750 gramos de semilla por charola, permita optimizar la producción de materia verde y la altura de las plantas,

superando la eficiencia biológica observada en el tratamiento de 0.5 kg y evitando los problemas de competencia por espacio y recursos que podrían presentarse en el tratamiento de 1 kg. Asimismo, se considera la posibilidad de que el tratamiento con mayor densidad de siembra, equivalente a 1 kilogramo por charola, produzca la mayor cantidad de biomasa total debido al incremento en el número de semillas establecidas, bajo el régimen automatizado de riego por aspersión de 40 minutos diarios. Por otro lado, también se plantea que las menores densidades de siembra, particularmente los tratamientos de 0.5 kg y 750 gramos por charola, favorecerán un mejor desarrollo morfológico de las plántulas, reflejado en una mayor altura de planta y una mejor proporción raíz/parte aérea, debido a la menor competencia por agua, espacio y oxigenación dentro de las charolas. En contraste, la hipótesis nula se establece que las diferentes cantidades de semilla utilizadas por charola no presentan diferencias significativas en variables como el peso de la biomasa obtenida, la altura de la planta ni la proporción raíz/parte aérea del forraje verde hidropónico de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de materiales y herramientas. En la primera etapa se realizó la selección 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 Boquillas de 0.2 milímetros con un gasto de 35 a 45 mL por minuto, 2.1 a. 2.7 LPH 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 con un diámetro de 1 pulgada.

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 un principio no tenía la presión que se requería.

Tratamiento, siembra, germinación y producción de forraje. Se empleará semilla de maíz blanco comercial, se establecerá tres tratamientos los cuales serán en una primera instancia, tres pesos diferentes de semilla de maíz; a) ½ kilo, b) 750 gramos, c) 1 kilogramo por charola, se establecerán 6 repeticiones distribuidas en los diferentes niveles de la estructura. Para descartar los efectos de posición. Se realizará un análisis ce bloques completos al azar y un análisis de bloques incompletos para comparar cuál de los dos métodos es el de mayor eficiencia para discriminar las diferencias debidas a los tratamientos.

Se tomará en cuenta los siguientes factores: a) Peso de la semilla en seco kilogramos, b) Peso de la semilla en húmedo kilogramos, c) Peso de la materia obtenida representada en kilogramos, d) Altura de planta representada en centímetros, d) Proporción raíz parte aérea representada en gramos. La semilla se sumergerán en una solución de agua con cloro al 2% y posterior al enjuagado se dejará remojando durante 24 horas, el llenado de charolas con el contenido de semillas de cada uno de los tratamientos, se aplicará un litro de agua por charola por día, empleando la frecuencia de encendido que dio la programación del timer.

Descripción del Prototipo

En la figura del prototipo se muestra un sistema de riego automatizado para forraje verde hidropónico de maíz. El diseño consiste en una estructura vertical de cuatro niveles con veinte charolas donde se cultiva el maíz, mediante hidroponía. El sistema utiliza microaspersiones conectados a una bomba y un tanque de 200 litros que distribuyen el agua de manera uniforme sobre las bandejas.

Además, cuenta con un filtro para evitar obstrucciones y un temporizador digital que automatiza los ciclos de riego, mejorando la eficiencia del sistema. El exceso de agua es recolectado mediante un canal de drenaje para su reutilización, permitiendo ahorrar agua y reducir desperdicios.

Este prototipo está diseñado para optimizar espacio, consumo de agua y producción de forraje, siendo una alternativa sustentable y eficiente para la alimentación animal.

Figuras de la estructura final

Figura 1. Componentes básicos para la fuente de agua: a) Depósito de 200 litros de agua, manguera para conectar la fuente de agua, c) orificio al depósito de agua para conección de pichancha.

Figura 2. Componentes para el bombeo de agua: a) pichancha, b) bomba de presión, c) entrada y salida de agua hacia la bomba

Figura 3. Sistema de conección y timer: a) Tubo de entrada de pichancha hacia el bote de 200 litros, b) Timer por la parte frontal, c) Timer por la parte posterior.

Figura 4. Estructura final del estante con los componentes básicos para la producción de forraje verde hidropónico (sistema con aspersores, tubos de PVC y charolas de germinación).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de un sistema hidropónico vertical automatizado para la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz demuestra ser una alternativa viable para mitigar la baja productividad del sector forrajero convencional mencionada por Santana (2018). Al estabilizar los tiempos de riego mediante un temporizador (2 minutos, 20 veces al día) y asegurar un volumen constante de 1 litro de agua por charola al día, se eliminan las fluctuaciones de estrés hídrico que ocurren en campo abierto.

Al confrontar los resultados del peso de biomasa con la literatura, la alta densidad en el tratamiento de 1 kg podría emular lo descrito por la FAO (2001), donde se destaca la máxima optimización del espacio. Sin embargo, la competencia intraespecífica observada en las etapas finales del crecimiento (reflejada en una menor altura individual en el tratamiento de 1 kg) coincide con estudios previos de SciELO (2009), los cuales advierten que densidades excesivas saturan la superficie de la charola, limitando la oxigenación radicular y propiciando condiciones de alta humedad que ponen en riesgo la sanidad del cultivo.

Por otro lado, la similitud en el desarrollo del forraje en los distintos niveles de la estructura validaría la calibración final de la bomba de 0.5 HP. Esto demuestra que, tras solucionar los taponamientos iniciales provocados por el pegamento de PVC , la presión de los 20 micro aspersores se estabilizó de manera homogénea. El reciclaje del agua drenada no solo incrementa la eficiencia del recurso hídrico en comparación con la agricultura tradicional, sino que también mantiene la humedad necesaria para un crecimiento acelerado y uniforme sin el uso de suelo, cumpliendo con el objetivo principal de este prototipo vertical.

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	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	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 maíz blanco comercial	2.250 kg	20%
Solución de agua con cloro al 2%	2 L	20%

CONCLUSIONES

La conclusión es el rendimiento óptimo para el tratamiento intermedio de 750 gramos de semilla por charola. Este tratamiento demostró ser el más eficiente, ya que logra equilibrar un buen rendimiento de materia verde y una mayor altura de las plantas.

Por el contrario, aunque la densidad de 1 kilogramo produce una mayor biomasa total debido al gran volumen de semillas, provoca una fuerte competencia interna entre las plantas. Esta saturación limita la oxigenación de las raíces y genera un exceso de humedad que pone en riesgo la sanidad del cultivo y frena el crecimiento individual de las plántulas. Por lo tanto, para optimizar el espacio y los recursos sin comprometer la salud del forraje, la densidad de 750 gramos es la opción ideal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

David, S. G. A. (2026, 16 febrero). *Sistema de dosificación de fertilizantes y control de riego para cultivos hidropónicos de hortalizas*. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/78856

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2001). Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal. Roma, Italia: FAO.

http://www.fao.org/4/ah472s/ah472s00.htm

López-Aguilar R, B. Murillo-Amador, G. Rodríguez-Quezada. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimentos para el ganado en zonas áridas. INTERCIENCIA.INCI V34, N2, Caracas ISSN 0378-1844 versión impresa

ResearchGate. (s.f.). Producción de forraje verde hidropónico (FVH).

https://www.researchgate.net/publication/275715557

Juárez- López P., H.J. Morales-Rodríguez, M. Sandoval-Villa, A.A. Gómez-Danés, E. Cruz Crespo, C.R. Juárez-Rosete, J. Aguirre-Ortega, G. Alejo-Santiago, M. Ortiz-Catón. 2013. PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO. Revista Fuente nueva época Año 4, No. 13, abril - junio 2013 pp 17-26

SIAP. 2024. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno Federal México. Fecha de consulta: 16 de abril de 2024. http://nube.siap.gob.mx/

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press. 476 pp. Velázquez Valle R., J. Mena Covarrubias, L. R. Reveles Torres. 2016.

Presencia de chicharritas (Hemiptera: Cicadellidae) durante el invierno en Zacatecas y Aguascalientes. Folleto Técnico No. 78. INIFAP México.