

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA ADECUADA,
TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE, EN LA PRODUCCIÓN DEL
FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE SORGO (*SORGHUM BICOLOR*
(*L.*) *MOENCH*) VARIEDAD PIONEER, EN EL MUNICIPIO GARZÓN.**

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola para optar al título de:
Ingeniero Agrícola

Autores:

Karen del Mar Muñoz Torres: 20191176410

Juan Manuel Gracia Córdoba: 20191178822

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Sede Garzón, Huila, Colombia.

2024

Firma



Director: Luis Fernando Caldearon Alvarado

Firma

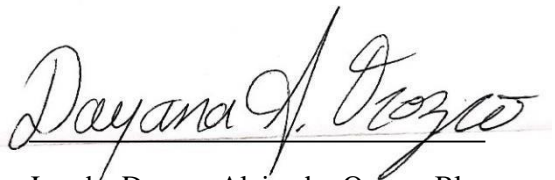
Codirector:

Nota de aceptación

Aprobado



Jurado: Daniel Felipe Fernández



Jurado: Dayana Alejandra Orozco Blanco

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA ADECUADA, TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE, EN LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE SORGO (*SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH*) VARIEDAD PIONEER, EN EL MUNICIPIO GARZÓN.

Resumen:

El proyecto se desarrolló con el propósito de determinar la densidad de siembra más adecuada para la producción de forraje verde hidropónico (FVH) de sorgo en el municipio de Garzón, Huila. Se llevaron a cabo pruebas con diferentes densidades de siembra (2, 3, 4 y 5 kg/m²) para evaluar aspectos clave como la germinación de las semillas, la producción de forraje y los costos asociados a cada densidad. Se utilizaron semillas de sorgo sin conservantes ni aditivos, obtenidas localmente en la vereda Las Minas. Durante el proceso experimental, se registraron diversas variables, incluyendo la temperatura ambiente, la humedad relativa, el peso de las bandejas hidropónicas y la longitud de las plántulas, además de establecer un programa de riego regular con seis sesiones diarias para mantener condiciones óptimas de crecimiento. Los resultados revelaron que la densidad de siembra de 3 kg/m² es la opción más técnica y económicamente apropiada, ya que se obtuvo un incremento significativo en el rendimiento, pasando de 3.000 gramos/m² con una humedad del 38% a 8.198,10 gramos/m² de forraje verde hidropónico, lo que equivale a un aumento del 273,27%. Se utilizó inicialmente una cantidad total de 2.060 gramos de semilla seca con una humedad del 11,8% antes de la imbibición, y el costo final del forraje verde fue de \$880/kg de FVH al finalizar los 12 días de germinación.

Palabras clave: Forraje verde hidropónico (FVH), Humedad relativa, Germinación, Termo-higrómetro, Densidad, Imbibición.

ABSTRACT

The project was developed to determine the most suitable planting density for the production of hydroponic green fodder (FGH) from sorghum in the municipality of Garzón, Huila. Tests were conducted with different planting densities (2, 3, 4, and 5 kg/m²) to evaluate key aspects such as seed germination, fodder production, and the costs associated with each density. Sorghum seeds without preservatives or additives were used, obtained locally from the Las Minas area. Throughout the experimental process, various variables were recorded, including ambient temperature, relative humidity, the weight of the hydroponic trays, and the

length of the seedlings, along with a regular irrigation program consisting of six daily sessions to maintain optimal growth conditions. The results revealed that a planting density of 3 kg/m² is the most technically and economically appropriate option, achieving a significant increase in yield from 3,000 grams/m² with 38% humidity to 8,198.10 grams/m² of hydroponic green fodder, which represents a 273.27% increase. Initially, a total of 2,060 grams of dry seed with 11.8% humidity was used before imbibition, and the final cost of the green fodder was \$880/kg of FGH at the end of the 12-day germination period.

Keywords: Hydroponic green forage (HGF), Relative humidity, Germination, Thermo-hygrometer, Density, Imbibition.

1. INTRODUCCIÓN

Para la (FAO, 2001) El Forraje Verde Hidropónico (FVH) representa un sistema para la producción de biomasa vegetal que se destaca por su alta sanidad y calidad nutricional. Se caracteriza por su rápida producción, que oscila entre 9 a 15 días, y su capacidad para ser cultivado en cualquier época del año y en cualquier ubicación geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones técnicas mínimas necesarias. Esta tecnología FVH se presenta como complementaria, no competitiva, respecto a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas como la avena, alfalfa, mezclas de trébol y gramíneas, entre otras, utilizadas en el cultivo forrajero convencional.

En el ámbito de la agricultura innovadora y sostenible, los cultivos de forraje verde hidropónico emergen como una opción promisoriosa para satisfacer las demandas alimenticias del ganado según (López, Murillo, & Rodríguez, 2009). En este sentido no solo surge como una alternativa para mejorar la producción de forraje para el alimento animal como el ganado de leche y de carne, cabras, cerdos, gallinas, caballos y conejos, sino que, al aprovechar el espacio vertical, libera terrenos para otro tipo de usos (Morales, 2015). Además de lo anteriormente mencionado se presenta como una posibilidad para utilizar en suelos que presenten problemas de erosión, debido a que este sistema no depende del suelo, lo que elimina la necesidad de contar con tierras fértiles y en áreas o tierras áridas donde el agua es un recurso escaso.

La hidroponía se destaca por su eficiencia en el uso del agua, utilizando un sistema cerrado que recircula y reutiliza el agua, contrastando con la agricultura tradicional que requiere grandes cantidades de agua (Capsavida, 2020). Además, es un sistema que permite aprovechar los recursos hídricos para los distintos cultivos que demanden más cantidad de irrigación, teniendo en cuenta que en las regiones que manejan altas temperaturas es importante cuidar este recurso, debido a que estas mantienen su economía gracias a la producción agrícola.

En este escenario, el departamento del Huila, Colombia, se destaca como un centro clave de desarrollo agrícola, donde la eficiencia y la rentabilidad en las prácticas agrícolas

son prioritarias ya que este departamento se basa en la agricultura y ganadería bovina para llevar a cabo su economía activa (Gobernación del Huila, 2017). Esto demuestra la necesidad de llevar a cabo prácticas como el FVH, teniendo en cuenta que uno de los renglones fuertes de la economía es el sector ganadero y estos necesitan una fuente de alimentación adecuada que sea beneficiosa tanto para mantener la calidad de estos, y aportar a la economía del productor.

El sorgo es una gran opción para la alimentación de animales, teniendo en cuenta sus principales características: contenido proteico “el cual posee un 8-12% de proteínas totales, de las cuales entre 73% en el grano entero y 82% en el endospermo son kafirinas” (Chiquito, Cobielles, Montes, Pecina, & Anaya, 2011). Es conveniente resaltar, que además de ser una fuente de proteína relativamente moderada en comparación con otros cultivos, puede producir grandes cantidades de biomasa por hectárea, lo cual lo hace ideal en sistemas de producción de ganadería extensiva.

Organismos gubernamentales de la región han llamado la atención para que se implementen los sistemas de FVH por la baja oferta hídrica que se genera, debido a el fenómeno del niño (Gobernación del Huila, 2023). Para (Vargas, 2007) es necesario enfocar más trabajos en producción de forraje hidropónico e implementar más variedad de cultivos, para brindar mejor claridad del tema a los productores, para que ellos pueden implementar los sistemas, teniendo una base con mejor conocimiento y experiencia para cultivar estos forrajes verdes hidropónicos.

Existe una interdependencia entre el suelo como medio de soporte radical del cultivo, la pastura como fuente de alimentación y el componente animal, factores que conjugados determinan la complejidad de los sistemas de explotación ganadera, con un alto costo monetario, ya que requieren de tiempos prolongados para comprobar la respuesta a cualquier cambio que permita adecuar la oferta forrajera de acuerdo a las demandas de la explotación (De leon, 2004).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se debe medir la cantidad de forraje producida dependiendo de los resultados de las densidades estudiadas, considerando el análisis de la viabilidad económica asociada a cada una de las cantidades iniciales de semillas de sorgo. Este trabajo tiene como objetivo lograr identificar cuál de las cantidades de siembra resulta más eficiente en términos de costos y beneficios.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar de realización del proyecto:

El estudio se llevó a cabo en el Municipio de Garzón, Huila, durante los meses de enero y febrero de 2024. Este municipio está situado en una región tropical con una temperatura media anual de 24°C. y una precipitación que alcanza los 2.682 mm al año (Climate data, 2021). El área de estudio seleccionada para el proyecto fue el invernadero de la universidad Surcolombiana, sede Garzón-Huila, **Ver Figura 1**, en el casco urbano del municipio, cuyas coordenadas geográficas son 2°11'13" N 75°37'27" O, y se encuentra a una elevación de 869 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

La instalación anteriormente funcionaba como un secadero de café, pero toda su infraestructura fue adaptada para convertirse en un invernadero destinado para los diversos estudios de la universidad. En ella se llevan a cabo experimentos referentes a la hidroponía, estudios de siembras y comparaciones de semillas.

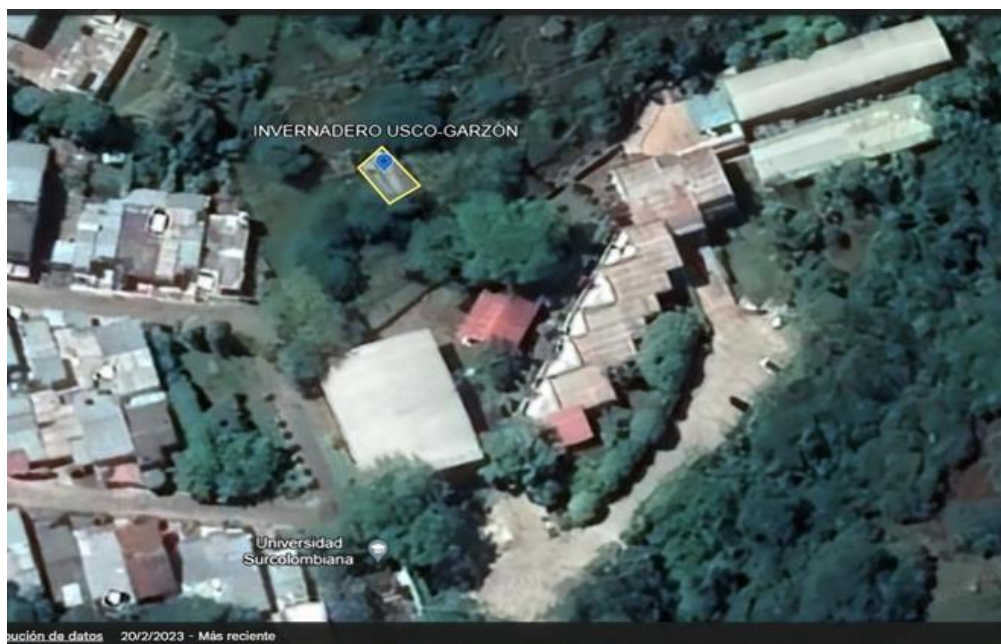


Figura 1. Ubicación del invernadero en la Universidad Surcolombiana (Garzón- Huila).
Fuente: Google Earth.

Para esta investigación, se empleó la semilla de sorgo tipo Pioneer, la cual fue adquirida en la vereda Las Minas, recolectadas mediante una cosechadora y empacada directamente en bolsas transparentes, sin algún tipo de conservante o aditivo. Se realizó el correspondiente mantenimiento y adecuación al invernadero, seguido de la construcción de la estructura, diseñada para sostener las bandejas de germinación, **Ver Figura 2**.

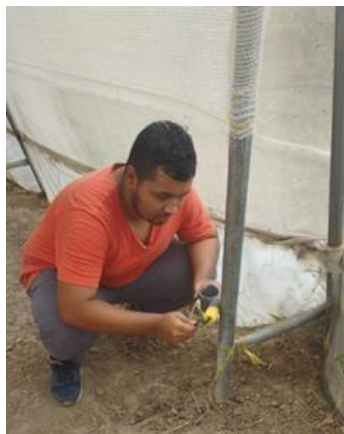


Figura 2. a. Adecuación de invernadero.
Fuente: Autor.



b. Estructura de base en PVC.

2.2 Instalación de riego:

El diseño del sistema de riego incluyó la instalación de un controlador automatizado, conectado directamente a una llave de paso principal. Desde esta fuente, se derivó un sistema secundario de riego a través de una válvula mariposa de 16 mm, que se conectó a una manguera flexible de 13 metros de diámetro. Esta manguera se extendió a lo largo de las 12 bandejas del invernadero. Se incorporaron nebulizadores en la manguera para permitir una distribución uniforme del agua en todas las áreas de siembra, ya que estos dispositivos garantizaban una pulverización fina y homogénea sobre las semillas. La **Figura 3** ilustra la disposición y funcionamiento de este sistema de riego diseñado para optimizar el proceso de cultivo en el invernadero. **Ver Figura 3.**



Figura 3. a. Controlador de riego.
Fuente: Autor.



b. Manguera y nebulizador.

2.3 Instalación de medidores de temperatura y humedad:

Para llevar a cabo las mediciones necesarias, se emplearon diversos equipos, entre los cuales se destacan un termo-higrómetro para la medición de la temperatura y la humedad relativa, así como otro termo-higrómetro tipo datalogger, específicamente el CEM DT-172, que se utilizó para el registro de datos y capturó información sobre la temperatura y la humedad relativa cada 5 minutos.

Tras realizar las mediciones y comparar los datos obtenidos, Se determinó que las variaciones en temperatura y humedad relativa entre los equipos de medición fueron mínimas y dentro del rango de sensibilidad de los dispositivos. Las diferencias de temperatura no superaron 1°C, y las de humedad relativa no excedieron el 5%, lo que indica una notable consistencia entre los equipos utilizados.



Figura 4. a. Termo-higrómetro digital Datalogger.



b. Termo-higrómetro digital análogo.

Fuente: Autor.

2.4 Selección e Imbibición de semilla:

El proceso de germinación del FVH del sorgo tipo Pioneer se llevó a cabo durante un período de 12 días, en los que se evaluaron cuatro tratamientos, con una densidad de 2 kg/m², 3 kg/m², 4 kg/m² y 5 kg/m² respectivamente.

Para garantizar la calidad de las semillas a utilizar en el cultivo, en primera instancia, se llevó a cabo una selección, separando las semillas vanas y los desechos que pudieran afectar el óptimo crecimiento del forraje. Estos desechos incluían aquellas semillas quebradas o partidas, así como los residuos que podrían generar hongos y material extraño como rocas o ramas. Este proceso de limpieza se realizó en seco para garantizar la eficacia del mismo.

Una vez completada la selección, se adoptó un procedimiento utilizado por (Herrera & Guerrero, 2021) con el objetivo de desinfectar y pregerminar las semillas. Éste consiste en tomar las semillas seleccionadas y someterlas a un proceso de imbibición durante 24 horas, siendo las primeras 12 horas sumergidas en una solución de agua y peróxido de Hidrógeno al 1%, (10 litros de agua x 100 ml de peróxido de Hidrógeno). Lo anterior permitió identificar y desechar las semillas que flotaban en la superficie por no ser aptas para germinación, posteriormente, las semillas fueron escurridas durante una hora y luego rehidratadas por un lapso de 12 horas, con agua limpia (10 litros). **Ver Figura 5.**

Una vez completado el proceso de preparación de las semillas, se procedió con la siembra en las bandejas de germinación para la hidroponía con las respectivas densidades, **Tabla 1.** Se aseguró de que el grosor de las semillas no superara 1 cm para prevenir la formación de hongos y garantizar un crecimiento óptimo del forraje. El seguimiento del desarrollo del sorgo y la medición de sus pesos comenzaron a partir del segundo día de cultivo y en las horas de la mañana, antes del primer riego, (antes de las 7:00 am).

Tratamiento	Cantidad de semilla a sembrar por m ²	Cantidad de semilla a sembrar por bandeja de 43x30,5 cm (0,13115 m ²)
1	2 kg	262,3 g
2	3 kg	393,5 g
3	4 kg	524,6 g
4	5 kg	655,8 g

Tabla 1. Densidades de a sembrar en bandejas.



Figura 5. Hidratación y retiro de impurezas.

Fuente: Autor.

Después de realizar el proceso de limpieza y selección de la semilla de sorgo, donde se eliminaron las semillas vanas o flotantes y aquellas impurezas que no correspondían al cultivo, se procedió a pesar el lote de semillas. Tras llevar a cabo tres pruebas distintas, se determinó que, en promedio, cada kilogramo de semillas contenía aproximadamente 16 gramos de impurezas previamente mencionadas.

2.5 Especificación y modificación de bandejas:

Para este proyecto, se optó por construir una estructura de PVC de dos niveles para sostener las 12 bandejas de cultivo, cada una con dimensiones de 0,43 x 0,305 metros, lo que equivale a un área de 0,13115 m². Se realizaron modificaciones a las bandejas de polipropileno, perforando uno de sus extremos con una broca de 5/32 pulgadas para garantizar un adecuado drenaje y evitar la acumulación de agua que pudiera afectar el crecimiento y desarrollo del forraje. Estas bandejas son resistentes, garantizando durabilidad, y son fáciles de limpiar, sin transferir materiales extraños al cultivo. Además, se cubrió la estructura con una malla polisombra negra con un grado de sombreado del 85%, lo que proporciona condiciones óptimas de luz y una temperatura máxima de 32 °C. **Ver Figura 6.**



Figura 6. a. Ubicación de las 12 bandejas.



b. Bandeja de hidroponía de 0,43x0,305 metros.

Fuente: Autor.

2.6 Humedad en las semillas:

Aplicando la fórmula del porcentaje de hidratación. **Ver Fórmula 1**, se pudo establecer que, tras el proceso de imbibición, el grano presenta una composición que incluye un 39.32% de agua y un 60.68% de la masa total del grano. Este análisis detallado de la composición del grano después de la hidratación resulta fundamental, ya que proporciona información esencial para la toma de decisiones respecto a la cantidad óptima de masa a sembrar. **Ver Tabla 2.**

Muestras	Peso de semillas hidratadas	Peso de semillas secas	% Humedad original	% Humedad inicial en el grano hidratado	% Humedad después de secado en horno
1	300,1	201,5	12,5	40.02	10,7
2	300,1	207,7	12,5	37.82	10,1
3	300,1	201,5	12,7	40.50	11,4
4	300,1	197,7	11,3	41.00	10,3
5	300,1	201,0	11,5	40.00	10,2
6	300,1	201,0	12,5	40.00	10,3
7	300,1	202,8	10,6	36.00	7,8
8	300,1	200,4	12,0	40.20	10,6
9	300,1	202,7	10,7	38.30	7,8
Promedio:				39.32%	

Tabla 2. Porcentajes de humedad en el grano antes y después de la imbibición

2.7 Pesaje de densidad de siembra y asignación de bandeja:

Para llevar a cabo el presente estudio, se emplearon 13,5 kg de semilla de sorgo tipo Pioneer. Las cuales fueron pesadas utilizando una balanza industrial digital y divididas en cuatro grupos, cada uno con diferentes cantidades de kilogramos siendo 2, 3, 4, y 5 kilogramos. Cada cantidad de semillas, o tratamiento se aplicó en tres bandejas y todo el proceso se repitió 3 veces, para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Se tomó en consideración el peso de la bandeja de hidroponía utilizada, de aproximadamente 360 gramos, el cual fue tarado del pesaje total de la semilla. Posteriormente, los 4.5 kilogramos de semilla recién hidratadas, fueron distribuidos en las 12 bandejas, según la densidad de siembra a evaluar (2, 3, 4 y 5 kg/m²). **Ver Figura 7.**



Figura 7. a. Pesaje de densidad de semilla, según el tratamiento (2, 3, 4 y 5 kg/m²).

Fuente: Autor.



b. Bandejas iniciando el FVH, con la carga según el tratamiento (2, 3, 4 y 5 kg/m²).

2.8 Distribución de bandejas:

Las 12 bandejas de Forraje Verde Hidropónico (FVH) se dispusieron cuidadosamente en ambos niveles de la estructura: a 40cm sobre el suelo y a 1 metro de distancia de la otra estructura de forraje. Esta disposición fue planificada para lograr una distribución uniforme y eficiente, aprovechando al máximo el espacio disponible; tomando como guía a (Castillo, y otros, 2022) que sugieren construir los anaqueles de 4 a 6 niveles dejando 1 metro entre estos para facilitar las labores realizadas alrededor de estos y adoptando también la altura y los niveles que estos proponen (30cm del suelo aproximadamente, y una pendiente de 10 grados en cada bandeja), garantizando un acceso fácil y conveniente para la manipulación y el monitoreo de las bandejas. **Ver Figura 8. Ver Tabla 3.**

Densidad	# Bandeja	Peso (gramos)
2 kilogramos	1	262
	2	262
	3	262
3 kilogramos	4	394
	5	394
	6	394
4 kilogramos	7	525
	8	525
	9	525
5 kilogramos	10	656
	11	656
	12	656

Tabla 3. Numero de bandeja y su respectiva densidad.



Figura 8. Ubicación de las bandejas dentro invernadero tipo túnel.

Fuente: Autor.

2.9 Secado de semilla y pruebas de laboratorio:

Se seleccionaron tres muestras de semillas con pesos similares, cada una pesando aproximadamente 300 gramos. Estas muestras fueron transportadas hacia el laboratorio de la Universidad Surcolombiana con la finalidad de determinar el porcentaje de humedad inicial

a través del método de la estufa. Para ello, se sometieron las muestras a un proceso de secado en un horno de convección forzada a una temperatura constante de 60 °C durante un período de 24 horas, siguiendo los procedimientos establecidos, (Thames, 1983), y (Canales, 2024). **Ver figura 9.**



Figura 9. a. Muestra de 300 gr., medida en laboratorio.



b. Muestra de cacao en estufa de convección forzada.



c. Pesado de las muestras al final del secado.



d. Medición de humedad final en equipo PM-450.

Fuente: Autor.

Para garantizar la precisión en la medición del peso de las semillas, se selecciona una muestra cercana a 300 gramos y se pesa con una balanza analítica. Según la NTC 529, los granos se secan en una estufa de convección forzada durante un máximo de 24 horas. Luego, se mide el peso seco (P_f) y, con los pesos inicial y final, se calcula la humedad del grano de sorgo. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2009). **Ver fórmula 1.**

$$Pi(100 - Hbhi) = Pf(100 - Hbnf)$$

Fórmula 1. Cálculo de la humedad inicial del grano.

Dónde:

Pi = Peso inicial del grano (g). ***Hbhi*** = Humedad inicial del grano.

Pf = Peso final del grano (g). ***Hbnf*** = Humedad final del grano.

2.10 Realización del FVH:

Las semillas germinaron de manera gradual a lo largo de 12 días, durante los cuales se realizaron mediciones de varias variables, incluyendo la temperatura ambiente (°C), la humedad relativa (HR%), el peso de cada bandeja hidropónica y la longitud de las plántulas en crecimiento. Los datos se registraron diariamente a las 6:30 am, coincidiendo con un régimen de riego que se llevó a cabo cada 2 horas, con una duración de 3 minutos, iniciando a las 7:00 a.m. y finalizando a las 5:00 p.m. (6 riegos en un período de 10 horas). Al finalizar cada jornada, las bandejas se dejaron escurrir completamente para eliminar el exceso de agua y mantener un ambiente adecuado para el crecimiento. Este proceso de monitoreo y control garantizó condiciones para el desarrollo de las plantas y permitió un registro preciso de su progreso. Durante los tres ciclos del estudio (el primero entre el 17 y el 28 de enero, el segundo entre el 29 de enero y el 9 de febrero, y el tercero entre el 4 y el 15 de febrero de 2024) se realizó un análisis de las semillas de sorgo, abarcando el proceso de germinación y crecimiento de las plántulas, con el fin de identificar cambios, así como el desarrollo de hongos y la cantidad de masa vegetal generada. **ver figura 10.**

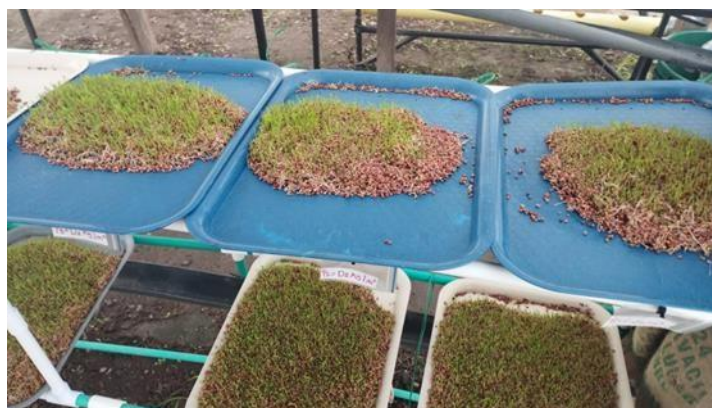


Figura 10. Germinación de la semilla de sorgo en sus primeros días.

Fuente: Autor.

2.11 Diseño experimental:

Para el análisis estadístico, se empleó un diseño de bloques al azar, y el procesamiento de los datos se realizó utilizando Excel. Se llevó a cabo un análisis de varianza y se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias, con el fin de evaluar los efectos de los tratamientos en la producción de FVH de sorgo.

En la presente investigación, se utilizó un diseño experimental que permitió la manipulación intencional de múltiples variables independientes. Esto fue fundamental para establecer las condiciones que conducen a un efecto en la variable dependiente, permitiendo así una evaluación más precisa de los resultados obtenidos como lo recomiendan (Agudelo Viana & Aigner Aburto, 2018).

Se realizaron cuatro tratamientos, que se dividieron en 144 muestras, con 36 muestras por tratamiento en cada ciclo. Este diseño permitió evaluar variables como la altura de la plántula y el peso final del FVH. Este enfoque, con múltiples tratamientos y repeticiones, proporciona una base sólida para la evaluación y comparación de las variables estudiadas.

2.12 Análisis de datos:

Se implementó el análisis de varianza (ANOVA), es posible que algunas características del modelo, como la normalidad de los términos de error y la independencia de los datos, no se verifiquen. Por lo tanto, es fundamental examinar la adecuación del modelo a los datos antes de proceder con el análisis. Este proceso de validación implica investigar si las hipótesis básicas del modelo son compatibles con los datos observados.

El modelo ANOVA establece un proceso secuencial para el estudio de un experimento, que incluye los siguientes pasos:

1. **Planteamiento del modelo:** Se debe formular un modelo que explique adecuadamente los datos observados.
2. **Evaluación de la adecuación del modelo:** Se examina si el modelo propuesto es adecuado. En caso de que no lo sea, se deben implementar medidas correctivas, tales como aplicar transformaciones a los datos o ajustar el modelo.
3. **Análisis estadístico:** Si el modelo es considerado adecuado, se procede a realizar el análisis estadístico de los datos.
4. **Evaluación de la efectividad del modelo:** Finalmente, se analiza la efectividad del modelo y su grado de ajuste, así como su sensibilidad ante diversas condiciones.

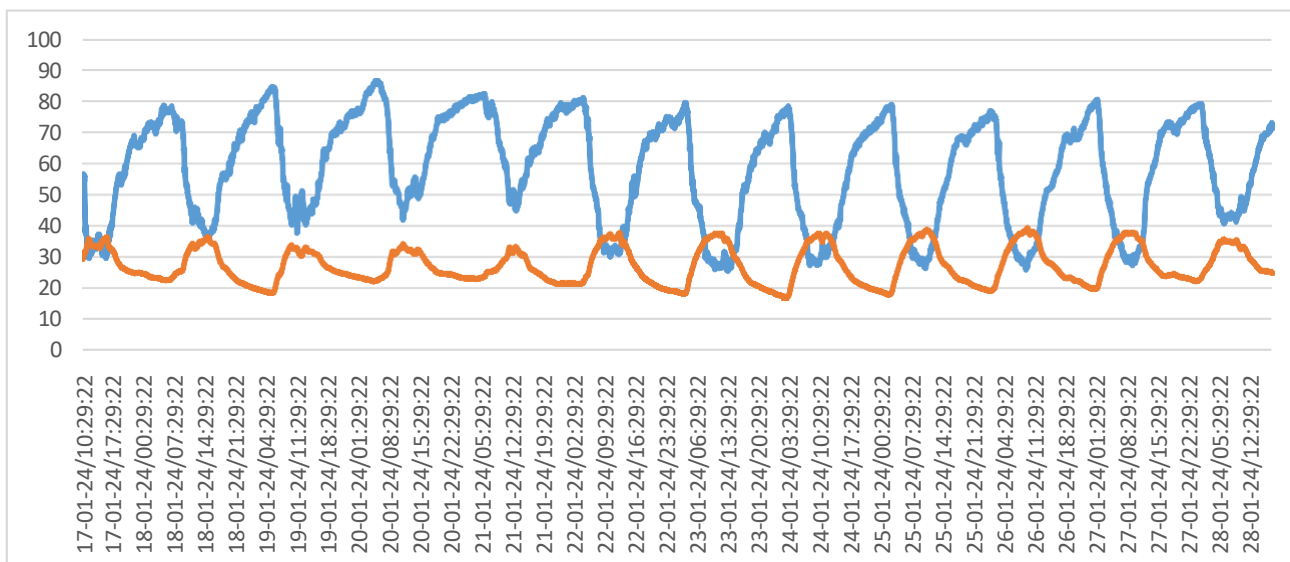
Este enfoque sistemático asegura que los resultados obtenidos sean confiables y válidos, fortaleciendo la robustez del análisis realizado.

En el estudio se tuvo en cuenta el parámetro de peso final del FVH para determina el rendimiento de cada tratamiento, con el objetivo de establecer cuál de todos los tratamientos realizados genera un mayor peso de FVH.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recolección de datos de Temperatura y Humedad relativa:

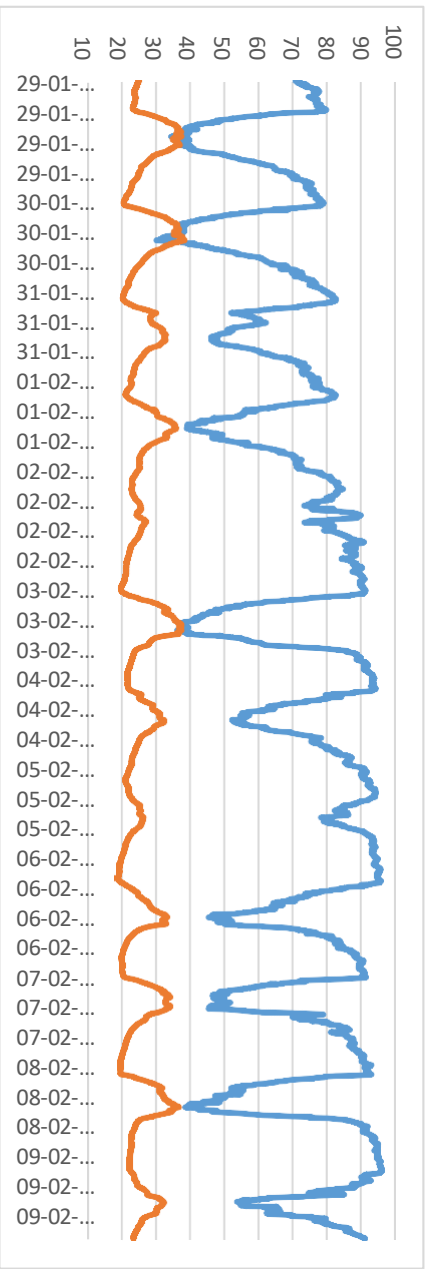
La Gráfica Número 1, se presentan las variables de temperatura ambiente (T) en grados Celsius (°C) y Humedad Relativa (HR) en porcentaje (%), para cada uno de los días que tardo el proceso de producción del FVH, lo que resultó en un total de más de 4,000 puntos de datos recopilados durante la primera fase del proyecto.



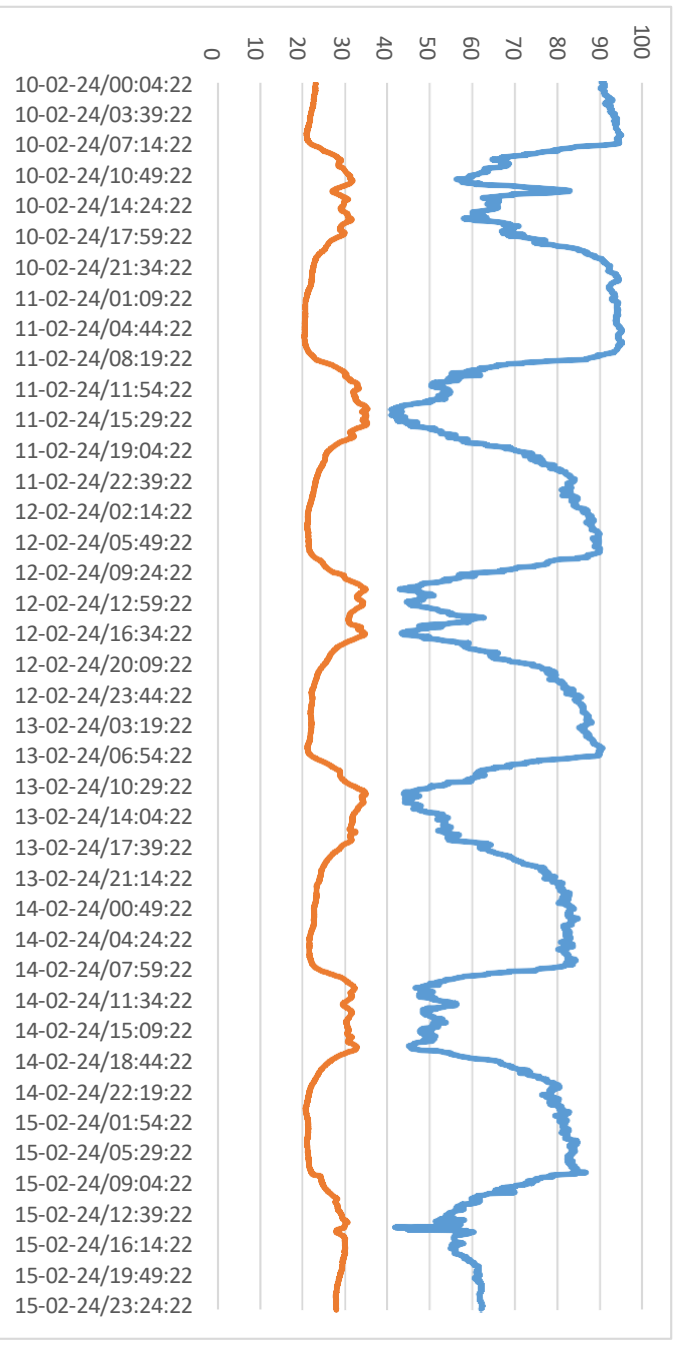
°C %HR

Gráfica 1. Registro de la Humedad Relativa y la Temperatura con el datalogger durante la prueba 1.

Los datos de la segunda y tercera prueba, se registraron en las gráficas 2 y 3, respectivamente.



Gráfica 2. Registro de la Humedad Relativa y la Temperatura con el datalogger en la prueba 2.



Gráfica 3. Registro de la Humedad Relativa y la Temperatura con el datalogger en la prueba 3.

El uso del datalogger ha permitido observar que, en este entorno particular, las temperaturas experimentan oscilaciones moderadas, situándose en un rango de **25°C a 28°C**, mientras que la humedad relativa presenta una mayor variabilidad, fluctuando entre el **50%**

y el 96%. Estas condiciones ambientales son altamente favorables para el cultivo de Forraje Verde Hidropónico de Sorgo (FVH), proporcionando un entorno propicio para el crecimiento óptimo de las plantas. (MARTÍNEZ, 2005).

3.2 Precios de Kilogramos sembrados y producidos:

En este proyecto se realiza una descripción de los costos, básicamente, el costo de la semilla, este análisis permite calcular la inversión inicial necesaria y proyectar una producción constante, según el requerimiento de cada productor. Además, ayuda a identificar la opción más viable económicamente, lo cual es de gran interés para garantizar la rentabilidad y el éxito a largo plazo del proyecto. Según Durán, este se ve reflejado en la parte económica, teniendo en cuenta los costos al producir 1kg/m² en base a el FVH fresco (Durán, 2014). **Consultar Tabla 4.**

Cantidad (Kg)	Costo por un Kg	Costo por kg	Peso de semilla en bandeja	Peso inicial en secado (gr)	Peso final en secado (gr)	Hbhf (%)	Hbhi (%)	Peso del sorgo seco (kg)	Peso final promedio del FVHS (gr)	Área Bandeja (m ²)	Ganancia de biomasa en FVHS	Pf FVHS*m ²	Costo de semilla seca de sorgo (COP)	Precio FVHS (COP)
2	3500	7000	262	300,1	201	9,91	39,66	1,37	643	0,13115	2,454	4902,78	4795	0,978
3	3500	10500	394	300,1	201	9,91	39,66	2,06	1074	0,13115	2,726	8189,10	7210	0,880
4	3500	14000	525	300,1	201	9,91	39,66	2,74	1431	0,13115	2,726	10911,17	9590	0,879
5	3500	17500	656	300,1	201	9,91	39,66	3,43	1646	0,13115	2,509	12550,51	12005	0,957

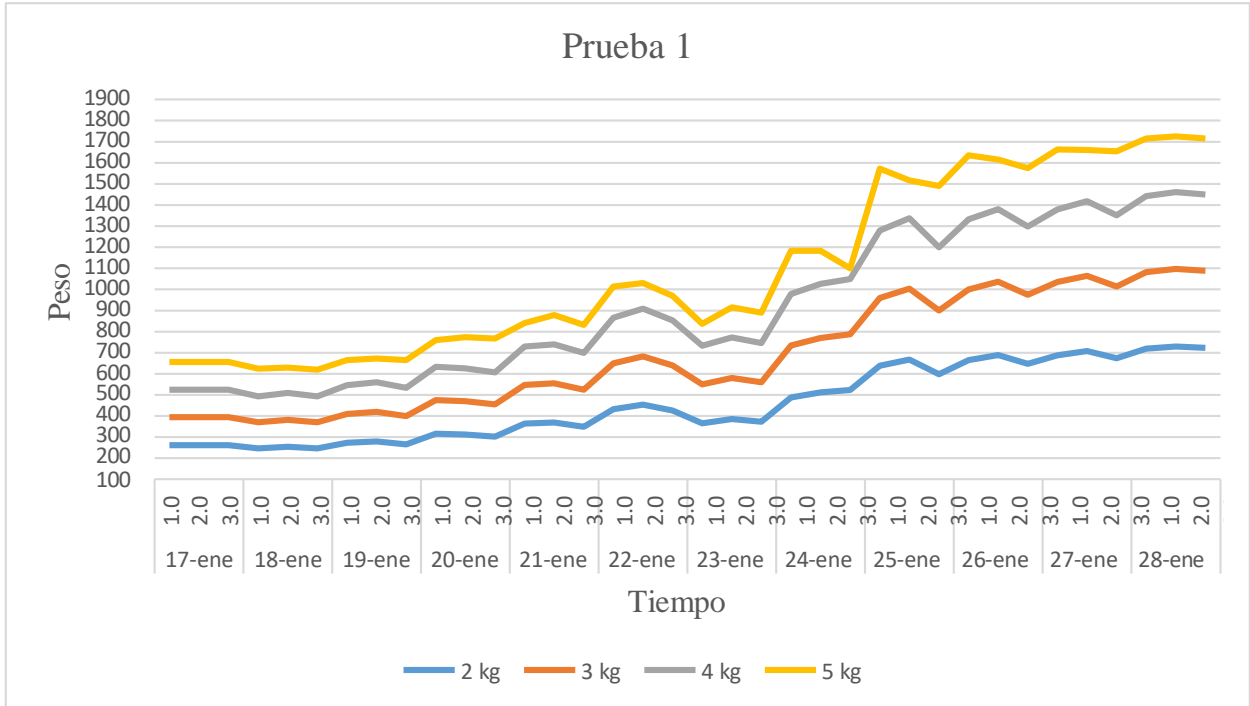
Tabla 4. a. costos de producción

Ecuaciones					
Costo por kg	Hbhi (%)	Pf FVHS*m ²	Pf FVHS*m ²	Biomasa	Precio FVHS (COP)
3500*2	$100 - ((201/300,1) * (100 - 9,91))$	$2 * ((100 - 40,66) / (100 - 9,91))$	643/0,13115	643/262	4902,78/4975
3500*3	$100 - ((201/300,1) * (100 - 9,91))$	$3 * ((100 - 40,66) / (100 - 9,91))$	1074/0,13115	1074/363	8189,10/7210
3500*4	$100 - ((201/300,1) * (100 - 9,91))$	$4 * ((100 - 40,66) / (100 - 9,91))$	1431/0,13115	1431/464	10911,17/9590
3500*5	$100 - ((201/300,1) * (100 - 9,91))$	$5 * ((100 - 40,66) / (100 - 9,91))$	1646/0,13115	1646/565	12550,51/12005

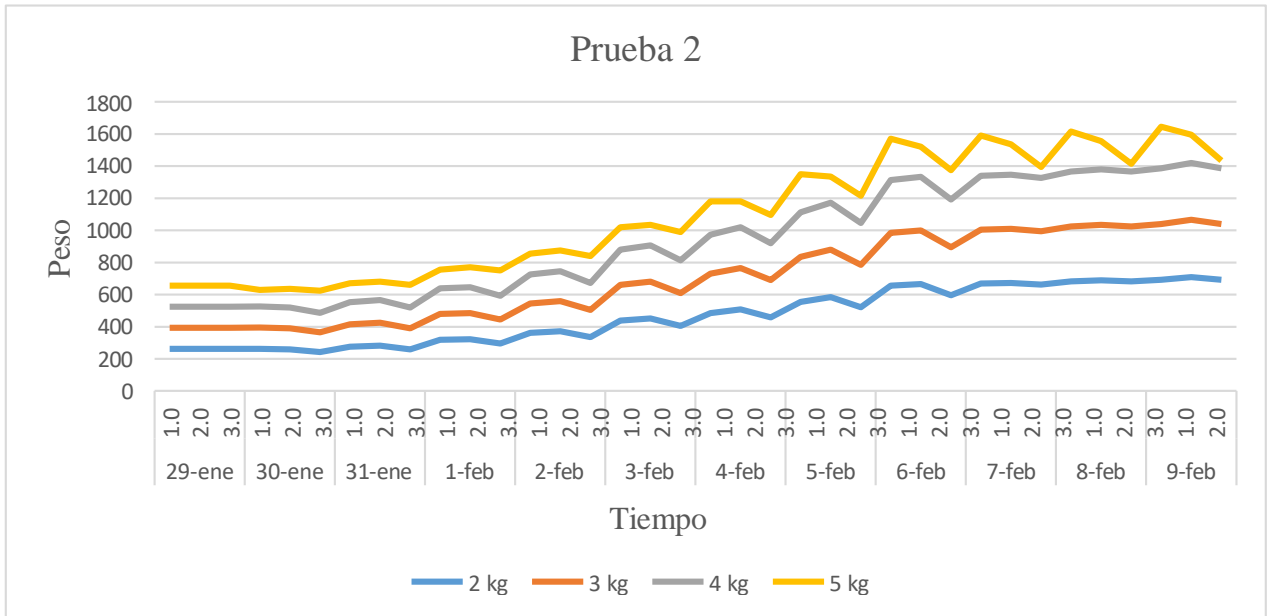
b. Ecuaciones para los precios

3.3 Gráficas de ganancia de densidad contra tiempo:

A continuación, se muestran las gráficas de crecimiento correspondientes a cada una de las pruebas llevadas a cabo. En el eje Y se representa el peso obtenido en gramos a medida que transcurren los días desde la hidratación de la semilla, mientras que en el eje X se indica el tiempo en días.



Gráfica 4. Crecimiento en gramaje de la prueba 1.



Gráfica 5. Crecimiento en gramaje de la prueba 2.

TRATAMIENTO 3 KG	Peso (g) inicial bandeja 1	Peso (g) inicial bandeja 2	Peso (g) inicial bandeja 3	Peso (g) final bandeja 1	Peso (g) final bandeja 2	Peso (g) final bandeja 3
Prueba 1	394	394	394	1082	1040	1062
Prueba 2	394	394	394	1097	1065	1085
Prueba 3	394	394	394	1088	1040	1109
Promedio				1089	1053,3	1085,3

Tabla 6. Pesos iniciales y finales de 3 kg y promedio de sus pesos finales.

- Tratamiento de 4 kilogramos: Este forraje tuvo un crecimiento progresivo lo largo de sus tres pruebas. **Ver Tabla 7.**

TRATAMIENTO 4 KG	Peso (g) inicial bandeja 1	Peso (g) inicial bandeja 2	Peso (g) inicial bandeja 3	Peso (g) final bandeja 1	Peso (g) final bandeja 2	Peso (g) final bandeja 3
Prueba 1	525	525	525	1442	1386	1415
Prueba 2	525	525	525	1446	1419	1446
Prueba 3	525	525	525	1450	1386	1478
Promedio				1446	1397	1446

Tabla 7. Pesos iniciales y finales de 4 kg y promedio de sus pesos finales.

- Tratamiento de 5 Kilogramos: Las tres pruebas con este gramaje se generó una mayor densidad. **Ver Tabla 8.**

TRATAMIENTO 5 KG	Peso (g) inicial bandeja 1	Peso (g) inicial bandeja 2	Peso (g) inicial bandeja 3	Peso (g) final bandeja 1	Peso (g) final bandeja 2	Peso (g) final bandeja 3
Prueba 1	656	656	656	1715	1645	1675
Prueba 2	656	656	656	1725	1595	1635
Prueba 3	656	656	656	1715	1435	1676
Promedio				1718	1558	1682

Tabla 8. Pesos iniciales y finales de 5 kg y promedio de sus pesos finales.

3.5 Varianza de datos (ANOVA):

Para (Minitab, 2024) ANOVA (Análisis de Varianza). Se utiliza un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$), lo que indica que hay una veracidad del 95%, esto generando una confianza del estudio.

- **ANOVA 2 kg (Excel):** La fiabilidad de los datos obtenidos en este grupo durante las 3 pruebas es del 95.75%, determinada por el resultado de la prueba ANOVA, que arroja una probabilidad del 4,24%. **Ver Tabla 9.**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1294,222222	2	647,1111111	5,143253	0,042449093	5,57
Dentro de los grupos	693,3333333	6	115,5555556			
Total	1987,555556	8				

Tabla 9. Fiabilidad de las pruebas de 2 kg.

ANOVA 3 kg (Excel): Para este caso, la diferencia en la confiabilidad de los datos fue mínima, dado que el análisis de ANOVA reveló una fiabilidad del 95.71% con una probabilidad del 4,28%. **Ver Tabla 10.**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3036,222222	2	1518,111111	5,14325285	0,04289773	5,569914391
Dentro de los grupos	1635,333333	6	272,5555556			
Total	4671,555556	8				

Tabla 10. Fiabilidad de las 3 pruebas de 3 kg.

- **ANOVA 4 kg (Excel):** En este caso la probabilidad es de un rango muy bajo, siendo de un 0,43%, teniendo una fiabilidad de 99,57%, siendo la más alta. **Ver Tabla 11.**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6435,5	2	3217,75	4,256494729	0,004359318	10,55865463
Dentro de los grupos	2742,75	9	304,75			
Total	9178,25	11				

Tabla 11. Fiabilidad de las 3 pruebas de 4 kg.

ANOVA 5 kg (Excel): Esta Anova se encuentra en el límite, ya que tiene una veracidad del 95% con una probabilidad del 5%, pero se encuentra en el rango de fiabilidad. **Ver Tabla 12.**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	39520,22222	2	19760,11111	4,699690812	0,050128523	5,14325285
Dentro de los grupos	25227,33333	6	4204,555556			
Total	64747,55556	8				

Tabla 12. Fiabilidad de las 3 pruebas de 5 kg.

3.6 Desarrollo del FVH:

Los resultados finales de esta etapa indican que el forraje obtenido presenta una longitud promedio de 10,83 cm en sus plántulas. Estos datos sugieren un desarrollo adecuado de la planta, ya que esta longitud es apropiada para la absorción de nutrientes. La medida de 10,8 cm se considera óptima para la función de absorción y oxigenación, lo que contribuye a la producción de forraje fresco y de alta calidad. **Ver Tabla 13.**

LONGITUD DEL CRECIMIENTO (CM)				
TRATAMIENTOS	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Promedio
Tratamiento 2kg	11,7	10,2	10,5	10,80
Tratamiento 3kg	12,8	9,7	10,6	11,03
Tratamiento 4kg	10,6	11,7	10,4	10,90
Tratamiento 5kg	11,4	10,8	9,6	10,60
PROMEDIO TOTAL				10,83

Tabla 13. Longitud promedio del FVH de sorgo al final de cada ciclo.

Además, la densidad de cada muestra de forraje fue óptima, como se detalla en las tablas 5,6,7,y 8. Estos resultados preliminares sugieren que la cantidad de semilla utilizada en la siembra puede tener un impacto significativo en la calidad y la salud del forraje resultante. **Ver Tabla 5, 6,7 y 8.**

Se evidenció que, en el grupo de siembra con una densidad de 5 kilogramos, se detectaron diversos hongos, atribuidos a condiciones de alta humedad y falta de adecuada aireación. Se teoriza que otro factor que podría contribuir a la proliferación de estos hongos es la proximidad entre las semillas, lo que generó una competencia por la luz y dejó algunas sin germinar, favoreciendo así el crecimiento fúngico, teniendo en cuenta que, los hongos nacen de la descomposición y las semillas sin germinar se encuentran en este proceso que es también alimentado por la humedad. Según (FAO, 2001) La presencia de hongos puede afectar la producción de manera radical, por lo que a medida que aumenta la temperatura mínima, se debe establecer un control riguroso en el drenaje de las bandejas, y de esta manera evitar la aparición de enfermedades generadas por los hongos. **Ver Figura 11.**



Figura 11. a. Proliferación de hongos prueba 5 kg.



b. Forraje sin enfermedad fúngica.

Fuente: Autor.

4. DISCUSIÓN:

Los dispositivos instalados en el invernadero tipo túnel fueron esenciales para monitorear las condiciones ambientales a lo largo del proyecto, **Ver figura 4**, asegurando un control adecuado de factores críticos como la temperatura y la humedad relativa. La (FAO, 2001), respalda el uso de estos dispositivos, destacando su capacidad para permitir un monitoreo diario preciso de las condiciones ambientales, lo que coincide con las prácticas implementadas en este estudio. Este enfoque refuerza la idea de que el control continuo del clima es fundamental para evitar fluctuaciones que puedan afectar negativamente el cultivo. Tanto el presente proyecto como las recomendaciones de la FAO enfatizan que el monitoreo constante y oportuno es clave para mantener condiciones estables dentro del invernadero. Al asegurar una temperatura adecuada durante todo el proceso de producción, se garantiza un

crecimiento óptimo de las plantas, subrayando la necesidad de herramientas de monitoreo confiables para gestionar eficazmente las condiciones ambientales.

La configuración del sistema de riego en este proyecto proporcionó un ambiente ideal para el desarrollo de las plantas, asegurando que cada semilla recibiera la cantidad adecuada de agua para su crecimiento óptimo. En concordancia con (Castillo Catro & Chavarrian Torrez, 2018) que afirman que los sistemas de riego por micro aspersión o nebulizadores han brindado mejores resultados ya que el tiempo de riego y el tamaño de la gota que genera no afectan de manera negativa al cultivo y permite que aumente la humedad en el espacio. El presente proyecto reafirma que estos métodos no solo optimizan el tiempo de riego, sino que también permite un aumento en la humedad del espacio, favoreciendo así un crecimiento más saludable de las plantas.

Los resultados del proceso de elaboración del Forraje Verde Hidropónico (FVH) revelan que en las bandejas con una alta densidad de semillas (5 kg/m^2), el desarrollo y la germinación se vieron afectados por hongos, lo que impactó significativamente los datos. Un estudio de (Blanco, Pérez, & Rosales, 2019) indica que un exceso de humedad en sistemas hidropónicos crea condiciones favorables para el crecimiento de hongos, perjudicando la germinación y el desarrollo de las plántulas. Aunque en las bandejas con 656 gramos de semilla húmeda de sorgo por $0,13115 \text{ m}^2$ se obtuvo una germinación total de 1652 gramos, considerado un rendimiento aceptable, la alta humedad también redujo esta capacidad. Esto resalta la importancia de gestionar adecuadamente la densidad de semillas y el control de humedad para optimizar la producción de FVH y minimizar pérdidas por patógenos.

En el presente proyecto, los valores P extremadamente bajos (0,00043 para 4 kg y 0,00061 para 5 kg) indicando que las diferencias observadas en la consistencia de pesos son altamente significativas y no son producto del azar. Por otro lado, el proyecto de longitud de raíz de (Izquierdo Paramo & Murillo Saldaña, 2024) también presenta resultados robustos, con un valor p de 0,000, lo que confirma que la mayoría de la variabilidad en los datos se debe a los tratamientos aplicados, destacando el impacto significativo de estos en el crecimiento de las raíces. Ambos estudios utilizan ANOVA de manera rigurosa, cumpliendo con los supuestos estadísticos necesarios, lo que respalda la interpretación de que sus resultados reflejan diferencias reales y no variaciones aleatorias. Así, tanto el proyecto FVH como el de longitud de raíz ejemplifican la efectividad del ANOVA como herramienta confiable en la investigación científica, proporcionando una base sólida para el análisis de los efectos de los tratamientos en sus respectivos contextos.

5. CONCLUSIONES

Al evaluar las diferentes densidades de siembra (2, 3, 4 y 5 kg/m²), se destaca que el forraje verde hidropónico sembrado con una densidad de 3,0 kg/m², con una humedad promedio de 39,32%, obtuvo un rendimiento final de 8198.10 g, de FVH/m² y esto a su vez, se obtuvo con 2060 g, de semilla de sorgo seco, con una humedad promedio de 11,4%. Este hallazgo revela que los 3,0 kg/m² es la opción más viable desde el punto de vista económico y técnico. Esta densidad demostró un rendimiento en términos de producción de forraje, sin mostrar indicios de desarrollo de patógenos y con una tasa completa de germinación de las semillas utilizadas.

Desde el punto de vista económico, se concluye que la densidad de siembra de 3 kg/m² se presenta como la opción más rentable para el proyecto, ofreciendo un menor costo unitario, que fue de \$880 COP/kg de FVH, donde los 2,06 kg de semilla seca de sorgo en el momento que se realizó el proyecto costaron \$7210 COP (a \$3500/kg). Y con los cuales se obtuvo 8,198 kg de FVH.

En cuanto a las condiciones climáticas dentro del invernadero, se evidenció un rango de temperatura entre 16.9°C., como temperatura mínima y una máxima de 39.1°C, promediando los 26.66°C. Asimismo, se observaron fluctuaciones en la humedad relativa (HR%), con valores mínimos de 25.2% y máximos de 96.2%, promediando 65.93%. Estos resultados fueron consistentes a lo largo de las tres repeticiones, lo que respalda la estabilidad del entorno climático para el cultivo estudiado en la región. Tales hallazgos sugieren una viabilidad y adecuación del ambiente para el crecimiento del sorgo, lo que establece una base sólida para investigaciones futuras y la implementación de prácticas agrícolas en la zona.

Se puede concluir que la densidad de siembra de 5 kg/m² muestra la mayor producción de biomasa, alcanzando 12,596.26 g, lo que representa un incremento del 251.8%. Sin embargo, esta densidad se considera menos favorable desde un punto de vista técnico y de calidad debido a la presencia de patógenos en las semillas, la formación de terrones de semillas y la falta de germinación de una cantidad considerable de ellas. Estos factores contribuyeron significativamente a una mayor incidencia de patógenos en este grupo experimental.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado en este estudio sobre el forraje verde hidropónico sugiere que los resultados son estadísticamente robustos y fiables. Los datos obtenidos indican que las densidades de 2, 3 y 5 kg/m² muestran un nivel de confiabilidad del 95%, mientras que la densidad de 4 kg/m² alcanza un 99% de fiabilidad; siendo la hipótesis aprobada. Estos hallazgos refuerzan la validez del presente estudio, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la producción de forraje verde hidropónico.

En conclusión, para futuros proyectos de investigación sobre cultivos de sorgo en sistemas de forraje verde hidropónico, sea una densidad de siembra de 3.5 kg/m² emerge como la opción más eficiente. Esta densidad se posiciona estratégicamente entre las

densidades de 3 kg/m² y 4 kg/m², ofreciendo una combinación óptima de viabilidad económica y técnica. Además, se observó que el precio obtenido para el forraje verde hidropónico fue de \$880 COP/kg para 3 kg y \$881 COP/kg para 4 kg, y las ganancias en biomasa pueden ser mayores que las obtenidas con la densidad de 3 kg/m².

BIBLIOGRAFIA

- AGUDELO VIANA, G., AIGNEREN ABURTO, J. M., & RUIZ RESTREPO, J. (2018). Diseños de investigación experimental y no-experimental. *La Sociología en sus Escenarios*, (18), 1–46. Recuperado el 24 de septiembre de 2024, de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/2622>.
- BIRGI, J. A., & UTRILLA, V. G. (28 de noviembre de 2018). El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina*. Recuperado el 15 de marzo de 2024, de www.redalyc.org: <https://www.redalyc.org/journal/864/86458368004/html/>
- Blanco, L. E, Perez, H. C., & Rosales, M. B. (noviembre de 2019). *Dialnet*. Recuperado el 23 de septiembre de 2024, de [Dialnet.unirioja.es](http://dialnet.unirioja.es): <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7891224>
- Canales, D. L. (s.f.). Cómo secar semillas y clases de deshidratadores. *semillasde*. Recuperado el 10 de abril de 2024, de www.semillasde.org: <https://www.semillasde.org/como-secar- semillas-y-clases-de-deshidratadores/>
- Castillo y otros. (18 de febrero de 2022). Effect of applying nutritive solutions on bromatological quality of the hydroponic green forage of Avena sativa and Hordeum vulgare. *terralatinoamericana*. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.996>
- Capsavida. (10 de diciembre de 2020). Forraje verde hidropónico, ¿una alternativa real para el ganado? *capsavida*. Recuperado el 17 de mayo de 2024, de capsavida.com: <https://capsavida.com/blog/forraje-verde-hidroponico/>
- Castillo Castro, & Chavarría Torrez. (5 de diciembre de 2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático*. doi: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>
- Castillo, J., González, M., Aviles, A., Vázquez, Y., Varela, S., & Discua, J. (18 de febrero de 2022). *terralatinoamericana*. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.996>
- Chiquito Almanza, Elizabeth; Cobielles Castrejón, Gabriel; Montes García, Noé; Pecina Quintero, Víctor & Anaya López, José Luis. (marzo de 2011). Kafirinas, proteínas clave para conferir digestibilidad y calidad proteica al grano de sorgo. *scielo*.

Recuperado el 10 de abril de 2024, de www.scielo.org:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000200005#:~:text=El%20grano%20de%20sorgo%20contienen,et%20al.%20C%201995.

- Climate data. (2021). Clima Garzón (Colombia). *Climate data*. Recuperado el 16 de diciembre de 2023, de [es.climate-data.org: https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/huila/garzon-49717/](https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/huila/garzon-49717/)
- De León, m. (2004). Herramientas para manejar las complejas relaciones “pastura animal”. Córdoba, argentina. Producción de carne Bovina. *Boletín Técnico Producción animal*. Recuperado el 19 de abril del 2024, de https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/forraje_hidroponico/03-evaluacion_plastico.pdf
- Durán, C. S. (2014). Alimentación Alternativa de gallinas ponedoras: Utilización de forraje verde hidropónico. *kerwa repositorio*. Recuperado el 10 de febrero de 2024, de [kerwa.ucr.ac.cr: https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/73164](https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/73164)
- FAO. (2001). Manual técnico Forraje Verde Hidropónico. *guiaspdf*. Recuperado el 15 de febrero de 2024, de [guiaspdf.net: https://guiaspdf.net/wp-content/uploads/2021/02/Guia-para-Hacer-Forraje-Verde-Hidroponico-GuiasPDF.Net_.pdf](https://guiaspdf.net/wp-content/uploads/2021/02/Guia-para-Hacer-Forraje-Verde-Hidroponico-GuiasPDF.Net_.pdf)
- Fessia, Cordes, Pérez, Magnino, & Brunetti. Producción de Forraje Hidropónico a partir de granos de “sorgo” (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Sitio Argentino de Producción Animal*. Recuperado el 25 de abril de 2023, de https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/forraje_hidroponico/36-Produccion_Hidroponico_sorgo.pdf
- Gobernación del Huila (2017) Economía. *Gov.co*. Recuperado el 24 de mayo del 2024, de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/148/economia/>
- Gobernación del Huila (2023) Productores agropecuarios a prepararse frente al fenómeno de “El Niño”. *Gov.co*. Recuperado el 24 de mayo del 2023, de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/13948/productores-agropecuarios-a-prepararse-frente-al-fenomeno-de-el-nino/>
- Herrera, J. P., & Guerrero, E. M. (21 de diciembre de 2021). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del piedemonte amazónico *Reviste de investigación agraria y ambiental*. doi: 10.22490/21456453.4535
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/4535/5273>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2009). *NTC 529 - CEREALES Y PRODUCTOS CEREALES.DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD*. Bogotá: ICONTEC. Recuperado el 23 de septiembre de 2024, de <https://pdfcoffee.com/norma-tecnica-ntccolombiana-529-2-pdf-free.html>

- Izquierdo Paramo, Y., & Murillo Saldaña, J. (2024). *Producción de forraje verde hidropónico de maíz “Zea mays” como alternativa de alimentación de animales de granja en zonas rurales del*. UNAD. Distancia: Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA. Recuperado el 24 de septiembre de 2024, de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60831>
- López Aguilar, Raúl; Murillo Amador, Bernardo; Rodríguez Quezada, Guadalupe. (febrero de 2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *scielo*. Recuperado el 20 de abril de 2024, de [ve.scielo.org: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000200009](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000200009)
- Martha H. Bedolla-Torres y otros. (julio de 2015). La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz. *Revista Argentina de Microbiología*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.04.002>
- MARTÍNEZ, L. Á. (SEPTIEMBRE de 2005). Producción de forraje verde hidropónico. *CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA*. Recuperado el 29 de febrero de 2024, de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/403/1/Luis%20Angel%20Lopez%20Martinez.pdf>
- Mejía, D. A., & Reyes, A. N. (2020). Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero. *zamorano*. Recuperado el 24 de marzo de 2024, de [bdigital.zamorano.edu: https://bdigital.zamorano.edu/items/6e1849d8-3896-4ead-853a-9700d1db0428](https://bdigital.zamorano.edu/items/6e1849d8-3896-4ead-853a-9700d1db0428)
- Minitab. (2024). Interpretar los resultados clave para la ANOVA de un solo factor. *support.minitab.com* Recuperado el 16 de junio del 2024, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/how-to/interpret-the-results/key-results/>
- Morales, E. M. (18 de agosto de 2015). Forraje verde hidropónico, una alternativa para la producción animal. *nutrinews*. Recuperado el 17 de mayo de 2024, de [nutrinews.com: https://nutrinews.com/forraje-verde-hidroponico-una-alternativa-para-la-produccion-animal/#:~:text=Entre%20las%20ventajas%20del%20forraje,y%20la%20producci%C3%B3n%20de%20leche](https://nutrinews.com/forraje-verde-hidroponico-una-alternativa-para-la-produccion-animal/#:~:text=Entre%20las%20ventajas%20del%20forraje,y%20la%20producci%C3%B3n%20de%20leche).
- Rodríguez, B., Savón, L., Vázquez, Y., & Herrera, T. E. (1 de marzo de 2018). Evaluación de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* para la alimentación de gallinas ponedoras. *Irrd*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, de [www.lrrd.org: https://www.lrrd.org/lrrd30/3/brod30056.html](https://www.lrrd.org/lrrd30/3/brod30056.html)
- Thames, P. F. (1983). SECADO DE LA SEMILLA. recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas de *Prosopis* en América Latina. *Fao.org*, <https://www.fao.org/3/Q2180S/Q2180S00.htm#TOC>.
- Vargas Rodríguez, C. F. (29 de agosto de 2007^[DF1]). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. doi: <https://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 22 de octubre del 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Karen del Mar Muñoz Torres, con C.C. No. 1000380120,

Juan Manuel García Córdoba, con C.C. No. 1007465422,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o Proyecto de grado

titulado DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA ADECUADA, TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE, EN LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE SORGO (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH), EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN.

presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de

Ingeniero Agrícola;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Karen del Mar Muñoz Torres

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Juan Manuel García

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA ADECUADA, TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE, EN LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE SORGO (*SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH*), EN EL MUNICIPIO DE GARZÓN.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Muñoz Torres	Karen del Mar
García Córdoba	Juan Manuel

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Caldearon Alvarado	Luis Fernando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRÍCOLA

FACULTAD: INGENIERÍA

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA AGRÍCOLA

CIUDAD: Garzón Huila AÑO DE PRESENTACIÓN: 2024 NÚMERO DE PÁGINAS: 30

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_x___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
o Cuadrosx___

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Forraje verde hidropónico (FVH)</u>	<u>Hydroponic green forage (HGF)</u>
2. <u>Humedad relativa</u>	<u>Relative humidity</u>
3. <u>Germinación</u>	<u>Germination</u>
4. <u>Termo-higrómetro</u>	<u>Thermo-hygrometer</u>
5. <u>Densidad</u>	<u>Density</u>
6. <u>Imbibición</u>	<u>Imbibition</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El proyecto se desarrolló con el propósito de determinar la densidad de siembra más adecuada para la producción de forraje verde hidropónico (FVH) de sorgo en el municipio de Garzón, Huila. Se llevaron a cabo pruebas con diferentes densidades de siembra (2, 3, 4 y 5 kg/m²) para evaluar aspectos clave como la germinación de las semillas, la producción de forraje y los costos asociados a cada densidad. Se utilizaron semillas de sorgo sin conservantes ni aditivos, obtenidas localmente en la vereda Las Minas. Durante el proceso experimental, se registraron diversas variables, incluyendo



la temperatura ambiente, la humedad relativa, el peso de las bandejas hidropónicas y la longitud de las plántulas, además de establecer un programa de riego regular con seis sesiones diarias para mantener condiciones óptimas de crecimiento. Los resultados revelaron que la densidad de siembra de 3 kg/m² es la opción más técnica y económicamente apropiada, ya que se obtuvo un incremento significativo en el rendimiento, pasando de 3.000 gramos/m² con una humedad del 38% a 8.198,10 gramos/m² de forraje verde hidropónico, lo que equivale a un aumento del 273,27%. Se utilizó inicialmente una cantidad total de 2.060 gramos de semilla seca con una humedad del 11,8% antes de la imbibición, y el costo final del forraje verde fue de \$880/kg de FVH al finalizar los 12 días de germinación.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The project was developed to determine the most suitable planting density for the production of hydroponic green fodder (FGH) from sorghum in the municipality of Garzón, Huila. Tests were conducted with different planting densities (2, 3, 4, and 5 kg/m²) to evaluate key aspects such as seed germination, fodder production, and the costs associated with each density. Sorghum seeds without preservatives or additives were used, obtained locally from the Las Minas area. Throughout the experimental process, various variables were recorded, including ambient temperature, relative humidity, the weight of the hydroponic trays, and the length of the seedlings, along with a regular irrigation program consisting of six daily sessions to maintain optimal growth conditions. The results revealed that a planting density of 3 kg/m² is the most technically and economically appropriate option, achieving a significant increase in yield from 3,000 grams/m² with 38% humidity to 8,198.10 grams/m² of hydroponic green fodder, which represents a 273.27% increase. Initially, a total of 2,060 grams of dry seed with 11.8% humidity was used before imbibition, and the final cost of the green fodder was \$880/kg of FGH at the end of the 12-day germination period.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Dayana Alejandra Orozco Blanco

Firma:

Nombre Jurado: Daniel Felipe Fernández Reyes

Firma:

Vigilada Mineducación