Producción de forraje verde hidropónico de maíz “Zea mays” como alternativa de alimentación de animales de granja en zonas rurales del municipio de Ibagué- Tolima

Yenny Carolina Izquierdo Paramo

John Eduard Murillo Saldaña

Asesor

Jaime Alfonso Ortiz Londoño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2024

Nota de aceptación

_____

Presidente del jurado

_____

_____

Jurado

_____

Jurado

Ibagué, 2024

Resumen

El proyecto de investigación consiste en producir forraje verde hidropónico de maíz "*Zea mays*"; se llevará a cabo en la zona urbana de la ciudad de Ibagué, se realizan pruebas con el fin de evaluar el rendimiento y calidad del forraje, y así suministrar este alimento como un suplemento para los animales de granja tales como los vacunos o bovinos, aviar, equino, porcino, ovino, caprino, etc. se plantea como una investigación experimental en el cual se hace un seguimiento a las variables dependientes como la altura de las hojas, largo de la raíces o peso final de las plantas.

Este método consiste en proporcionar una fuente sostenible y confiable de forraje verde y también para todo tipo de condiciones climáticas. La hidroponía permite el cultivo de plantas en un ambiente controlado, utilizando soluciones nutritivas en lugar de suelo, lo que reduce significativamente la cantidad de agua requerida en comparación con los métodos de cultivo tradicionales.

La evaluación de la producción de forraje verde de maíz a través de un sistema hidropónico en bandejas se obtiene a partir de cereales germinados que pueden ser cosechados en un lapso de 9 a 15 días para luego determinar su viabilidad y efectividad.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que, entre los 5 tratamientos aplicados, se ha registrado un incremento promedio de 24 cm en la altura de las hojas, con un peso promedio de 15,96 kg. Este resultado ratifica que el tratamiento 5, el cual recibió mayores componentes nutricionales, ha demostrado ser el más productivo, logrando así una cosecha óptima.

Palabras clave*:* Zonas áridas, Forraje hidropónico, Hidroponía, Plantas, Sistema de producción

Abstract

The research project consists of the production of hydroponic green forage from corn “Zea mays”; will be carried out in the urban area of the city of Ibagué, tests will be carried out to evaluate the performance and quality of the forage, and thus provide this food as a complement to farm animals such as cattle, birds, horses, pigs, sheep, goats, etc It is proposed as an experimental investigation in which dependent variables such as leaf height, root length or final plant weight are monitored.

This method aims to provide a sustainable and reliable source of green fodder and also for all types of climatic conditions. Hydroponics allows plants to grow in a controlled environment using nutrient solutions instead of soil, significantly reducing the amount of water needed compared to traditional growing methods.

The evaluation of the production of green corn forage through a hydroponic system in trays is obtained from sprouted cereals that can be harvested in a period of 9 to 15 days to then determine their viability and effectiveness.

According to the above, it is evident that, among the 5 treatments applied, an average increase of 24 cm in the height of the leaves has been recorded, with an average weight of 15.96 kg. This result confirms that treatment 5, which received greater nutritional components, has proven to be the most productive, thus achieving an optimal harvest.

Keywords*:* Arid zones, Hydroponic fodder, Hydroponics, Plants, Production system

Contenido

Introducción 13

Justificación 16

Objetivos 18

Objetivo general 18

Objetivos específicos 18

Antecedentes 19

Uso de forraje verde hidropónico 19

Características nutricionales del forraje verde hidropónico 22

Metodología 24

Localización 24

Descripción de los tratamientos 24

Tratamiento 1 24

Tratamiento 2 25

Tratamiento 3 26

Tratamiento 4 26

Tratamiento 5 27

Diseño experimental y análisis estadístico. 28

Diseño. 28

Método estadístico aplicado. 29

Definición de variables. 29

Técnicas e instrumentos de recopilación de datos. 30

Parámetros evaluados. 31

Duración del experimento 31
Costo sistema hidropónico 33
Pasos para la producción de forraje verde hidropónico 35
Principios de la hidroponía 35
Cabina térmica. 35
Estanque recolector. 36
Bomba 36
Agua. 36
Solución nutritiva. 37
Material de siembra. 37
Producción de forraje verde hidropónico 37
Instalaciones. 37
Selección de semillas. 39
Metodología producción FVH. 40
Riego de las plántulas. 40
Resultados 42
Altura de hojas tratamiento 42
Análisis estadístico 44
Altura hojas cm 44
Peso en Kg tratamientos 48
Peso kg 50
Largo de raíz tratamientos 55
Largo de raíz cm 57

Análisis método estadístico ANOVA 61

Conclusiones 68

Recomendaciones 71

Referencias 73

Apéndices 76

Lista de figuras

Figura 1. Montaje para la siembra de Forraje Verde Hidropónico de maíz 38

Figura 2. ICs simultáneos de 95% de Tukey: altura hojas..... 46

Figura 3. Graficas de residuos para resultado: altura hojas 47

Figura 4. Graficas de residuos para resultado: altura hojas 47

Figura 5. ICs simultáneos de 95% de Tukey: peso..... 52

Figura 6. Grafica de intervalos de resultados vs Tratamiento: peso..... 53

Figura 7. Graficas de residuos para resultado: peso 53

Figura 8. ICs simultáneos de 95% de Tukey: largo de raíz 59

Figura 9. Graficas de residuos para resultado: largo de raíz..... 59

Figura 10. Graficas de residuos para resultado: largo de raíz..... 60

Lista de tablas

Tabla 1. Modulo para 240 bandejas. Producción diaria de 330 kg 22

Tabla 2. Análisis nutricional del forraje verde hidropónico 23

Tabla 3. Relación entre el porcentaje de proteína 23

Tabla 4. Resultado análisis del agua. 25

Tabla 5. Características físicas y químicas del fertilizante para el tratamiento 2. 26

Tabla 6. Características de fertilizante TODO EN UNO 27

Tabla 7. Sistema de Forraje y riego Automático para 5 Bandejas 33

Tabla 8. Comparación Costos de Cinco Tratamientos 34

Tabla 9. Ciclo de riego FVH durante un periodo de 15 días. 41

Tabla 10. Altura de hojas tratamiento 1 42

Tabla 11. Altura de hojas tratamiento 2 43

Tabla 12. Altura de hojas tratamiento 3 43

Tabla 13. Altura de hojas tratamiento 4 43

Tabla 14. Altura de hojas tratamiento 5 44

Tabla 15. Promedio altura de hojas de los diferentes tratamientos 44

Tabla 16. Método: altura hojas 45

Tabla 17. Información del factor: altura hojas 45

Tabla 18. Análisis de Varianza: altura hojas 45

Tabla 19. Resumen del modelo: altura hojas 45

Tabla 20. Medias: altura hojas 45

Tabla 21. Comparaciones en parejas de Tukey: altura hojas 46

Tabla 22. Peso en Kg tratamiento 1 48

Tabla 23. Peso en Kg tratamiento 2 49

Tabla 24. Peso en Kg tratamiento 3 49

Tabla 25. Peso en Kg tratamiento 4 49

Tabla 26. Peso en Kg tratamiento 5 50

Tabla 27. Peso total de cada tratamiento (5bandejas) en Kg de los diferentes tratamientos 50

Tabla 28. Método: peso..... 50

Tabla 29. Información del factor: peso 51

Tabla 30. Análisis de Varianza: peso..... 51

Tabla 31. Resumen del modelo: peso 51

Tabla 32. Medias: peso 51

Tabla 33. Comparaciones en parejas de Tukey: peso 52

Tabla 34. Largo de la raíz tratamiento 1 55

Tabla 35. Largo de la raíz tratamiento 2 55

Tabla 36. Largo de la raíz tratamiento 3 55

Tabla 37. Largo de la raíz tratamiento 4 56

Tabla 38. Largo de la raíz tratamiento 5 56

Tabla 39. Promedios de cada tratamiento 57

Tabla 40. Método: largo de raíz 57

Tabla 41. Información del factor: largo de raíz 57

Tabla 42. Análisis de Varianza: largo de raíz 57

Tabla 43. Resumen del modelo: largo de raíz..... 58

Tabla 44. Medias: largo de raíz..... 58

Tabla 45. Comparaciones en parejas de Tukey: largo de raíz 58

Tabla 46. Pasos para la Producción de FVH..... 63

Lista de Apéndices

Apéndice A. Tabulación proceso FVH Maíz 76

Apéndice B. Evaluación agua para riego 77

Introducción

El proyecto de investigación sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz “Zea mays” co0mo alternativa en la alimentación de animales de granja en zonas áridas; se llevará a cabo en la zona urbana de la ciudad de Ibagué Tolima, ubicado al centro occidental de Colombia, en la Cordillera Centro de los Andes, entre la Quebrada de Combeima y el Valle del Magdalena, cerca del Nevado del Tolima. Es la capital de la provincia de Tolima. Esta zona del territorio colombiano cuenta con un clima tropical y una cantidad significativa de lluvia durante el año, suele tener una temperatura promedio de 21.1°C. y Precipitaciones aquí promedios 1976 mm (GDT, 2023).

La producción de alimento bajo este método resulta ser propicia en las diferentes dificultades cambio climático (López et al., 2009); de acuerdo con lo mencionado por (Ibáñez y Manríquez, 2014); las zonas se han caracterizado por ser terrenos con pocos valores de precipitación y una cobertura vegetal muy escasa como es el caso de los desiertos del Kalahari y Sahara, que posee hábitat con geografía en el interior de los continentes.

Como bien sabemos en la actualidad, uno de los problemas que más preocupa a los productores o dueños de granja es obtener un alimento que cumpla con ciertos parámetros específicos como un alto contenido proteico, que sea fresco y abundante, que no requiera grandes extensiones de terreno, que no se vea afectado por las condiciones del clima y sobre todo sea de bajo costo.

Actualmente los cambios climáticos son determinantes e intervienen en la producción de pasturas que son la principal fuente nutritiva para el sostenimiento de los animales que se encuentran en dichas zonas, por lo tanto, es importante priorizar sistemas que permitan suplir con esta necesidad para los productores.

El objetivo general de este trabajo de investigación tiene por objeto producir forraje a través de un sistema hidropónico como alternativa de alimentación para animales de granja, evaluando la germinación del grano de maíz como propuesta nutricional en el suplemento alimenticio para animales de granja.

La producción de forraje verde hidropónico es una estrategia que ha cobrado importancia en la agricultura moderna. La recopilación de datos técnicos en este campo es esencial para entender y optimizar este sistema. Al recolectar información detallada sobre factores como la composición del agua, los nutrientes, la iluminación y el crecimiento de las plantas, se pueden tomar decisiones más informadas que promuevan la eficiencia y la productividad en la producción de forraje hidropónico. Además, esta estrategia puede servir como catalizador para la adopción de innovaciones tecnológicas en la agricultura, ya que la hidroponía representa un método de cultivo altamente eficiente y sostenible. La germinación del grano de maíz en condiciones de hidroponía ofrece nuevas perspectivas en la formulación de suplementos alimenticios para animales de granja. Este enfoque innovador busca aprovechar al máximo los nutrientes del maíz al cultivarlo en un sistema hidropónico controlado. Los resultados de estas evaluaciones pueden tener un impacto significativo en la calidad y el valor nutricional de los alimentos para animales, lo que a su vez podría mejorar la salud y el rendimiento de los animales de granja tales como como los vacunos o bovinos, aviar, equino, porcino, ovino, caprino, entre otros.

Los aspectos que se consideran ventajosos para producir el forraje verde de maíz bajo un sistema de hidroponía son:

- *Teniendo en cuenta la eficiencia del uso del agua:* son consideradas como terrenos desfavorables para el desarrollo agropecuario debido a distintos factores como los

cambios climáticos, la poca disponibilidad de agua y altos costos de producción, lo que hace que los productores busquen nuevas alternativas que garanticen la sostenibilidad alimenticia y nutritiva para sus animales, la conservación del agua es crucial. La hidroponía utiliza menos agua en comparación con el cultivo tradicional en suelo, ya que el agua se recircula y se administra con precisión.

- *La producción constante:* Este sistema permite la producción continua de forraje durante todo el año, independientemente de las estaciones o condiciones climáticas, lo que garantiza un suministro constante de alimento para el ganado.
- *El control de calidad*: La hidroponía permite un control riguroso de los nutrientes y condiciones de crecimiento, lo que se traduce en un forraje verde de alta calidad nutricional y libre de contaminantes.
- *Aumento de la productividad:* Al optimizar el crecimiento del maíz en un ambiente controlado, este sistema puede aumentar la productividad por unidad de área, lo que es especialmente beneficioso en zonas donde el espacio es limitado.

El propósito de esta investigación buscar evaluar el rendimiento y calidad del forraje frente a diferentes tratamientos que se le aplicaran para hacer la respectiva investigación y llegar a una conclusión sobre su comportamiento.

El forraje hidropónico (FVH) es una técnica para la producción de biomasa vegetal, obtenida luego de la germinación de semillas de gramíneas o leguminosas (trigo, avena, cebada, maíz) y luego de 12 días puede ser cosechada y suministrada.

Justificación

El presente proyecto de investigación está enfocado a la producción de un Forraje Verde Hidropónico (FVH), como suplemento para los animales de granja, cabe resaltar que esta metodología se puede implementar en cualquier estado climático; así como también evaluar el rendimiento y calidad del Forraje Verde Hidropónico como una alternativa a los productores de granja y les sirva como complemento nutricional para sus animales disminuyendo los costos de mantenimiento y producción.

De acuerdo con lo anterior, la generación de actividades agrícolas por medio de los cultivos hidropónicos puede beneficiar a diferentes sectores y a los pobladores del municipio de Ibagué. especialmente en el sector del medio ambiente, donde se lograrán beneficios de la oxigenación que produce este tipo de sistema, disminuyendo, adicionalmente, el calentamiento global.

Adicionalmente, dicho método de siembra presenta ventajas a la población en general debido a que no se requiere conocimientos técnicos y mayor experticia en agricultura, en razón a que, en el cultivo hidropónico, todo está medido y controlado de forma casi automática. Lo anterior reviste importancia, si tiene en consideración que los niveles de educación en las zonas rurales son más bajos que en la zona urbana, estimado en una matrícula rural del 24,4% mientras la urbana fue de 75% (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2021). Así mismo, en cuanto al sector económico, es una posibilidad de generar ingresos por parte de la población campesina sin recurrir a grandes extensiones de tierra para poder producir y a costos más bajos.

Por otro lado, la hidroponía también fomenta el uso de medios de protección de plantas amigables con el ambiente, notablemente promueve el uso de fungicidas e insecticidas de origen biológico o natural. Con la producción de hortalizas bajo sistemas hidropónicos se obtendrá:

disminución en la desnutrición, disminución de la vulnerabilidad alimentaria y mayores opciones en dietas saludables, contrastando con la dieta fundamentada en granos básicos.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el desempeño agronómico de la producción de forraje verde hidropónico del cultivo maíz en las condiciones de la zona rural del municipio de Ibagué.

Objetivos específicos

- Evaluar cinco métodos nutricionales con el fin de determinar cuál de ellos demuestra ser el más productivo en términos de beneficios para suplemento animal.
- Analizar e identificar criterios de calidad del forraje del cultivo de maíz hidropónico
- Establecer costos comparativos y usos alternativos de fertilización para el cultivo de maíz hidropónico en la zona rural del municipio de Ibagué.

Antecedentes

Uso de forraje verde hidropónico

La producción del FVH es tan solo una de las opciones con las que cuenta el cultivo sin suelo o hidroponía, esta técnica de cultivo fue descubierta por un científico irlandés llamado Robert Boyle en el siglo XVII, cuando realizó las primeras experimentaciones de cultivos en agua. Tiempo más tarde, sobre el final de dicha centuria, otro científico John Woodward experimentó con plantas de granos, que germinaron haciendo uso de diferentes aguas; posteriormente realizó un comparativo entre las diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos, así como la composición del forraje resultante (Huterwal, 1960; y Ñíguez, 1988 como se citó en Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2001).

El procedimiento para la producción de FVH se lleva a cabo en contenedores planos durante un promedio de 15 días, y se riega el cultivo con agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 centímetros. En adelante se riegan las plantas con una solución nutritiva, el cual tiene como objetivo ayudar en el crecimiento optimo del forraje y así como también brindarle características como su sabor agradable, su facilidad de digestión y ser una alternativa excelente al alimento concentrado (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2001).

Núñez y Guerrero (2021), mencionan en su estudio que la producción del FVH es una opción practica que no requiere implementación de tecnología de alta complejidad y que suele ser una ventaja cuando se está en época de sequía, esta producción sirve como suministro de alimentación para los animales, el cual cuenta con un alto contenido de nutrientes, concluyendo que es posible reemplazar el método de cultivo tradicional, ya que es mucho más efectivo por su

valor nutritivo y por ser libre de hongos y plagas, lo cual es beneficioso para la alimentación de especies animales.

Por otro lado, Sholto (1983, como se citó en Vargas, 2015) expone en su estudio, que unidades productoras de cultivos hidropónicos grandes y pequeños pueden instalarse tanto en el campo como en la ciudad, utilizando una mínima cantidad de agua para cultivar una gran cantidad de plantas sanas y atractivas, aspecto que es crucial en condiciones extremas.

Schubert (1981), señala que en cultivos hidropónicos si se aplica demasiada solución nutritiva o agua, uno puede verdaderamente “ahogar” a su cultivo, puesto que donde hay agua no puede haber aire. Esto hace que el suministro de oxígeno a las raíces sufra un trastorno, ya que las raíces dejan de trabajar o por lo menos ya no pueden hacerlo como es debido; ya que se presentan interrupciones en la absorción de los nutrientes y cesa a la suma formación de las raíces hacia abajo.

Para el caso del FVH es ampliamente difundido que las semillas se coloquen en los contenedores o charolas sin ningún sustrato, con esto las raíces crecen y se enroscan entre sí, formando virtualmente un "tapete radicular" y que en cierta forma funge como un sustrato que facilita su transporte y manejo en los comederos (Rodríguez, 2006).

El FVH es un alimento y complemento alimenticio que puede ser incluido en la dieta de todos los animales de la granja, es una tecnología que trae muchos beneficios a los productores porque ayuda a reducir los costos de producción y el tiempo de producción de alimento, compactación del suelo por sobrepastoreo y riego. Contaminación. Al mismo tiempo, aumenta la productividad y la tasa reproductiva de los animales, y se caracteriza por una alta palatabilidad y digestibilidad para los animales en raciones específicas (Agriculturesrs, 2014).

Este proceso permite la producción intensiva de pienso fresco para animales de trabajo o de engorde (vacas, caballos, cerdos, ovejas, conejos, cobayas, gallinas, etc.), utilizando el espacio y los recursos de la forma más eficiente posible con muy buenos resultados (Hidroenvironment, 2017).

Teniendo en cuenta lo dicho por el autor Franco (2016). Esto resuelve un problema muy común entre los ganaderos, como es el alto costo de acceso a los mercados de proteínas y suplementos nutricionales, que se puede evitar produciendo forrajes verdes hidropónico.

Los sistemas de riego por microaspersión y nebulización se encuentran entre los sistemas más eficientes porque, a diferencia de otros sistemas, el riego es proporcional y uniforme, y el tamaño de las gotas de agua no causa ningún daño a las semillas, además ayuda a aumentar la humedad relativa en invernadero (Hidrovide, 2017).

En condiciones de cultivo de regadío durante la estación seca, se estima que se necesitarán entre 5 y 7 toneladas de agua por hectárea. Esta cantidad puede variar dependiendo del tipo de cultivo, las condiciones climáticas específicas, el método de riego y la eficiencia del sistema de riego empleado (Wikifarmer, 2023). Lo anterior nos dice que serían aproximadamente 3.5 litros de agua para un área de 5 metros cuadrados (5 m2), que es la cantidad que forraje que nos da nuestro sistema hidropónico, realizando una comparación frente al sistema ya mencionado el cual se emplea nebulizadores que suministran alrededor de 1 litro por minuto (Naandanjain, 2018), con un total de 5 nebulizadores que juntos proveen 5 litros por minuto para el riego. Si se realiza un riego al día, con una duración aproximada de 1 a 1,5 minutos en total, esto equivale a un consumo diario de entre 10 y 15 litros de agua para el cultivo. lo que se evidencia una cantidad de agua proporcionalmente baja en comparación con los requerimientos de riego tradicionales en cultivos de regadío en suelo durante la estación seca. Esto refleja la eficiencia

inherente de la hidroponía en la gestión del agua y la capacidad de proporcionar a las plantas solo la cantidad necesaria.

Características nutricionales del forraje verde hidropónico

A continuación, se hace una valoración nutricional del forraje verde para diferentes tipos de animales de granja.

Tabla 1.

Modulo para 240 bandejas. Producción diaria de 330 kg

Clase de Animal	Alimento Mínimo Diario	No. de Animales Alimentados	Alimento Máximo Diario	No. de Animales Alimentados
Vacas lecheras	7 kg	47	20 kg	16
Vacuno de engorde	6 kg	55	15 kg	22
Ternero	1 kg	330	4 kg	82
Ovejas	1 kg	330	3 kg	110
Cabras lecheras	1 kg	340	4 kg	82
Cabras de engorde	1 kg	330	3 kg	110
Caballos	3 kg	110	12 kg	27
Cerdos	1 kg	340	4 kg	82
Conejos				
Gestión			402 g	
Lactancia			546 g	
Carne 30 días			120 gr	
Carne 50 días			180 gr	
Carne 70 días			250 gr	
Carne 100 días			380 gr	

Fuente. Roa (2017)

Tabla 2.

Análisis nutricional del forraje verde hidropónico

Componente	Cantidad
Materia seca	20.60%
Proteína	18.8%
Energía metabolizable	3.216 kcal.
Digestibilidad	80% - 90%
Vitaminas	
Carotenos	25.1 U. I/kg.
Vitamina E	25.1 U. I/kg.
Vitamina C	4.5 mg./kg
Minerales	
Calcio	0.104%
Fosforo	0.47%
Magnesio	0.14%
Hierro	200 ppm
Manganeso	300 ppm
Zinc	34.0 ppm
Cobre	8.0 ppm

Fuente. Roa (2017)

Tabla 3.

Relación entre el porcentaje de proteína

Días	Humedad (%)	Proteína
10	87.6	12.97
11	90.3	14.40
12	85.0	16.80
13	83.2	17.20
14	82.1	17.60
15	81.0	15.20
16	84.9	13.80
18	81.3	12.40

Fuente. Roa (2017)

Metodología

Localización

El estudio de investigación se realizó en la zona urbana del municipio de Ibagué, se alquilaron las instalaciones de una terraza para el montaje de la cámara hidropónica destinada para la producción de forraje verde hidropónico (FVH) de maíz "*Zea mays".*

Con coordenadas (4.445672119382086, -75.15353298262661) norte o sur del sitio. ubicado en el centro occidental de Colombia, en la Cordillera Centro de los Andes, entre la Quebrada de Combeima y el Valle del Magdalena, muy cerca al Nevado del Tolima. Este territorio posee un clima tropical y una cantidad importante de lluvia durante la mayor parte del año, con una temperatura media de 21.1 ° C. localizada a 1285 metros sobre el nivel de mar y Precipitaciones aquí promedios 1976 mm (GDT, 2023). El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación llega a 6 horas diarias/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 65 y 83 %, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre. (IDEAM.GOV.CO). Las características de los suelos en la zona urbana del municipio de Ibagué son superficiales, bien drenados, de texturas franca y franco arenosa con importantes contenidos de gravilla, cascajo y piedra en todo el perfil.

Descripción de los tratamientos

Se conformaron para la presente investigación 5 tipos de tratamientos diferentes de la siguiente manera:

Tratamiento 1.

Se rego con agua sin ningún tipo de solución nutritiva.

Se utilizó una cámara térmica con una temperatura que oscilo entre 33.4 °C y 36.2 °C sin ningún tipo de sombra.

Se tuvieron en cuenta los resultados del análisis de agua elaborado por el laboratorio Terrassiil-lab realizado bajo los métodos como PH: potenciometría, CE:Potenciometria, Ca-Mg-Na-k: absorción atómica, P-B-S: turbidimetría. Cl-CO3-HCO3: titulación. a continuación, se evidencia los resultados del examen del agua:

Tabla 4.

Resultado análisis del agua.

Resultado análisis del Agua													
PH	C.E. (ds/m)	**Mg/L (ppm)**										**Meq**	
		Ca	Mg	K	Na	B	P	S	NH4	NO3	Fe	Cloruros	CO3	HCO3
7.37	0.15	5.07	9.49	1.48	3.79	0.15	<0.01	12.68	0.57	2.15	<0.05	0.34	0.00	0.10

Fuente. Ortiz (2023)

El tratamiento 1

sin ninguna solución nutritiva y con solo agua se dio viabilidad para realizar el riego a cada una de las bandejas utilizadas para llevar a cabo la prueba.

Tratamiento 2.

Los procesos se mantuvieron iguales al tratamiento 1 añadiendo una fertilización de fosfato Diamónico (DAP) de la casa comercial CIAMSA, fuente de fósforo y también complemento secundario de nitrógeno. La recomendación para para disolver este fertilizante de acuerdo a la casa comercial es de 1gramo – 2gramos/Litro de agua. Lo que se usó para este tratamiento fue de 2gramos/Litro de agua.

Se utilizó una cámara térmica con una temperatura que oscilaba entre 33.4°C a los 36.2°C. La concentración del producto que se usó para este tratamiento es de 18% de nitrógeno y un 46% de fosforo.

Tabla 5.

Características físicas y químicas del fertilizante para el tratamiento 2.

Características Físicas y Químicas fosfato Diamónico (DAP) 18 – 46 – 0	
Formula química	(NH4)2HPO4
Peso molecular (g/mol):	132
Nombre químico:	Fosfato di-amónico, Fosfato dibásico de amonio; Fosfato de amonio monoácido
Color y forma:	Color variable, desde blanco (cristal, grado técnico) hasta verde o café (granular).
Densidad (kg/L):	0.90 – 1.6
Humedad crítica relativa 30°C (%):	70
Índice de salinidad*:	34
Acidez equivalente a carbonato de calcio (kg CaCO3/kg N)**	3.6

Fuente. Características físicas y químicas del DAP para FVH, Pierre (1934).

Tratamiento 3.

Se utilizó fertilizante MF CRECER 500, cuyo modo de acción es foliar y está compuesto por Nitrógeno 42,0%, balanceado con Potasio (K)3%, Fósforo (P) 3%, elementos secundarios (calcio, magnesio, azufre) y elementos menores como (boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso, molibdeno y zinc). La recomendación en dosificación para este fertilizante de acción foliar es de 4.5g/L de agua. Se utilizó una cámara térmica con una temperatura que oscilaba entre 33.4°C a los 36.2ºC.

Tratamiento 4.

Se usó solución nutritiva con un fertilizante de acción foliar TODO EN UNO enriquecido en Calcio, Magnesio, Azufre y todos los micronutrientes, en una dosificación de 5gramos/Litro de agua de acuerdo indicación del fabricante.

Se utilizó una cámara térmica con una temperatura que oscilaba entre 33.4°C a los 36.2%.

A continuación, se presentan los componentes de los fertilizantes y el peso porcentual de cada uno, así como sus características fisicoquímicas:

En la tabla 5. Características de fertilizante todo en uno, se encuentran los componentes de los fertilizantes y el peso porcentual de cada uno, así como sus características físico químicas.

Tabla 6.

Características de fertilizante TODO EN UNO

Composición garantizada	***Ingrediente***	***Porcentaje***
	Nitrógeno Total (N)	42.5%
	Nitrógeno Amoniacal (N)	1.2%
	Nitrógeno Uréico (N)	41.3%
	Calcio (CaO)	0.056%
	Magnesio (MgO)	0.315%
	Azufre Total (S)	0.450%
	Boro (B)	0.034%
	Cobre (Cu)	0.036%
	Hierro (Fe)	0.047%
	Manganeso (Mn)	0.100%
	Molibdeno (Mo)	0.005%
	Zinc (Zn)	0.100%
Características fisicoquímicas	Apariencia o forma	Gránulos solubles
	Color	Azul o Rosado
	Olor	Inoloro
	Estado físico	Sólido
	Solubilidad	81g/100mL a 20°C
	Humedad	0,53% p/p
	pH	6,7 en solución al 10%

Fuente: Ficha técnica generada por Superabonos SAS (2022)

Tratamiento 5.

Para el tratamiento 5 se utilizó solución nutritiva agregando todos los tratamientos que se usaron en los anteriores en una sola mezcla (DAP, MF CRECER 500, TODO EN UNO)

logrando tener una fertilización completa de elementos primarios, secundarios y menores. Para este último tratamiento se aplicó las mismas cantidades que se aplicaron por cada tratamiento, es decir 2gramos/Litro de agua de DAP, 4,5gramos/Litro de agua de CRECER 500 Y 5gramos/Litro de agua de TODO EN UNO.

Se utilizó una cámara térmica con una temperatura que oscilaba entre 33.4°C a los 36.2ºC.

Diseño experimental y análisis estadístico.

Para el análisis estadístico, se utilizó el diseño de bloques al azar, realizando el procesamiento de los datos en el programa Minitab, donde se realizó un análisis de varianza y comprobación de medias aplicando la prueba Tukey.

Diseño.

Un experimento es una exploración observacional de variables dependientes en la cual el investigador manipula y controla una o más variables independientes para medir la relación de las variaciones entre variables, de ese modo para la presente investigación se utilizó un diseño experimental debido que se permitió la manipulación intencional de más de dos variables independientes (causa), condición antecedente para que dicha causa surja un efecto (variable dependiente) (Agudelo y Aigneren, 2008).

Los cinco tratamientos realizados, los cuales se dividieron en 125 muestras, 25 para cada tratamiento, Permitieron evaluar variables como la altura de hojas, largo de raíz y además del peso final del FVH.

Este enfoque de investigación con múltiples tratamientos y repeticiones proporciona una base sólida para evaluar y comparar las variables estudiadas. La medición de la altura de hojas y el largo de raíz, así como el peso final del forraje, permite comprender cómo cada tratamiento

puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas, brindando información valiosa sobre la eficacia de los diferentes enfoques aplicados.

Método estadístico aplicado.

Modelo ANOVA: En el caso del ANOVA, se puede dar el caso que alguna o varias características del modelo como lo es la normalidad de los términos de error o la independencia en los datos investigados no se verifiquen, por tal motivo es de suma importancia examinar la adecuación del modelo a los datos antes de realizar un análisis de estos basado en dicho modelo. En esta revisión se trata de la validación del modelo, que consiste en estudiar si las hipótesis básicas del modelo están o no en contradicción con los datos observados., es por esto por lo que el modelo ANOVA considera que en el estudio de un experimento se debe seguir un proceso secuencial formado por los pasos siguientes:

1. Plantear un modelo que explique los datos.
2. Examinar la adecuación del modelo planteado, para saber si el modelo no es adecuado, poder tomar las medidas correctoras, tales como empleo de transformaciones de los datos, o modificar el modelo.
3. Si el modelo es adecuado se realiza el análisis estadístico de los datos.
4. por último, se evalúa su efectividad o el grado de ajuste del modelo y se estudia su sensibilidad mediante diversas situaciones.

Definición de variables.

Durante el desarrollo de la investigación, se tuvieron como base las siguientes variables

Altura de la hoja: La altura de la hoja siendo un factor importante para determinar cuál de los tratamientos fue el óptimo.

Peso final del FVH: El peso final del forraje verde determina el rendimiento de cada tratamiento, con el objetivo de establecer cuál de todos los tratamientos realizados genera un mayor peso de FVH.

Largo de Raíz: Hace referencia a la raíz, el cual es un factor relevante debido que este permite absorber nutrientes y oxigenación de una manera óptima en las plantas. En esta investigación se determinó el largo de la raíz para cada uno de los tratamientos.

Fertilizantes: Fertilización de fosfato Diamónico (DAP), fuente de fósforo y también complemento secundario de nitrógeno.

MF CRECER 500 su modo de acción es foliar y está compuesto por Nitrógeno, balanceado con Potasio (K), Fósforo (P), elementos secundarios calcio, magnesio, azufre y elementos menores como boro, cobre, cobalto, hierro, manganeso, molibdeno y zinc.

Solución nutritiva con un fertilizante de acción foliar TODO EN UNO enriquecido en Calcio, Magnesio, Azufre y todos los micronutrientes.

Solución nutritiva agregando todos los tratamientos que se usaron en los anteriores en una sola mezcla (DAP, MF CRECER 500, TODO EN UNO) logrando tener una fertilización completa de elementos primarios, secundarios y menores.

Técnicas e instrumentos de recopilación de datos.

Las técnicas en la recolección de los datos fue la observación directa, las mediciones físicas y el peso del forraje. Los parámetros evaluados están basados en poder definir el volumen y el crecimiento de las hojas y raíz, así como el rendimiento del forraje.

Parámetros evaluados.

De acuerdo con las variables objeto de estudio, Sotelo (2020), menciona los siguientes criterios de evaluación que fueron tenidos en cuenta para la aplicación de los tratamientos de FVH:

Peso del tapete (Kg): para determinar el peso del tapete hidropónico se usó una balanza digital como instrumento de medición ayudando a determinar el peso con mayor precisión.

Altura de planta (Cm): Se procedió a realizar una única medición de la altura alcanzada por las plantas al día 15 posterior a la siembra. Para la medición del largo de las plantas se utilizó una regla graduada.

Largo de Raíz (Cm): Se procedió a medir la altura alcanzada por la raíz a los 15 días después de la siembra. para cada muestra se empleó una regla graduada que sirvió para realizar la respectiva medición del largo de la raíz.

Rendimiento de biomasa: para realizar este proceso, en primer lugar, se registró el peso final de cada bandeja con cada uno de los tratamientos conteniendo él Forraje al final de la cosecha y cuando el forraje se encuentre en condiciones para ser ofrecido a los animales.

Duración del experimento

Este trabajo investigativo conto con diferentes etapas:

Planificación y Diseño del Proyecto (3 meses): En esta etapa, se planificó y se diseñó el proyecto. Esto incluye la selección de los tratamientos, la determinación de los objetivos del estudio, la obtención de los materiales y equipos necesarios, y la planificación del diseño experimental.

Preparación del Área y Montaje de los Sistemas Hidropónicos (4 semanas): en esta, etapa se preparó el lugar donde se llevó a cabo dicho proyecto montando los sistemas

hidropónicos necesarios para el cultivo de forraje verde incluyendo el montaje de la cámara térmica.

Adquisición y Preparación de Semillas (3 semanas): en este lapso se seleccionó la semilla más idónea para la realización del proyecto, esto incluye la compra de las semillas en un almacén certificado obteniendo semillas de calidad.

Siembra y Germinación 5 tratamientos (3 meses): El procedimiento para la producción de FVH se realizó en un tiempo promedio de 15 días, por cada uno de los tratamientos dejando unos intervalos de 3 días entre cada tratamiento donde se recopilo datos dejados por cada tratamiento.

Análisis de Datos (4 semanas): Después de completar la recopilación de datos, se analizaron para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Informe y Presentación de Resultados (2 meses): Una vez analizado los datos, se redactar un informe y así presentar los resultados en reuniones virtuales y presenciales.

Conclusión y Evaluación (5 semanas): Se evaluó los resultados y sacando conclusiones sobre la efectividad de los tratamientos.

En total, el proyecto completo duro 1 año con todo su proceso investigativo.

Costo sistema hidropónico

Tabla 7.

Sistema de Forraje y riego Automático para 5 Bandejas

Ítem	Descripción	Cant.	Ud.	Valor Unitario	Valor Total	IVA
1	Bandejas de Forraje Verde Hidropónico 60 x 80 x 2 cm	5	Und	$ 18.000	$ 90.000,00	19%
	Soporte de sistema de riego.					
2	Estantes metálicos de ensamble de 10 bandejas cada uno, (5 niveles 2 bandejas por nivel)	1	Glb			
2.1	Soporte lateral estante de riego FVH	2	Und	$ 59.400	$ 118.800,00	19%
2.2	Soporte porta bandejas estante de riego FVH	5	Und	$ 39.300	$ 196.500,00	19%
2.3	Suplemento para tubo de riego estante FVH	2	Und	$ 3.410	$ 6.820,00	19%
2.4	Camara termina	1	Und	$ 150.000,00	$ 150.000,00	19%
			Subtotal		$ 562.120,00	
			IVA		$ 106.802,80	
			Total		$ 668.922,80	

	FERTILIZANTE	VALOR	GRAMOS	Valor 1 GRAMO	CANT USADA POR 9 DIAS DE RIEGO	TOTAL
	CRECER	$ 13.000,00	900	$ 14,44	607.5 g	$ 8.775,00
	DAP	$ 230.000,00	50000	$ 4,60	270 g	$ 1242,00
	TODO EN UNO	$ 11.000,00	1000	$ 11,00	675 g	$ 7425,00

Fuente. Autor en base al manual técnico de FVH de Roa (2017)

La siguiente tabla presenta el detalle de los costos de inversión asociados con la producción de forraje verde hidropónico (FVH), desglosados en los 5 tratamientos. Cada fila incluye la inversión inicial de montaje, la cual puede variar según el tipo de construcción o

materiales utilizados. En este caso, se optó por estructuras metálicas como parte integral del sistema.

Tabla 8.

Comparación Costos de Cinco Tratamientos

	Tratamiento 1	**Tratamiento 2**	**Tratamiento 3**	**Tratamiento 4**	**Tratamiento 5**
Total, Costo Fertilizantes	$ -	$ 1.242	$ 8.775	$ 7.425	$ 17.442
Semilla 10kg	$ 110.000	$ 110.000	$ 110.000	$ 110.000	$ 110.000
Mano De Obra	$ 25.000	$ 25.000	$ 25.000	$ 25.000	$ 25.000
Total, Montaje	$ 5.574	$ 5.574	$ 5.574	$ 5.574	$ 5.574
Alquiler Terraza	$10.000	$ 10.000	$ 10.000	$ 10.000	$ 10.000
Producción De 2.5 M2	$ 150.574	$ 151.816	$ 159.349	$ 157.999	$ 168.016
Producción Kg	$ 12	$ 12	$ 13	$ 21	$ 22
Costo total Kg	$ 12.826	$ 12.495	$ 12.597	$ 7.549	$ 7.531

Fuente. Elaboración propia

El cuadro anterior proporciona una comparación entre varios tratamientos y su relación con los costos asociados a la inversión requerida para producir un kilogramo de FVH. Para realizar este análisis, se emplearon diversas fórmulas matemáticas para llegar al costo mínimo de producción de un kilogramo de FVH, teniendo en cuenta una depreciación de 5 años para el sistema metálico utilizado. Se utilizó la siguiente metodología para calcular los costos:

Para determinar el costo del fertilizante utilizado en 9 días, se dividió el valor del fertilizante por la presentación del producto, obteniendo así el valor por gramo. Luego, multiplicando la cantidad de gramos utilizados en 9 días por este valor, se obtuvo el precio total del fertilizante empleado.

Para calcular la depreciación del sistema hidropónico, se dividió el valor total del sistema entre 60 meses (5 años), obteniendo el valor en meses. Luego, dividiendo este valor por 2 (la producción que se puede realizar en un mes), se obtuvo el valor mensual de depreciación.

Al aplicar estas fórmulas, se pudo determinar el costo por cada kilogramo producido en cada tratamiento. Además, se reveló que a medida que aumenta el peso del FVH, el valor de producción tiende a disminuir. Este hallazgo destaca la importancia de optimizar los procesos de producción y controlar los costos asociados para maximizar la rentabilidad en la producción de FVH.

Pasos para la producción de forraje verde hidropónico

En la siguiente tabla se detallan los pasos a seguir recomendables para la producción de maíz bajo el método de hidroponía.

Principios de la hidroponía

Los cultivos hidropónicos requieren algunos principios para llevar a cabo su producción:

Cabina térmica.

Una cabina termina es un espacio de producción muy útil, facilitando los cultivos que se encuentren fuera de la temporada o en ambientes muy hostiles; ya que dentro de esta cámara se aumentan los rendimientos, se acortan los ciclos vegetativos de las plantas, se mejora la calidad de los cultivos ya que dentro de esta se crea un ambiente artificial que es controlado logrando producciones limpias y libres de malezas (Roa, 2017).

Las cámaras térmicas son estructuras que bien pueden ser construidas de manera sencilla con palos de madera previamente inmunizadas y así darle mayor vida útil o listones metálicos recubiertos de anticorrosivo; dicha estructura estará recubierta de polietileno transparente.

También encontramos cámaras térmicas que son completamente automatizadas que realizan todos los procesos sin ninguna intervención del hombre (Roa, 2017).

Se usó una cabina térmica con las con las siguientes dimensiones: altura: 210 mtrs, ancho: 160 mtrs apta para la producción del forraje verde hidropónico bajo condiciones de temperatura y humedad controlada; gracias a su cubierta en plástico transparente. Las bandejas de policarbonato con Medidas: 60 x 80 x 2 cm usadas para la siembra serán debidamente lavadas y desinfectadas con el fin de evitar la reproducción de cualquier patógeno que pueda afectar el material vegetal sembrado, estas estarán soportadas en una estructura metálica diseñadas especialmente para este tipo de actividad ya que cada nivel cuenta con un desnivel de 60° para facilitar la circulación del agua.

Estanque recolector.

Son recipientes de diferente material y tamaño que tiene como fin almacenar la solución nutritiva que se usa para el proceso o el periodo del cultivo, es importante que su material soporte la reacción de la misma solución nutritiva que almacenara. Se recomienda usar tanques de color negro ya que estos evitan la entrada de luz al interior evitando la propagación de algas (Roa, 2017).

Bomba.

La bomba tiene la misión de impulsar el agua que se encuentra en el tanque a todas las líneas de conducción que tenga el sistema instalado, su capacidad depende de la dimensión del cultivo.

Agua.

Es el elemento más importante en todos los procesos funcionales de la planta, sin la presencia de este elemento no se podrá llevar a cabo las reacciones químicas de la digestión de

esta, en caso del FVH servirá de medio para llevar los nutrientes que la misma planta requiere para lograr el proceso fisiológico.

Solución nutritiva.

Es una mezcla de varios fertilizantes que al disolverse en el agua hace que los químicos que los forman se ionizen y puedan ser adsorbidos por las raíces de las plantas. (Fuentes, 2009)**.**

Material de siembra.

Se utilizará semilla de maíz (*Zea mays*). ICA V – 305 variedad amarillo-Neiva, con alta adaptabilidad entre 1000 a 1.800 msnm. La siembra se realizará de forma manual y directa.

Se escogió el uso de esta variedad por su adaptación a los climas de Colombia. Se pueden usar en Forraje, Materia Prima Concentrada y Consumo Animal (Agro Activo, 2023).

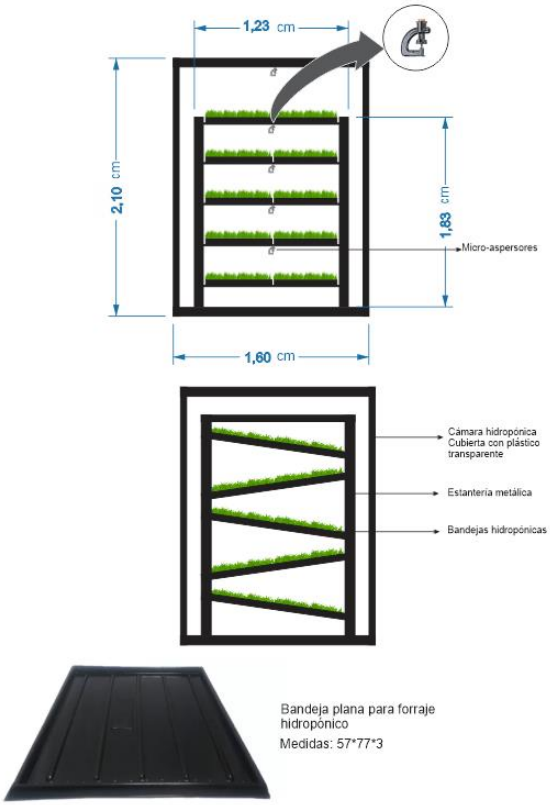
Producción de forraje verde hidropónico

Instalaciones.

El ensayo de cada uno de los tratamientos se realizó en un invernadero de 1.60 cm de ancho por 2.10 cm de largo, unos 3.36 mt^2 aproximadamente, se utilizó una cámara térmica con una temperatura que oscilaba entre 33.4°C y 36.2°C. Para cada tratamiento Se utilizaron bandejas en sistemas vertical, una de bajo de la otra, para un total de diez bandejas en los cinco tratamientos realizados. Es importante señalar que cada tratamiento se aplicaron diferentes dosis de fertilizantes.

Figura 1.

Montaje para la siembra de Forraje Verde Hidropónico de maíz



Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con Hydro-Enviroment (2023), un invernadero deberá presentar particularidades de acuerdo con el entorno, entré ellas, las siguientes:

El clima del lugar donde se va a producir FVH: Factor importante teniendo en cuenta los grados centígrados en los que se debe encontrar el lugar ya sea a temperaturas muy frías o calientes; regular el ambiente es necesario para un adecuado tratamiento del FVH.

El piso: El suelo donde se realizó las pruebas fue en concreto, debido que constantemente se requiere de realizar riegos y la alta humedad relativa es el más idóneo para prevenir inundaciones, propagación de hongos y enfermedades.

Estructura de Soporte: Existen diferentes tipos de estructuras donde usan materiales de PVC y madera, pero en este caso usamos una estructura metálica diseñadas especialmente para este tipo de actividad ya que cada nivel cuenta con un desnivel de 60° para facilitar la circulación del agua.

Modulación: Las charolas de forraje se sostuvieron a través de anaqueles 5 niveles, separados entre sí. La altura que se utilizó para cada nivel debe ser de 50 centímetros y el primer nivel distar del suelo aproximadamente 30 cm, cada nivel debe tener una pendiente aproximada de unos 60º para desaguar la solución sobrante de las bandejas.

Sistemas de riego: El sistema de riego utilizado fue por microaspersión, realizando 3 - 5 riegos diario por cada bandeja y tratamiento. Los sistemas de riego por microaspersión brindan buenos resultados, debido que, a diferencia de otros sistemas, el riego es uniforme, proporcional, y el tamaño de la gota no genera ningún tipo de daño a la semilla, por otro lado, ayuda a aumentar la humedad relativa del invernadero. Los micro aspersores son de aproximadamente 1 litro por minuto, en total son 5 (cinco) micro aspersores para un total de 5 litros por minuto, normalmente se hicieron riegos de aproximadamente 1 litro por minuto en total, es decir 5 litros de agua diarios.

Selección de semillas.

Los insumos o materiales que se utilizaron fueron semillas de gramíneas (maíz “ICA V – 305”) que luego de 12 días podrían ser cosechadas y suministradas a varios animales de granja (bovinos, ovinos, caprinos, equinos, porcinos, conejos y aves) como suplemento alimenticio (Zagal et al., 2016).

Metodología producción FVH.

Pre-siembra: Corresponde al proceso anterior a la siembra; en este sentido, la semilla tuvo que desinfectarse en agua clorada utilizando 2 cc l-1 de agua en un periodo de 15 minutos, luego de lo cual, se lavó 3 veces para remover todo tipo de residuos que pudiera contener cloro. Después de finalizar el lavado se dejó sumergida en agua por unas 12 horas aproximadamente para que se realizara el proceso de pre-germinación que se hace dentro de los baldes, después de las 12 horas se lavó de nuevo y se permitió airear la semilla alrededor de 60 minutos y luego se deja sumergir en agua en promedio unas 12 horas más (Castellón y Torres, 2018).

Primero Se realizó la siembra y germinación de las semillas durante los dos primeros días después de ser remojadas y se dispusieron en cada una de las bandejas de 77 cm de largo, 57 cm de ancho y 3 cm de altura, bajo penumbra utilizando 2 kg de semillas por cada bandeja. Después de 3 días luego de haber germinado la semilla se realizó el riego y aplicación de nutrientes, y, por último, en los últimos dos últimos días se realizó la limpieza de la cosecha, donde solo se rego con agua para desmineralizar la base radicular; en este momento el forraje alcanzo el promedio de altura entre 22 cm y 25 cm aproximadamente. Finalmente se cosecho y el forraje se dejó orear por unas dos a tres horas más. (RMR SAC, 2013).

Riego de las plántulas.

Desde el primer hasta el cuarto día el riego consistió en el suministro del agua, a partir del día quinto hasta el día trece se le aplicó la solución nutritiva de agua + nutriente (35 ml de nutriente x un litro de agua) una por día en horario entre las 6 am y 12 pm, 24 horas antes de la cosecha (día 14) se procede a retirar la solución nutritiva y se le aplica agua para el enjuague de residuos de la solución nutritiva. De acuerdo con (Castellón y Torres (2018) sugiere que la

cantidad de agua y/o solución debe ser 1.5 l por bandeja al día, siendo la misma cantidad utilizada.

Tabla 9.

Ciclo de riego FVH durante un periodo de 15 días.

Tipo de riego	**Germinación**								**Desarrollo**						**Cosecha**
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Agua	x	x	x	x										x	
Solución (agua +biol)					x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Fuente. Ciclo de riego FVH, Castellón y Torres, (2018).

Resultados

En el presente apartado se describirán los principales hallazgos de cada tratamiento efectuado al cultivo de forraje verde hidropónico de maíz, indicando principalmente el comportamiento de las variables: peso final de producción, altura de la hoja y largo de la raíz para cada una de las cinco bandejas analizadas con sus respectivos tratamientos.

Para el primer tratamiento denominado T1, se regó las semillas solo con agua sin ningún fertilizante, bajo una cámara térmica con una temperatura que oscilaba entre los 33.4°C a los 36.2°C sin ningún tipo de sombra.

Altura de hojas tratamiento

Tabla 10.

Altura de hojas tratamiento 1

	Altura de las hojas					
	Bandeja 1 tratamiento 1.1	**Bandeja 2 tratamiento 1.2**	**Bandeja 3 tratamiento 1.3**	**Bandeja 4 tratamiento 1.4**	**Bandeja 5 tratamiento 1.5**	**Promedio total**
Muestra 1	0	0	0	0	0	
Muestra 2	15,5	16	16,5	15	16	
Muestra 3	16	17	15	16	15	
Muestra 4	17	16	15	16	17	
Muestra 5	16	16	16,5	16	15,5	
Promedio	12,9	13	12,6	12,6	12,7	12,7

Fuente. Elaboración propia

Tabla 11.

Altura de hojas tratamiento 2

	Altura de hojas					
	Bandeja 1 tratamiento 2.1	**Bandeja 2 tratamiento 2.2**	**Bandeja 3 tratamiento 2.3**	**Bandeja 4 tratamiento 2.4**	**Bandeja 5 tratamiento 2.5**	**Promedio Total**
Muestra 1	15	16,2	17	16	16	
Muestra 2	17	16	15	16	17	
Muestra 3	16,5	17	16	17	16,5	
Muestra 4	16	17	16,5	17	17	
Muestra 5	16	16	17	16,5	17	
Promedio	16,1	16,4	16,3	16,5	16,7	16,4

Fuente. Elaboración propia

Tabla 12.

Altura de hojas tratamiento 3

	Altura de hojas					
	Bandeja tratamiento 3.1	**Bandeja tratamiento 3.2**	**Bandeja tratamiento 3.3**	**Bandeja tratamiento 3.4**	**Bandeja tratamiento 3.5**	**Promedio total**
Muestra 1	19	20	19	20,5	20	
Muestra 2	21	20	21	20,5	20	
Muestra 3	19	20,5	21	20,6	21	
Muestra 4	20	21	20,6	21	20	
Muestra 5	19,5	21	20	20,6	21	20,3
Promedio	19,7	20,5	20,3	20,6	20,4	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 13.

Altura de hojas tratamiento 4

	Altura de hojas					
	Bandeja 1 tratamiento 4.1	**Bandeja 2 tratamiento 4.2**	**Bandeja 3 tratamiento 4.3**	**Bandeja 4 tratamiento 4.4**	**Bandeja 5 tratamiento 4.5**	**Promedio total**
Muestra 1	20	22	21,5	20	19	
Muestra 2	22	21,5	20	22	21	
Muestra 3	20	21,5	20	22	19,5	

Altura de hojas						
	Bandeja 1 tratamiento 4.1	**Bandeja 2 tratamiento 4.2**	**Bandeja 3 tratamiento 4.3**	**Bandeja 4 tratamiento 4.4**	**Bandeja 5 tratamiento 4.5**	**Promedio total**
Muestra 4	22	19	21	20	20	
Muestra 5	21	22,5	21	22	22	20,9
Promedio	21	21,3	20,7	21,2	20,3	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14.

Altura de hojas tratamiento 5

Altura hojas						
	Bandeja 1 tratamiento 5.1	**Bandeja 1 tratamiento 5.2**	**Bandeja 1 tratamiento 5.3**	**Bandeja 1 tratamiento 5.4**	**Bandeja 1 tratamiento 5.5**	**Promedio total**
Muestra 1	24	26	22	23	21	
Muestra 2	21	23	25	24	23	
Muestra 3	26	25	24	23	24	
Muestra 4	26	25	24	24	26	
Muestra 5	25	24	22	24	26	24
Promedio	24,4	24,6	23,4	23,6	24	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 15.

Promedio altura de hojas de los diferentes tratamientos

Altura hojas				
Promedio total T1	Promedio total T2	Promedio total T3	Promedio total T4	Promedio total T5
12,76	16,408	20,312	20,9	24

Fuente. Elaboración propia

Análisis estadístico

Altura hojas cm

ANOVA de un solo factor: Resultado vs. Tratamiento

Tabla 16.

Método: altura hojas

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	α = 0,05

Fuente. Elaboración propia

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 17.

Información del factor: altura hojas

Factor	**Niveles**	**Valores**
Tratamiento	5	1; 2; 3; 4; 5

Fuente. Elaboración propia

Tabla 18.

Análisis de Varianza: altura hojas

Fuente	**GL**	**SC Ajust.**	**MC Ajust.**	**Valor F**	**Valor p**
Tratamiento	4	379,553	94,8882	741,73	0,000
Error	20	2,559	0,1279		
Total	24	382,111			

Fuente. Elaboración propia

Tabla 19.

Resumen del modelo: altura hojas

S	**R-cuadrado**	**R-cuadrado(ajustado)**	**R-cuadrado (pred)**
0,357670	99,33%	99,20%	98,95%

Fuente. Elaboración propia

Tabla 20.

Medias: altura hojas

Tratamiento	**N**	**Media**	**Desv.Est.**	**IC de 95%**
1	5	12,7600	0,1817	(12,4263; 13,0937)
2	5	16,408	0,224	(16,074; 16,742)

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
3	5	20,312	0,362	(19,978; 20,646)
4	5	20,900	0,406	(20,566; 21,234)
5	5	24,000	0,510	(23,666; 24,334)

Fuente. Elaboración propia

Desv.Est. agrupada = 0,357670

Tabla 21.

Comparaciones en parejas de Tukey: altura hojas

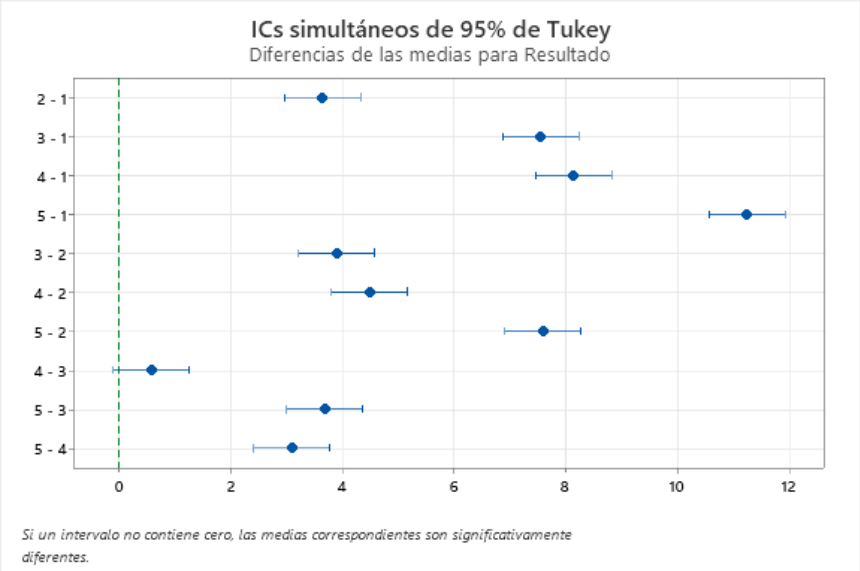
Tratamiento	N	Media	Agrupación		
5	5	24,000	A		
4	5	20,900		B	
3	5	20,312		B	
2	5	16,408			C
1	5	12,7600			D

Fuente. Elaboración propia

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 2.

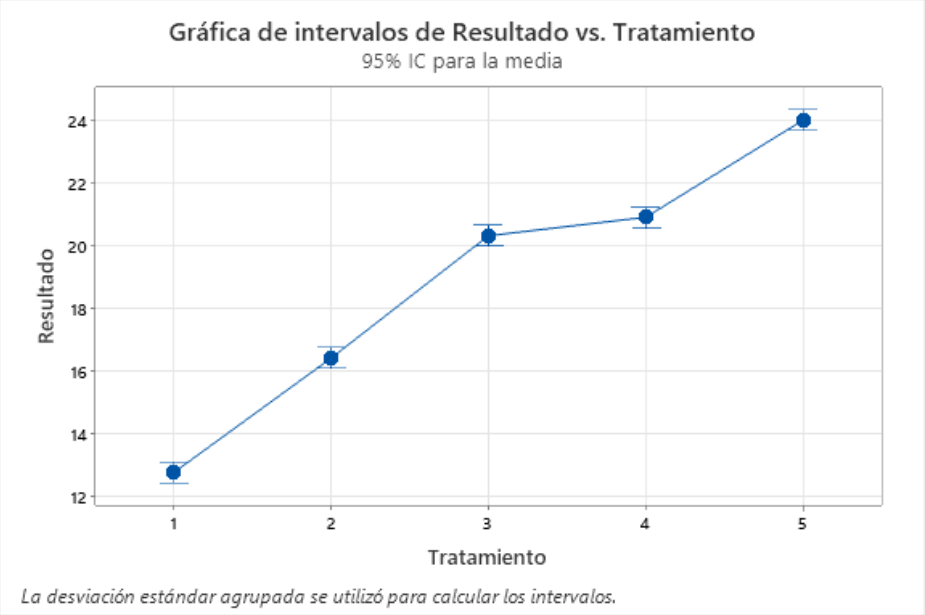
ICs simultáneos de 95% de Tukey: altura hojas



Fuente. Elaboración propia

Figura 3.

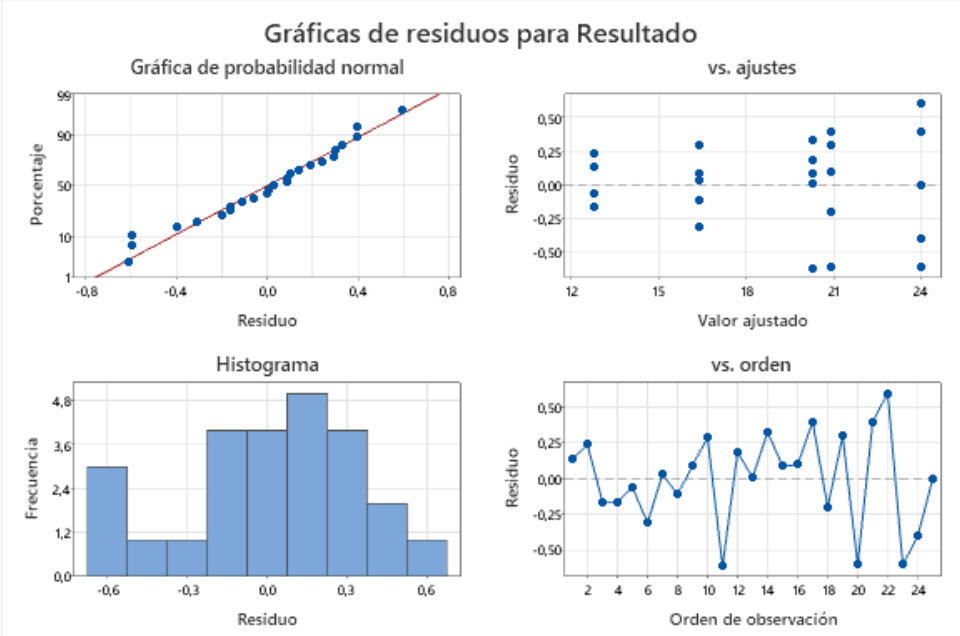
Graficas de residuos para resultado: altura hojas



Fuente. Elaboración propia

Figura 4.

Graficas de residuos para resultado: altura hojas



Fuente. Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, al analizar la altura de las hojas, se evidencia que el tratamiento 5, en el cual se utilizaron todos los fertilizantes empleados en los tratamientos anteriores, ha demostrado ser más efectivo.

Estos resultados indican que la aplicación de estos nutrientes influyó significativamente en el crecimiento de las plántulas. El promedio de altura general aumentó a 20,9 cm, con variaciones desde 19 cm como mínimo hasta 21,3 cm como máximo en la bandeja 2.

Como resultado de este proceso se logró ver que alcanzó una altura en las hojas promedio de 16,4 cm (tabla 13), de todas las bandejas analizadas hubo 3 con un crecimiento de sus hojas por encima del promedio, evidenciándose un crecimiento máximo de 16,7 cm y un menor crecimiento en algunas muestras con un crecimiento al finalizar los 15 días de 16 cm.

El aumento del forraje al doble de su peso inicial es un indicador positivo del crecimiento y desarrollo exitoso del cultivo o planta. El forraje ha logrado duplicar su peso desde el momento en que se sembró o comenzó su crecimiento hasta el momento de la cosecha. Esto sugiere un buen rendimiento y un desarrollo saludable del cultivo.

Peso en Kg tratamientos

Tabla 22.

Peso en Kg tratamiento 1

	Peso final FVH T1		
	Peso inicial	**Tratamiento 1**	**Unidad de medida**
Bandeja 1	2,0	2,3	Kg
Bandeja 2	2,0	2,3	Kg
Bandeja 3	2,0	2,3	Kg
Bandeja 4	2,0	2,4	Kg
Bandeja 5	2,0	2,3	Kg
Promedio		2,3	

Fuente. Elaboración propia (2023)

Tabla 23. *Peso en Kg tratamiento 2*

Peso Final FVH T2			
	Peso inicial	**Tratamiento 2**	**Unidad de medida**
Bandeja 1	2,0	2,4	Kg
Bandeja 2	2,0	2,4	Kg
Bandeja 3	2,0	2,4	Kg
Bandeja 4	2,0	2,4	Kg
Bandeja 5	2,0	2,4	Kg
Promedio		2,4	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 24.

Peso en Kg tratamiento 3

Peso final FVH T3			
	Peso inicial	**Tratamiento 3**	**Unidad de medida**
Bandeja 1	2,0	2,7	Kg
Bandeja 2	2,0	2,3	Kg
Bandeja 3	2,0	2,3	Kg
Bandeja 4	2,0	2,7	Kg
Bandeja 5	2,0	2,4	Kg
Promedio		2,5	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 25.

Peso en Kg tratamiento 4

Peso final FVH T4			
	Peso inicial	**Tratamiento 4**	**Unidad de medida**
Bandeja 1	2,0	4,2	kg
Bandeja 2	2,0	4,2	kg
Bandeja 3	2,0	3,7	kg
Bandeja 4	2,0	4,5	kg
Bandeja 5	2,0	4,2	kg

Peso final FVH T4			
	Peso inicial	**Tratamiento 4**	**Unidad de medida**
Promedio		4,1	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 26.

Peso en Kg tratamiento 5

Peso final FVH T5			
	Peso inicial	**Tratamiento 5**	**Unidad de medida**
Bandeja 1	2,0	4,2	kg
Bandeja 2	2,0	4,7	kg
Bandeja 3	2,0	4,2	kg
Bandeja 4	2,0	4,2	kg
Bandeja 5	2,0	4,8	kg
Promedio		4,4	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 27.

Peso total de cada tratamiento (5bandejas) en Kg de los diferentes tratamientos

Peso forraje kg de cada tratamiento (5 bandejas)	
Tratamiento 1	11,74
Tratamiento 2	12,15
Tratamiento 3	12,65
Tratamiento 4	20,93
Tratamiento 5	22,31
Promedio	15,96

Fuente. Elaboración propia

Peso kg

ANOVA de un solo factor: Resultado vs. Tratamiento

Tabla 28.

Método: peso

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Fuente. Elaboración propia

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 29.

Información del factor: peso

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	5	1; 2; 3; 4; 5

Fuente. Elaboración propia

Tabla 30.

Análisis de Varianza: peso

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	22,289	5,5723	28,04	0,000
Error	20	3,975	0,1987		
Total	24	26,264			

Fuente. Elaboración propia

Tabla 31.

Resumen del modelo: peso

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,445807	84,87%	81,84%	76,35%

Fuente. Elaboración propia

Tabla 32.

Medias: peso

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	5	2,3480	0,0444	(1,9321; 2,7639)
2	5	2,830	0,900	(2,414; 3,246)
3	5	2,5300	0,1875	(2,1141; 2,9459)
4	5	4,186	0,299	(3,770; 4,602)
5	5	4,698	0,239	(4,282; 5,114)

Fuente. Elaboración propia

Desv.Est. agrupada = 0,445807

Tabla 33.

Comparaciones en parejas de Tukey: peso

Tratamiento	N	Media	Agrupación
5	5	4,698	A
4	5	4,186	A
2	5	2,830	B
3	5	2,5300	B
1	5	2,3480	B

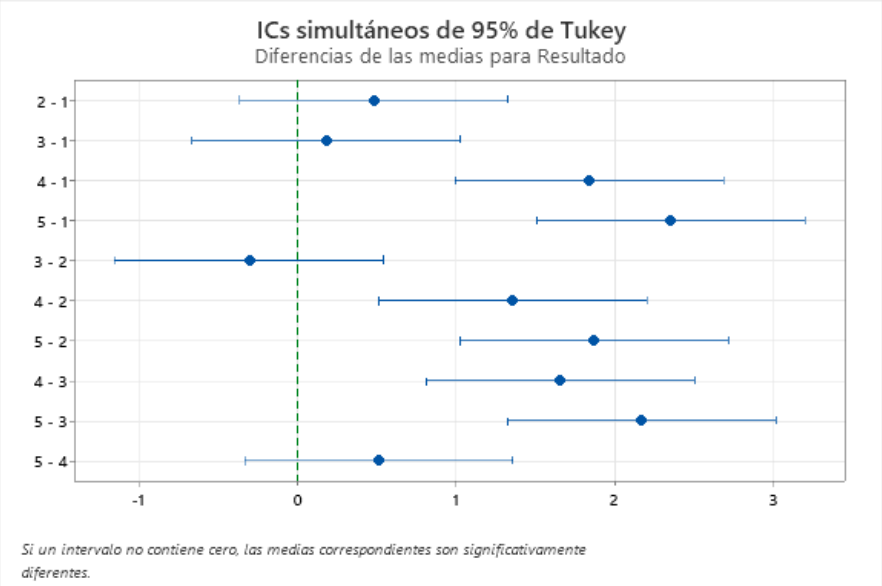
Fuente. Elaboración propia

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En cuanto al peso, los tratamientos 4 y 5 se destacaron como los más favorables, dividiéndose en dos grupos, A y B. Resaltando que el grupo B representó el rendimiento más bajo, indicando que, en comparación, los tratamientos 4 y 5 sobresalieron como opciones más eficientes en este aspecto.

Figura 5.

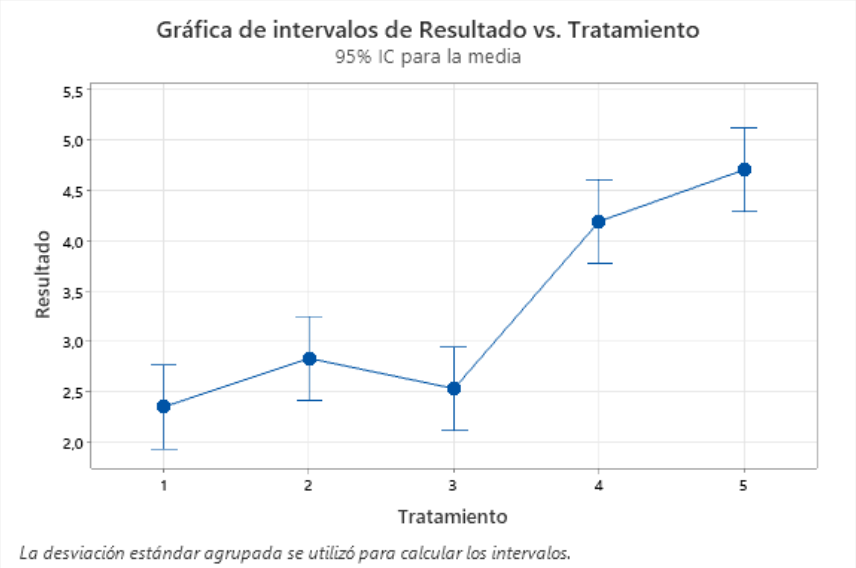
ICs simultáneos de 95% de Tukey: peso



Fuente. Elaboración propia

Figura 6.

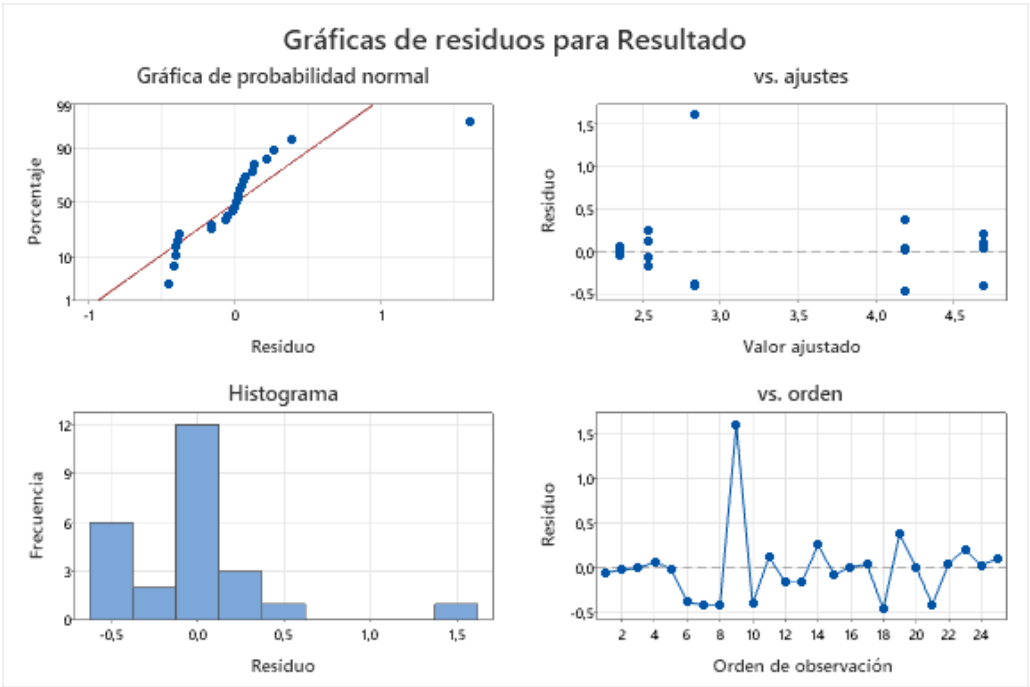
Grafica de intervalos de resultados vs Tratamiento: peso



Fuente. Elaboración propia

Figura 7.

Graficas de residuos para resultado: peso



Fuente. Elaboración propia

Al finalizar esta siembra se obtuvo un forraje más sólido con un peso promedio 2,5 kg por cada bandeja, siendo un rendimiento bajo respecto al peso inicial de 2kg de maíz “Zea Mays”, es decir que en 15 días ganó tan solo un 20% más de peso. De manera similar a lo observado en la altura de las hojas, se evidencia una diferencia destacada en el peso, indicando que los dos últimos tratamientos nombrados T4 Y T5 muestran una mejora progresiva en su peso a medida que se implementa un plan nutricional más efectivo.

La información proporcionada detalladamente con el proyecto de investigación que involucra un análisis comparativo entre cinco tratamientos diferentes en la siembra hidropónica de semillas de maíz, específicamente para el cultivo de forraje verde hidropónico. Se identificaron diferencias significativas entre el tratamiento número 1 y el tratamiento número 5 en relación al peso de las plantas, como se observará en una gráfica de intervalos de resultados.

En este contexto, se destaca que el tratamiento número 1 muestra un bajo rendimiento en peso, sin superar los 2,5 kilogramos, mientras que el tratamiento número 5, que incluye una solución nutritiva con elementos mayores y menores para el crecimiento de la planta, logra un peso que supera los 2,5 kilogramos. Esta diferencia de resultados sugiere que el tratamiento número 5 tiene un impacto más sustancial en el peso de las plantas, lo que puede ser atribuido a la solución nutritiva que proporciona elementos esenciales para el desarrollo de las plantas en comparación con el tratamiento número 1, que Recibió solo agua (H2O) sin aditivos o nutrientes.

El análisis revela que la solución nutritiva suministrada en el tratamiento número 5 tiene un efecto más positivo en el crecimiento y peso de las plantas de maíz, en comparación con el tratamiento número 1, lo que sugiere la importancia de los elementos nutricionales en el cultivo hidropónico. para lograr un mejor desarrollo de las plantas.

Este tipo de hallazgos resalta la importancia de la nutrición en la agricultura hidropónica y cómo los nutrientes proporcionados pueden tener un impacto significativo en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos.

Largo de raíz tratamientos

Tabla 34.

Largo de la raíz tratamiento 1

Largo de la Raíz FVH T1		
	Tratamiento 1	**Unidad de medida**
Bandeja 1	0,0	CM
Bandeja 2	4,0	CM
Bandeja 3	5,0	CM
Bandeja 4	5,0	CM
Bandeja 5	4,0	CM
Promedio	3,6	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 35.

Largo de la raíz tratamiento 2

Largo de la raíz FVH T2		
	Tratamiento 2	**Unidad de medida**
Bandeja 1	6,0	Cm
Bandeja 2	5,0	Cm
Bandeja 3	6,5	Cm
Bandeja 4	6,0	Cm
Bandeja 5	6,0	Cm
Promedio	5,9	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 36.

Largo de la raíz tratamiento 3

Largo de la raíz FVH T3		
	Tratamiento 3	**Unidad de medida**
Bandeja 1	6,5	cm
Bandeja 2	5,7	cm

Largo de la raíz FVH T3		
	Tratamiento 3	**Unidad de medida**
Bandeja 3	6,0	cm
Bandeja 4	6,3	cm
Bandeja 5	6,8	cm
Promedio	6,3	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 37.

Largo de la raíz tratamiento 4

Largo de la raíz FVH T4		
	Tratamiento 3	**Unidad de medida**
Bandeja 1	7,3	cm
Bandeja 2	6,9	cm
Bandeja 3	7,5	cm
Bandeja 4	8,1	cm
Bandeja 5	8,0	cm
Promedio	7,6	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 38.

Largo de la raíz tratamiento 5

Largo de la raíz FVH T5		
	Tratamiento 5	**Unidad de medida**
Bandeja 1	12,0	cm
Bandeja 2	15,0	cm
Bandeja 3	17,0	cm
Bandeja 4	13,0	cm
Bandeja 5	12,0	cm
Promedio	13,8	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 39.

Promedios de cada tratamiento

Largo de la raíz FVH				
Promedio T1	**Promedio T2**	**Promedio T3**	**Promedio T4**	**Promedio T5**
3,6	5,9	6,3	7,6	13,8

Fuente. Elaboración propia

Largo de raíz cm

ANOVA de un solo factor: Resultado vs. Tratamiento

Tabla 40.

Método: largo de raíz

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Fuente. Elaboración propia

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 41.

Información del factor: largo de raíz

Factor	**Niveles**	**Valores**
Tratamiento	5	1; 2; 3; 4; 5

Fuente. Elaboración propia

Tabla 42.

Análisis de Varianza: largo de raíz

Fuente	**GL**	**SC Ajust.**	**MC Ajust.**	**Valor F**	**Valor p**
Tratamiento	4	294,86	73,715	37,88	0,000
Error	20	38,92	1,946		
Total	24	333,79			

Fuente. Elaboración propia

Tabla 43.

Resumen del modelo: largo de raíz

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1,39506	88,34%	86,01%	81,78%

Fuente. Elaboración propia

Tabla 44.

Medias: largo de raíz

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	5	3,600	2,074	(2,299; 4,901)
2	5	5,900	0,548	(4,599; 7,201)
3	5	6,260	0,428	(4,959; 7,561)
4	5	7,560	0,498	(6,259; 8,861)
5	5	13,800	2,168	(12,499; 15,101)

Fuente. Elaboración propia

Desv.Est. agrupada = 1,39506

Tabla 45.

Comparaciones en parejas de Tukey: largo de raíz

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
5	5	13,800	A		
4	5	7,560		B	
3	5	6,260		B	
2	5	5,900		B	C
1	5	3,600			C

Fuente. Elaboración propia

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

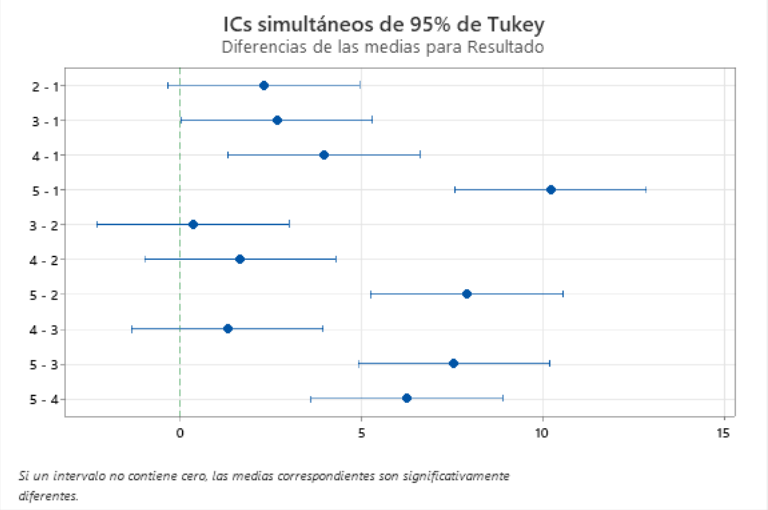
Entendido. Aquí tienes una redacción mejorada:

En las comparaciones realizadas mediante el método de Tukey, se observó una clara diferenciación entre los tratamientos, agrupándolos automáticamente en tres categorías distintas. En este análisis, el tratamiento 5 se destacó al ubicarse en el grupo A, siendo el de mayor

rendimiento. Este resultado evidencia que el tratamiento 5 superó significativamente a los tratamientos anteriores, consolidándose como la opción más efectiva en el contexto de nuestro estudio.

Figura 8.

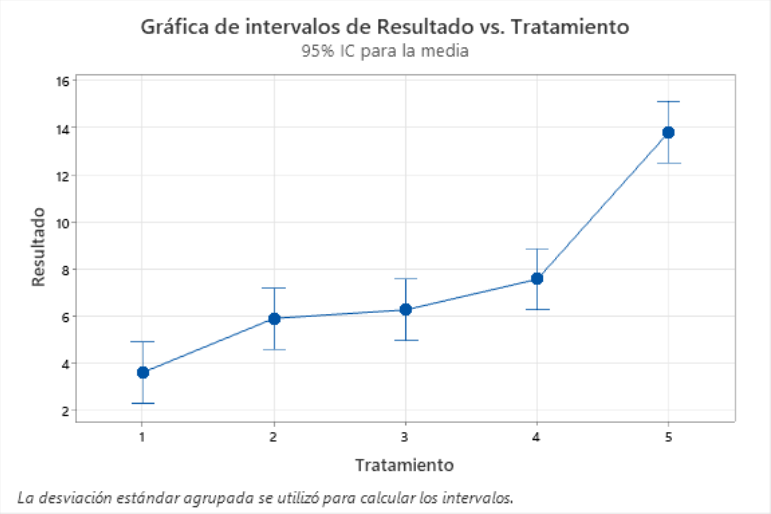
ICs simultáneos de 95% de Tukey: largo de raíz



Fuente. Elaboración propia

Figura 9.

Graficas de residuos para resultado: largo de raíz



Fuente. Elaboración propia

Figura 10.

Graficas de residuos para resultado: largo de raíz

Fuente. Elaboración propia

En todos los tratamientos, particularmente en el T5, aquellos que recibieron una nutrición superior debido a la combinación de fertilizantes utilizados en tratamientos anteriores, se observa un significativo alargamiento de las raíces. Este fenómeno contribuye a la formación de un colchón de forraje más sólido en comparación con los tratamientos previos

Los resultados finales de esta etapa muestran que el forraje obtenido tiene un largo promedio de raíz de 13,8 cm y un peso promedio total de 4,4kg. Estos datos indican un desarrollo saludable de la planta, ya que la longitud de la raíz es adecuada para el suministro de nutrientes, y el peso total del forraje es significativo, lo que indica un buen rendimiento en términos de producción de forraje de calidad.

La planta resultante mostró un forraje con una altura promedio de 24 cm. Además, la longitud promedio de la raíz fue de 13,8 cm, lo cual se considera una longitud buena. La raíz es

fundamental, ya que es el medio a través del cual la planta absorbe los nutrientes adicionados y se oxigena, lo que contribuye a la producción de un forraje fresco y de calidad.

Análisis método estadístico ANOVA

Se realiza un análisis de varianzas mediante el método estadístico ANOVA, en el cual se evidencian los promedios de todos los tratamientos y las diferencias significativas bajo un nivel de confianza del 95%.

En la figura 6 podemos ver el crecimiento de la raíz en relación con cada tratamiento en el sistema hidropónico, ofrecen una representación visual del impacto de la adición progresiva de elementos nutritivos en el crecimiento radicular. Al observar cómo evoluciona la masa radicular con cada tratamiento, con el tratamiento número 5 como el que muestra el mayor crecimiento, se pueden extraer conclusiones valiosas:

Progresión de tratamientos: La representación gráfica de la masa radicular en función de cada tratamiento brinda una comprensión clara de cómo la adición secuencial de elementos nutritivos influyó en el crecimiento radicular. Esto permite una evaluación visual de la evolución del crecimiento en relación con cada tratamiento.

Impacto del tratamiento 5: Al ver que el tratamiento número 5 muestra el mayor desarrollo de la masa radicular, se confirma visualmente la eficacia particular de este tratamiento en comparación con los anteriores. Esto sugiere que la combinación específica de elementos nutritivos en el tratamiento 5 fue la más beneficiosa para el crecimiento radicular.

Comparación entre tratamientos: La representación gráfica permite comparar y contrastar el impacto de cada tratamiento en el crecimiento radicular, lo que facilita la identificación visual de las diferencias y similitudes en el desarrollo de las raíces en respuesta a diferentes combinaciones de elementos nutritivos.

Validación de resultados: Las gráficas proporcionan una validación visual de los resultados obtenidos, respaldando la conclusión de que el tratamiento 5 fue el más efectivo en términos de promover el crecimiento de la masa radicular.

El reconocimiento de la importancia de la nutrición en el desarrollo de tejidos vegetales es crucial, y los resultados de este proyecto investigativo indican que la cantidad y tipo de nutrientes aplicados tienen un impacto significativo en el crecimiento de las plantas, como se refleja en la altura de las hojas. Al utilizar diferentes fertilizantes, incluyendo fosfato diamónico (DAP), elementos mayores, elementos menores, tratamientos completos con una combinación de los anteriores y un tratamiento con solo agua, se pueden tener conclusiones valiosas:

Relación entre nutrición y crecimiento: Los resultados reflejan una relación directa entre la cantidad y la composición de los nutrientes aplicados en la solución nutritiva y el crecimiento de las plantas. A medida que se incrementa la cantidad de nutrientes, se observa un impacto en la altura de las hojas.

Efecto de diferentes nutrientes: La variación en la composición de los nutrientes aplicados permite identificar cuáles tienen un impacto más significativo en el crecimiento de las plantas. Es posible determinar qué combinación específica de nutrientes o cuáles elementos individuales contribuyen más al desarrollo foliar.

Importancia de la solución nutritiva: La presencia o ausencia de nutrientes en la solución nutritiva, como se ve en el tratamiento con solo agua, confirma la influencia directa de la nutrición en el crecimiento de las plantas, demostrando que los nutrientes son indispensables para un desarrollo. adecuado.

Aplicaciones prácticas: Estos hallazgos pueden tener aplicaciones significativas en la agricultura, al proporcionar pautas sobre la formulación de soluciones nutritivas óptimas para promover un crecimiento saludable de las plantas en entornos de cultivo.

En resumen, la observación del impacto en la altura de las hojas en relación con la cantidad y tipo de nutrientes aplicados en la solución nutritiva respalda la importancia fundamental de la nutrición en el desarrollo de tejidos vegetales. Esto no solo brinda un entendimiento más profundo de la nutrición de las plantas, sino que también puede ser crucial para optimizar la producción agrícola y mejorar los métodos de cultivo.

Tabla 46.

Pasos para la Producción de FVH

Pasos para la producción de forraje verde hidropónico		
	1. Selección de semilla	Lo más recomendable es usar semillas que se adapten a las condiciones de la locación donde se va a realizar el proceso, con altas probabilidades de germinación y rendimiento. la semilla debe poseer un grado de madurez adecuado, en buen estado, libres de piedra, paja, tierra, semillas quebradas y sin plagas. Se sugiere realizar una prueba de germinación para y así determinar el potencial máximo de crecimiento. Para este caso se eligió usar

Pasos para la producción de forraje verde hidropónico		
		"ICA V – 305" Variedad Amarilla, con alta adaptabilidad entre 1000 a 1.800 msnm,
	2. Lavado y desinfección de las semillas	en este paso se dejan en remojo las semillas con una disolución de hipoclorito de sodio al 1% (10 ml.) por cada litro de agua. Con esta disolución lo que se logra es eliminar los hongos y bacterias dejando limpias las semillas. es muy necesario realizar por lo menos tres lavados para retirar el hipoclorito de la semilla. Hipoclorito de sodio (cloro domestico) en el comercio normalmente se encuentra en disoluciones que van desde el 4 al 8% lo que tendría que disolverse aún más. Si la sustancia se encuentra diluida al 4%, se deberá dejar en 1%; lo cual se hace diluyendo 10 mililitros de hipoclorito de sodio por cada litro de agua. Si esta diluida al 8% se empleara 1 ml de cloro por cada 2 litros de agua. (Roa, A. R. (n.d.). manual técnico forraje verde hidropónico)

Pasos para la producción de forraje verde hidropónico

	3. Remojo y Pre – germinación de semilla	En esta etapa del proceso la semilla que logra superar las anteriores etapas de lavado y desinfección pasa a ser sumergida en agua para que se hidrate y así mismo romper totalmente la capsula haciéndola salir del estado de latencia en la que ya se encuentra. Para ello se sumerge completamente la semilla en agua limpia cubriéndolas en su totalidad dejando el nivel de agua hasta 10 cm por encima; esto con el fin de evitar que se seque el tanque debido a la cantidad de agua que necesita la semilla para hidratarse. (Roa, A. R. (n.d.). manual técnico forraje verde hidropónico). Esta etapa de remojo tiene una duración de 24 horas no debe ser superior ya que el agua tendrá una fermentación gracias a la actividad enzimática de la semilla. Este tiempo se deberá dividir en tres periodos de 8 horas cada uno; se escurren y se orean por un tiempo de una hora dejándolas nuevamente con agua. Hacer este

Pasos para la producción de forraje verde hidropónico		
		procedimiento hará que la semilla se oxigene logrando aumentar la intensidad respiratoria y acelerar el proceso de crecimiento.
	4. Siembra	Es en esta etapa donde se extiende la semilla uniformemente sobre bandejas; formando una delgada capa de semilla ya pre – germinadas sin superar los 1,5 cm de espesor, la cantidad a sembrar será de 2 Kg por bandeja.
	5. El riego	Se realiza un riego que hidrate las semillas a lo largo del día entre 4 a 6 veces haciendo varias aplicaciones que no deben superar los 3 minutos. (Roa, A. R. (n.d.). manual técnico forraje verde hidropónico). Es este caso y para este proceso de investigación el riego se hace por micro aspersores (ver ficha técnica) que están distribuidos 1 por cada nivel de la estructura metálica que sirve como soporte para las bandejas y guía para la manguera que lleva el agua hasta los micro

Pasos para la producción de forraje verde hidropónico	
	aspersores, la solución nutritiva es aplicada por medio de atomizadores manuales que se hacen después de dar riego con agua y mantener la semilla hidratada.

Nota. Se detallan los pasos a seguir recomendables para la producción de maíz bajo el método de hidroponía. *Fuente:* Roa (2017) y autores

Conclusiones

El rendimiento más alto en cuanto a la producción de FVH de maíz (*zea maíz*) se logró con el tratamiento 5, el cual comprendía una combinación de fertilizantes utilizados en tratamientos anteriores, que incluían DAP, MF CRECER 500 y TODO EN UNO. Bajo este tratamiento, se logró un promedio de altura de hojas de 24 cm, una longitud de raíz promedio de 13.8 cm y un peso final promedio de la cosecha de 22.31 kg, todo esto medido en la cosecha realizada el día 15.

Estos resultados indican que la combinación específica de estos fertilizantes o nutrientes utilizados en el tratamiento 5 fue especialmente efectiva para el crecimiento y desarrollo del maíz, proporcionando un aumento significativo en la altura de las hojas, longitud de raíz y peso final del producto cosechado en comparación. con los otros tratamientos evaluados. Esto indica que esta combinación en particular puede ser clave para maximizar el rendimiento del cultivo de maíz en las condiciones de ese experimento o estudio agrícola específico.

Según la información proporcionada por Zagal (2016), en un sistema de hidroponía es fundamental mantener un equilibrio adecuado entre el suministro de agua y nutrientes para garantizar un crecimiento saludable de las plantas. El riego regular, cada 24 horas, es parte de este sistema para maximizar el potencial de crecimiento. Se menciona que, a partir de 1 kg de semillas, se podría lograr una biomasa vegetal de aproximadamente 9 kg en promedio.

Sin embargo, la investigación presentó un rendimiento aproximado de 22.31 kg de forraje en el tratamiento que alcanzó el 5to tratamiento en el peso final. La diferencia entre la biomasa prevista y los resultados obtenidos podría estar relacionada con múltiples factores. Una de las hipótesis mencionadas es que las causas de este rendimiento más bajo podrían estar asociadas con los fertilizantes utilizados en el estudio.

Se concluye que este tipo de sistema de producción puede hacerse de una manera artesanal en un invernadero donde se controle la humedad y temperatura en los rangos de 32ºC y 34ºC, en un ciclo de tiempo entre 12 y 15 días en promedio, haciendo riegos cada 24 horas con la solución estimada por el productor, generando una posibilidad de producción fácil para las fincas con animales que les generara un suplemento alimenticio con buenos niveles nutricionales y gran capacidad de digestibilidad en los mismos.

Una de las soluciones en los desafíos de la producción de forraje en regiones áridas, proporcionando a animales de trabajo o de engorde (vacas, caballos, cerdos, ovejas, conejos, cobayas, gallinas, etc.), es una buena fuente de alimento sostenible y de alta calidad. Evaluar su eficacia contribuirá en gran medida a mejorar la seguridad alimentaria y la productividad en estas regiones, al tiempo que reducirá la presión sobre los limitados recursos hídricos.

Los resultados obtenidos en cuanto a la altura de las hojas y el peso de las plantas subrayan la influencia directa de la calidad del plan nutricional en el desarrollo de las plántulas. La evidente mejora progresiva en el peso observada en los tratamientos T4 y T5 destaca la importancia crucial de implementar un plan nutricional efectivo para garantizar un crecimiento óptimo. Estos hallazgos subrayan que la baja calidad o la ausencia de ciertos nutrientes como lo observamos en los tratamientos 1, 2 y 3 impactan negativamente en el desarrollo de las plántulas, reafirmando así la necesidad de una atención detallada a la nutrición para maximizar el rendimiento.

La producción de 2.5 m2 de forraje verde hidropónico implica un costo total aproximado de $ 168.016 pesos colombianos basándonos en el tratamiento 5 el cual fue más productivo. Este costo incluye diversos aspectos, siendo uno de ellos la mano de obra que es una persona encargada de realizar las mezclas nutritivas y los riegos diarios necesarios. Es relevante destacar

que esta cifra también abarca los gastos asociados con la inversión inicial en el proyecto, como el montaje de la infraestructura, la adquisición de una cámara térmica y el alistamiento del terreno destinado a la producción.

Producir 1 kg de forraje verde hidropónico tiene un costo de $7,531 pesos colombianos (basándonos en el tratamiento 5 que fue el más eficiente), incluyendo fertilizantes, mano de obra y semilla. Este enfoque en la eficiencia y la reducción de costos a medida que avanza la producción resalta la viabilidad a largo plazo de este proyecto de forraje verde hidropónico, ofreciendo un retorno de inversión favorable una vez que se superan las etapas iniciales de implementación y preparación.

Según las estadísticas recopiladas en este proyecto aplicado, se han identificado diferencias significativas que aportan información valiosa. Los resultados analíticos presentados en las tablas revelan la existencia de hasta tres grupos referenciales, indicando variaciones notables a medida que se incrementa el valor nutritivo en cada tratamiento.

Es crucial resaltar que el tratamiento 1, que carecía de una solución nutritiva, demostró consistentemente tener el rendimiento más bajo. A medida que avanzamos a través de los tratamientos numerados, se observa una mejora progresiva en las características evaluadas, como el largo de la hoja, el largo de la raíz y el peso total del tapete forrajero.

Es especialmente destacable que, al llegar al tratamiento 5, se evidencian las mejores características en comparación con los demás. Este hallazgo apunta una correlación positiva entre el incremento del valor nutritivo

Recomendaciones

Se recomienda ampliar la investigación a un caso específico, es decir una finca con animales donde se pueda estimar el valor nutricional del FVH no solo del maíz producido, sino de más tipos de semilla como suplemento alimenticio para diferentes tipos de animales como ganado de engorde, ganado lechero, caprinos, ovinos, equinos, cerdos, etc.

La desinfección de las semillas es importante para prevenir patógenos y microorganismos que pueden causar enfermedades en las plantas. Sin embargo, se debe lograr un equilibrio entre una desinfección eficaz y el tiempo necesario para mantener la integridad de las semillas. Esterilizar la planta durante demasiado tiempo puede dañar la cubierta protectora de las semillas, interferir con la germinación y debilitar la planta desde el comienzo de su ciclo de vida.

El estrés por déficit hídrico ocurre cuando las plantas no reciben suficiente agua para satisfacer sus necesidades. La exposición prolongada al sol sin sombra puede aumentar la evaporación del agua en el sustrato o el medio de cultivo, lo que puede llevar a una disminución de la disponibilidad de agua para las plantas. Esto puede causar deshidratación y daño a las plantas, lo que eventualmente puede llevar a su muerte. Sabiendo esto no es recomendable exponer las plantas al sol en un sistema de hidroponía y asegurarse de que reciban suficiente agua y nutrientes para un crecimiento saludable y evitando situaciones de estrés por déficit hídrico.

Finalmente, prestar especial atención al contenido de nutrientes y fertilizantes de su sistema hidropónico. El uso de nutrientes balanceados se considera una estrategia importante para aumentar el crecimiento y rendimiento de las plántulas en este sistema. Al garantizar un

suministro adecuado de los nutrientes necesarios, se puede mejorar la calidad del forraje y lograr resultados más consistentes en la producción hidropónica.

Referencias

Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El Maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales,* 30(2), 00. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000200016&lng=es&tlng=es.

Agro Activo. (2024). Maíz amarillo ICA V 305. https://agroactivocol.com/producto/material-vegetal/maiz-amarillo-ica-v-305/

Agudelo, L. G., y Aigneren, J. M. (2008). *Diseños de investigación experimental y no-experimental.*

Campuzano, J. M. (1964). Zonas áridas de Colombia. *Boletín de la sociedad geográfica de Colombia*, 22, 83-84.

Castellón, M. A., y Tórrez, L. F. (2018). *Inclusión de forraje verde hidropónico en la alimentación de ovinos en desarrollo y su efecto en el comportamiento productivo, Finca Santa Rosa, Managua, 2017* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). https://repositorio.una.edu.ni/3737/

Chavarría-Torrez, A., y Castillo-Castro, S. del S. (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*, *4*(8), 1032–1039. https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2021). Educación formal (EDUC). https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/educacion/poblacion-escolarizada/educacion-formal

Franco, G. P. (2016). Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico. Blogger. http://fvhaprende.blogspot.com/2016/04/ventajas-y-desventajas-del-fvh.html

Hidroenvironment. (2017). Que es el forraje verde hidropónico?. http://hydroenv.com.mx/catalogo/ index.php?main_page=page&id=125-127

Hydro-Environment. (2023). *¿Qué es el forraje verde hidropónico?*.www.hydroenv.com.mx.https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=125

Ibáñez J. J., y Manríquez, F. J. (2014, enero 4). Paisajes Desérticos, Áridos y Semiáridos (Fisiografía y Suelos). *Un Universo invisible bajo nuestros pies - Los suelos y la vida*. https://www.madrimasd/145025.org/blogs/universo/2014/01/04

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024). *http://www.ideam.gov.co/*. http://www.ideam.gov.co/

López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., y Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, *34*(2), 121–126. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000200009

Mejía, D. A., y Reyes, A. N. (2020). *Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero:* Revisión de Literatura. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/580adc07-0cef-4213-812a-66450d2a742a/content

Naandanjain, LTDA. (2018). *Microaspersores.* https://naandanjain.com/wp-content/uploads/2019/08/3_NDJ_micro_cat_span_041018.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2001). *Forraje Verde Hidropónico* [manual técnico]. https://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf

Ortiz, J. (2023). Resultados agua para Riego. Terrasil Lab. Ibagué -Tolima,Carrera 46 # 40B-50 Rio Negro - Antioquia.

Pierre, W. H. (1934). La acidez y basicidad equivalentes de los fertilizantes determinadas por un nuevo método propuesto. *Diario de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales*, 17 (1), 101-107.

Roa, A. (2017). *Manual técnico – Forraje Verde Hidropónico.* Printed in Colombia.

RMR SAC. (2013). *Cultivo de Forraje Verde Hidropónico y Uso en la Alimentación Animal.* www.rmr-peru.com.https://www.rmr-peru.com/forraje-verde-hidroponico.htm

Schubert, M. (1981). Cultivos hidropónicos. *Lima, PE, UTHEA*

Silva, L. O. (2013). *Tratamiento pre germinativo de las semillas de trigo (Triticum sativum), avena (Avena sativa) y cebada (Hordeum vulgare) en cultivos hidropónicos (Bachelor's thesis).*

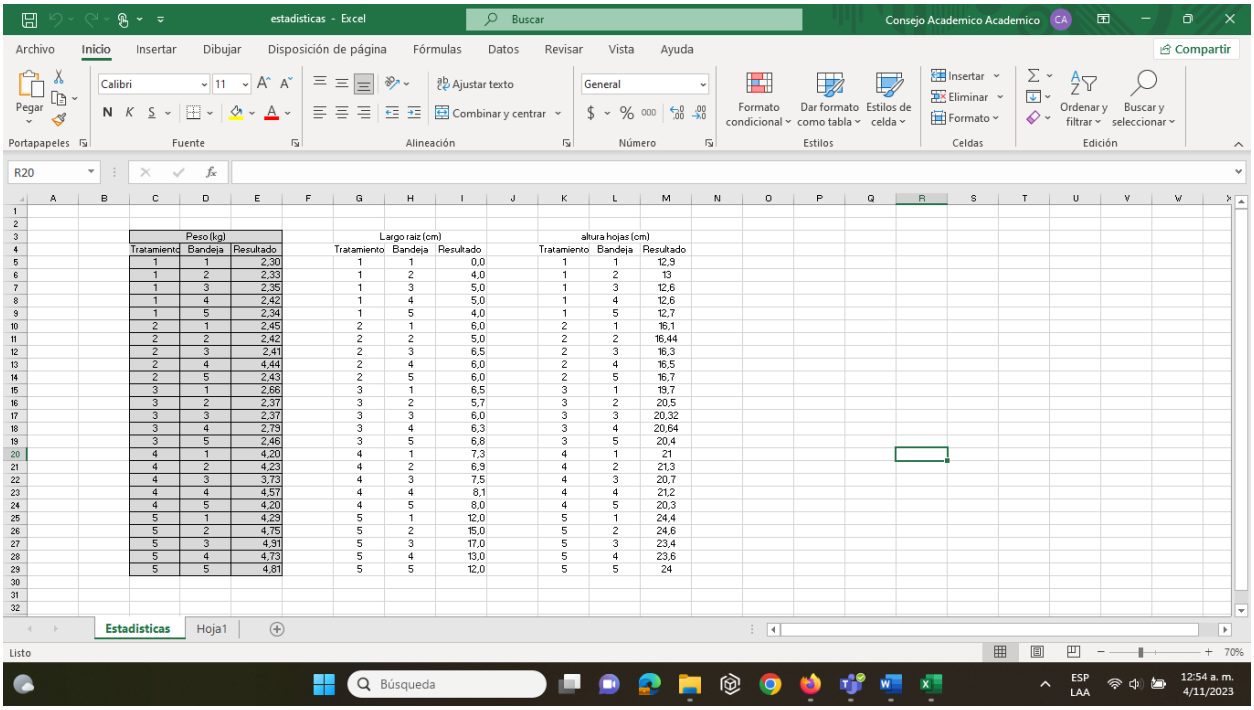
Sotelo, J. M. (2020). *Rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (hordeum vulgare l.) Cultivar variedad centenaria, aplicando tres volúmenes de riego por microaspersión, bajo condiciones de invernadero en Huaraz, año 2019.*

Wikifarmer. (2023). Sistemas de riego y necesidades hídricas del maíz. https://wikifarmer.com/es/sistemas-de-riego-y-necesidades-hidricas-del-maiz/

Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B., y Carrillo-Díaz, F. (2016). Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. *Abanico veterinario, 6*(1), 29-34. https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v6n1/2448-6132-av-6-01-00029.pdf

Apéndices

Apéndice A. Tabulación proceso FVH Maíz



Peso (kg)		
Tratamiento	Bandeja	Resultado
1	1	2,30
1	2	2,33
1	3	2,35
1	4	2,42
1	5	2,34
2	1	2,45
2	2	2,42
2	3	2,41
2	4	4,44
2	5	2,43
3	1	2,66
3	2	2,37
3	3	2,37
3	4	2,79
3	5	2,46
4	1	4,20
4	2	4,23
4	3	3,73
4	4	4,57
4	5	4,20
5	1	4,29
5	2	4,75
5	3	4,91
5	4	4,73
5	5	4,81

Largo raiz (cm)		
Tratamiento	Bandeja	Resultado
1	1	0,0
1	2	4,0
1	3	5,0
1	4	5,0
1	5	4,0
2	1	6,0
2	2	5,0
2	3	6,5
2	4	6,0
2	5	6,0
3	1	6,5
3	2	5,7
3	3	6,0
3	4	6,3
3	5	6,8
4	1	7,3
4	2	6,9
4	3	7,5
4	4	8,1
4	5	8,0
5	1	12,0
5	2	15,0
5	3	17,0
5	4	13,0
5	5	12,0

altura hojas (cm)		
Tratamiento	Bandeja	Resultado
1	1	12,9
1	2	13
1	3	12,6
1	4	12,6
1	5	12,7
2	1	16,1
2	2	16,44
2	3	16,3
2	4	16,5
2	5	16,7
3	1	19,7
3	2	20,5
3	3	20,32
3	4	20,64
3	5	20,4
4	1	21
4	2	21,3
4	3	20,7
4	4	21,2
4	5	20,3
5	1	24,4
5	2	24,6
5	3	23,4
5	4	23,6
5	5	24

Apéndice B. Evaluación agua para riego

Terrassil lab

RESULTADOS AGUAS PARA RIEGO

Código: 8874 **Nombre de campo:** -

Empresa	John Murillo Saldaña	Fecha in.	22/03/2023
Municipio	Ibagué-Tolima	Fecha fin.	4/04/2023
Cultivo	Tomate	Edad	-
Correo	joedmurillo09@gmail.com	Móvil	3203770557

pH	C.E. (dS/m)	mg/L (ppm)			
		Ca	Mg	K	Na
7.37	0.15	5.07	9.49	1.48	3.79

mg/L (ppm)					
B	P	S	NH_4	NO_3	Fe
0.15	<0.01	12.68	0.57	2.15	<0.05

meq/L		
Cloruros	CO_3	HCO_3
0.34	0.00	0.10

Metodos

Métodos. pH: potenciometría. C.E:potenciometría. Ca-Mg-Na-K: absorción atómica. P, B, S: Turbidimetría. Cl, CO3, HCO3: Titulación.
NOTA: Consulte con su asistente técnico.

José David Ortiz S

Jose David Ortiz
Ingeniero Químico
Director Laboratorio Terrassil Lab

Carrera 46 # 40B-50 Rionegro - Antioquia / Teléfono 317 366 3822 / laboratorio@terrassil.com