

MAESTRÍA EN AGROBIOTECNOLOGÍA

**PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO CON
MAÍZ (*Zea mays* L.) EN FUNCIÓN DE DOS FUENTES
NUTRIMENTALES.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN
AGROBIOTECNOLOGÍA
PRESENTA:**

Juan Manuel Olvera Santoyo

DIRECTOR DE TESIS:

M.A.P. Raúl Alvizar Manzo

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Juan Carlos Álvarez Hernández





LICENCIA DE USO DE OBRA

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Biol. Juan Manuel Olvera Santoyo, de nacionalidad Mexicana mayor de edad, con domicilio ubicado en Calle Ario de Rosales #384, Fraccionamiento Bugambilias, Apatzingán , Mich., C.P. 60676, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor de la tesis denominada **“PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO CON MAÍZ (*Zea mays* L.) EN FUNCIÓN DE DOS FUENTES NTRIMENTALES ”** en adelante **“LA OBRA”** quien para todos los fines del presente documento se denominará **“EL AUTOR Y/O EL TITULAR”**, a favor del Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes y del Tecnológico Nacional de México, la cual se regirá por las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: **“EL AUTOR Y/O TITULAR”**, mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de **“LA OBRA”**, para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de **“LA OBRA”** en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (red), mensaje de datos o similar conocido por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes; por lo tanto, **“ELAUTORY/O TITULAR”** conserva los derechos patrimoniales y morales de **“LA OBRA”**, objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que el **“AUTOR Y/O TITULAR”** es el único, primigenio y perpetuo titular de los derechos morales sobre **“LA OBRA”**; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.



SEXTA – AUTORÍA: “EL AUTOR Y/O TITULAR” manifiesta ser el único titular de los derechos de autor que derivan de **“LA OBRA”** y declara que el material objeto del presente fue realizado por él, sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el único responsable.

Dado en la Ciudad de Los Reyes de Salgado, Michoacán, a los 03 días del mes de julio de 2025.

“EL AUTOR Y/O TITULAR”

JUAN MANUEL OLVERA SANTOYO

“EL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LOS REYES”

DR. SEFERINO MAGALLAN CAMARENA
DIRECTOR GENERAL DEL ITSLR



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes

. OFICIO DE EMPASTE

La presente tesis, titulada: **Producción de Forraje Verde Hidropónico con Maíz (*Zea Mays* L.) En Función de dos Fuentes Nutrimentales**, realizada por alumno: Juan Manuel Olvera Santoyo, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN AGROBIOTECNOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR DE TESIS:

M.A.P. RAUL ALVÍZAR MANZO

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN CARLOS ÁLVAREZ HERNÁNDEZ

ASESOR 1:

DR. CRUZ ERNESTO AGUILAR RODRÍGUEZ

ASESOR 2:

DR. JAVIER PÉREZ INOCENCIO

Los Reyes Michoacán a 03 julio de 2025



**MAESTRÍA EN
AGROBIOTECNOLOGÍA**



Síntesis curricular

Juan Manuel Olvera Santoyo es originario de Apatzingán Michoacán, nació el 04 de septiembre de 1979. En septiembre del año 1997 ingresó a la facultad de Biología dependiente de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo en Morelia Michoacán y egresó con el Título de Biólogo en el año 2003. De agosto de 2003 a agosto de 2004 laboró en el ayuntamiento de Apatzingán como subdirector de ecología y desarrollo municipal, de esa fecha en adelante es docente por distintas preparatorias y universidades en la ciudad de Apatzingán, es fundador del primer módulo de hidroponía, productor de pepino, melón, chile jalapeño, chile serrano y Forraje Verde, todos estos cultivos en hidroponía, además Jamaica, Maíz variedad QPM y girasoles convencionales. Realizó la maestría en Agrobiotecnología en el Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes Michoacán, desde 2022 hasta el 2024. Durante el periodo que cursó sus estudios de posgrado fue ponente en los eventos de carteles en los años 2023 y 2024, así como en el 3er Congreso Nacional de Innovación Tecnológica. El estudiante egresa con un promedio de 95.8.

Agradecimientos

En primera instancia, agradezco al Posgrado en Agrobiotecnología del Instituto Tecnológico Superior de los Reyes, por permitirme cursar su programa de estudios, por los excelentes profesores investigadores con los que cuenta, los cuales compartieron toda su experiencia y conocimiento a lo largo de esta preparación profesional, así como también por brindarme todos los recursos y herramientas necesarias para llevar a cabo mi trabajo de investigación.

Agradezco M.A.P. Raúl Alvizar Manzo, quien, con sus aportes profesionales, constancia, paciencia y apoyo incondicional, formó parte fundamental de la investigación y formación académica.

Doy gracias al D.C. Juan Carlos Álvarez Hernández por su paciencia, conocimientos y sus aportes durante, así como en la conclusión del proyecto de investigación

Doy gracias a los miembros del apreciable comité tutor: el D.C. Cruz Ernesto Aguilar Rodríguez, quienes fueron de gran soporte para afinar este proyecto de investigación y al compartir sus conocimientos y experiencias.

A los Ingenieros José Alfredo Magaña Rodríguez y Luis Antonio Salas Orozco amigos entrañables que con su apoyo y conocimiento lograron aportar en mucho para este proyecto.

Agradezco a los jóvenes Leonardo, Isnardo, Monserrat, Jossy, Alemán, Gloria, Maritza, Gerardo, Abraham y Barrón, gracias por su tiempo y dedicación en la contribución al proyecto.

A mis compañeros de trabajo del ITSA, desde el directivo, secretarias y jefaturas que realizaron algunas gestiones para su servidor y por supuesto mis grandes amigos del departamento de servicios generales son siempre dispuestos de su tiempo para su servidor, al M.E. Víctor Manuel Manríquez Soria por compartir aportaciones, gracias amigos

Agradezco de manera general a todos los que contribuyeron con su conocimiento o simplemente con una palabra de aliento, a que este proyecto fuera posible, les agradezco

Dedicatorias

A Dios nuestro señor por regalarme el tiempo y poner en mi camino tan fantástica formación académica.

A mis padres María Luisa Santoyo Gallegos y Carlos Olvera Silva que con su ejemplo y dedicación hacia nosotros sus hijos, lograron impulsarme a lograr esta meta.

A mi esposa Alhelí Teresita Gallardo Pardo que siempre es mi compañera y con su respaldo permite lograr las metas familiares, gracias siempre amor.

A mis hijos Mariana Alhelí, Marina y Juan Francisco Olvera Gallardo que este logro sea como ejemplo para ustedes y siempre busquen su preparación académica profesional, los amo hijos.

A mis hermanos Carlos Alberto, Moisés y María Edith, gracias por compartir mi alegría por este título.

A todos mis sobrinos que puedan visualizarse en su preparación profesional y los logros así como el conocimiento al cursar un posgrado.

Contenido

Síntesis curricular	iii
Agradecimientos	iv
Dedicatorias	v
Contenido	vi
Índice De Tablas	viii
Índice De Figuras	ix
Resumen	x
Abstract	xi
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema	i
Justificación	iii
Hipótesis	4
Objetivos	4
I. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Forraje Verde Hidropónico	5
1.2. Importancia del forraje verde hidropónico	6
1.3 Descripción botánica del maíz	7
1.4. Clasificación taxonómica del maíz	9
1.5 Otras especies utilizadas en el forraje verde hidropónico	10
1.6. Técnicas y manejo empleadas en el forraje verde hidropónico.	10
1.6.1. Ciclos de establecimiento.....	10
1.6.2 Cosecha y postcosecha	11
1.6.3 Limitaciones bióticas y abióticas en el empleo de forraje verde hidropónico	12
1.6.4 Problemas fitosanitarios reportados.....	13
1.6.5 Soluciones nutritivas	14
1.6.6 Conductividad eléctrica (CE).....	15
1.6.7 pH	16
1.7 Etapas del desarrollo del FVH	17
1.8 Estudios previos	17
II. MATERIALES Y MÉTODOS	21

2.1. Localización del sitio de experimentación	21
2.2 Material vegetal a utilizar	22
2.4. Charolas recomendadas.....	24
2.5 Manejo o proceso sanitario de material de uso.....	25
2.5.1 Desinfección de charolas forrajeras	25
2.5.2 Lavado y desinfección del material biológico.....	26
2.6. Remojo del material biológico.....	27
2.7 Colocación del material biológico en las charolas	28
2.8 Riegos.....	29
2.8.1 Manejo de riegos.....	30
2.9 Solución nutritiva	31
2.10 Tratamientos a evaluar	33
2.11. Variables a evaluar	35
2.11.1 Altura de planta.....	35
2.11.2 Longitud de raíz	35
2.11.3 Sólidos solubles	36
2.11.4 Contenido de humedad.....	36
2.11.5 Ganancia en peso por tratamiento	37
2.11.6 Longitud proporcional de tamaño de raíz	38
2.11.7 Longitud proporcional de tamaño de tallo.....	39
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
3.1 Raíz y tallo.....	40
3.2 Contenido de humedad	42
3.3 Sólidos solubles	43
3.4 Ganancia en peso por tratamiento.....	44
3.5 Longitud proporcional de tamaño de raíz	45
3.6 Longitud proporcional de tamaño de tallo	46
3.7 Discusión.....	47
IV. CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

Índice De Tablas

Tabla 1. Riegos comparativos en las diferentes estaciones	31
Tabla 2. Contenido nutricional de las soluciones nutritivas.....	32
Tabla 3. Números y dosis de tratamientos	34
Tabla 4. Desarrollo de raíz y tallo en granos germinados de maíz sometidos a diferentes tratamientos con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.	41

Índice De Figuras

Figura 1. Estados fenológicos del Forraje Verde Hidropónico	9
Figura 2. Forraje en tiempo de cosechar.....	12
Figura 3. Problemas ocasionados por altas temperaturas y humedad.....	13
Figura 4. Presencia de hongos que producen micotoxinas	14
Figura 5. Localización del sitio (Magaña, 2023).....	21
Figura 6. Semilla utilizada en desarrollo de FVH	22
Figura 7. Largo de charola forrajera	24
Figura 8. Ancho de charola forrajera.....	24
Figura 9. Estantería de metal con 3 niveles.....	25
Figura 10. Lavado y desinfección de charolas forrajeras	26
Figura 11. Lavado y desinfección de material biológico	27
Figura 12. Colocación del maíz en sus charolas	28
Figura 13. Formas de riego para la investigación	29
Figura 14. Preparación de soluciones nutritivas por tratamiento	33
Figura 15. Distribución de los tratamientos.....	34
Figura 16. Toma de medidas de las variables.....	35
Figura 17. Peso de material biológico para determinación de contenido de humedad	36
Figura 18. Peso neto de forraje	37
Figura 19. Clasificación de tamaños y medida de raíz.....	38
Figura 20. Clasificación por tamaños de tallos, por tratamiento.....	39
Figura 21. Contenido de humedad en granos germinados de maíz sometidos a diferentes tratamientos con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.....	42
Figura 22. Sólidos solubles en granos germinados de maíz sometidos a diferentes tratamientos con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.....	43
Figura 23. Ganancia en peso de charolas con tratamientos sometidos a los bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.....	44
Figura 24. Intervalos proporcionales del tamaño de raíz, tratado con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.....	45
Figura 25. Longitud proporcional del tamaño de tallo, tratado con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.....	46

Resumen

Los pastos constituyen la base en la alimentación del ganado de engorda o lecheros, por tanto, surge la necesidad de proyectos sustentables y manejo técnico de las pasturas que contengan la máxima nutrición en menor tiempo como es la hidroponía. Los Forrajes Verdes Hidropónicos (FVH) son una técnica que permite desarrollar en alimento muy poco tiempo, usando muy poca superficie y con una gran eficacia en el uso del agua, permite obtener muy alto rendimiento por unidad de superficie de un excelente alimento para la nutrición de varias especies animales. Este trabajo experimental busco comparar las nutriciones para el correcto desarrollo de los FVH mediante una nutrición orgánica vs sintética para poder establecer la mayor producción de FVH de menor tiempo. Con las etapas, 1) Proceso de selección de semilla, 2) Proceso de desinfectado, 3) proceso de remojo, 4) proceso de aceleración de germinación, 5) pruebas de nutrición, 6) Control de riegos y consumo de agua, 7) Cosecha ideal, todo lo anterior mediante el diseño bloques al azar con 7 tratamientos por 3 repeticiones, siendo un total de 21 unidades experimentales con las variables, Altura de plantas, longitud de la raíz, sólidos solubles, contenido de humedad y ganancia en peso por tratamiento. Para los resultados en cuanto a longitud de tallo y raíz el TO1 fue el que se diferenció estadísticamente del resto, para el contenido de humedad el TS1 fue el mejor dando como diferencia de materia fresca y materia seca con un 78% para sólidos solubles, los tratamientos sintéticos cuyo valor fue de 6°Brix lo cual es interesante dado que nos indica la dulzura del forraje lo cual influye en el gusto por el consumo, en cuanto a la ganancia de peso por tratamiento se destaca una mayor ganancia en 1.5 kg en el TO3.

La producción de forraje verde hidropónico es una opción eficaz para suministrar la ingesta a los animales en periodo de escases de vegetación natural.

Palabras clave: Forraje, Hidroponía, Sistema hidropónico

Abstract

Production of hydroponic green fodder with corn (*Zea mayz* L.) based on two nutritional sources

Pastures constitute the basis in the feeding of fattening cattle or dairy, therefore, there is a need for sustainable projects and technical management of pastures that contain maximum nutrition in less time such as hydroponics. Green Hydroponic Fodder (FVH) is a technique that allows you to develop in food for a very short time, using very little surface and with great efficiency in the use of water, it allows to obtain very high yield per unit area of an excellent food for the nutrition of several animal species. This experimental work seeks to compare the nutritions for the correct development of the FVH through organic vs synthetic nutrition to be able to establish the highest production of FVH of shorter time With the stages, 1) Seed selection process, 2) Disinfection process, 3) soaking process, 4) germination acceleration process, 5) nutrition tests, 6) Irrigation control and water consumption, 7) Ideal harvest, all of the above through the randomly designed blocks with 7 treatments for 3 repetitions, being a total of 21 experimental units with the variables, Height of plants, length of the Root, soluble solids, moisture content and weight gain per treatment. For the results in terms of stem and root length, the TO1 was the one that statistically differentiated from the rest, for the moisture content the TS1 was the best giving as a difference between fresh matter and dry matter with 78% for soluble solids, the synthetic treatments whose value was 6°Brix which is interesting since it indicates the sweetness of the forage which influences the taste for consumption, as for the weight gain per treatment a greater gain in 1.5 kg in TO3 stands out.

The production of hydroponic green fodder is an effective option to provide intake to animals in periods of natural vegetation shortages.

Keywords: Forage, Hydroponics, Hydroponic system

INTRODUCCIÓN

Los pastos constituyen la base en la alimentación de los rumiantes, la producción de ganado bovino y caprino sea de engorde o leche es una de las actividades pecuarias que más se beneficia de este material vegetativo, el cual se traduce en la fuente principal de alimento que se dispone en el campo, al momento de proponer proyectos sustentables en producción pecuaria; ganado bovino, ovino, caprino, cuyes, entre otros, se debe incluir el manejo técnico de las pasturas que permita extraer todos los componentes del mismo (biomasa y composición nutrimental) (Núñez 2019, citado por Pozo, 2021).

En zonas con fenómenos climatológicos adversos, tales como sequías prolongadas, heladas constantes, nevadas, inundaciones, o localidades ubicadas en regiones montañosas con alto índice de marginación, se limita el acceso al forraje producido en forma convencional para alimentación de animales (Sánchez Del Castillo *et al.*, 2013)

En México, alrededor de 100 millones de hectáreas se ubican en zonas áridas o semiáridas y un 70 % del territorio nacional presenta suelos con pendientes pronunciadas que limitan la agricultura y ganadería convencional (Sánchez, 2010 citado por Sánchez Del Castillo, 2013). Quienes se dedican a la engorda de ganado o producción de sus derivados en estas regiones enfrentan serios problemas por los escasos de forraje fresco, ya sea por la falta de agua o las limitaciones de la productividad de un suelo accidentado, lo que ocasiona abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, problemas de fertilidad, o la muerte de los animales, especialmente a nivel de pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores (Sánchez Del Castillo *et al.*, 2013).

En respuesta a los altos costos de la alimentación de los animales domésticos, utilizados para la producción de carne y leche, se han evaluado nuevas técnicas de alimentación a bajo costo y con alto valor nutricional como lo es el uso de hidroponía; tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida del crecimiento inicial de las plantas mediante la germinación a partir de semillas viables (Rebollar, 2010).

Una alternativa tecnológica para hacer frente a estos problemas, y que ha dado buenos resultados en países desarrollados, incluso en vías de desarrollo, es el sistema de producción de forraje verde en hidroponía. En muy poco tiempo, usando muy poca superficie y con una gran eficacia en el uso del agua, permite obtener muy alto rendimiento por unidad de superficie de un excelente alimento para la nutrición de varias especies animales (Valdivia, 1997 citado por Sánchez Del Castillo *et al.*, 2013)

La técnica básica consiste en germinar semillas de cereales a altas densidades de siembra, con el propósito de obtener un forraje de 20 a 30 cm en un periodo de 8 a 12 días. El forraje se produce en charolas colocadas en estantes a distintos niveles a las que se les suministra una solución nutritiva diluida mediante algún tipo de riego. En casi todos los diseños comerciales, las unidades de producción son construcciones cerradas, donde se busca mantener temperatura estable, buena ventilación y humedad relativa entre 65 y 70 % (Resh, 2001 citado en Rebollar 2010)

Una de las semillas más utilizadas es el maíz forrajero (*Zea Mays* L.) por su elevado valor nutricional y un buen porcentaje de rendimiento, produciendo forraje a mitad de precio que el costo convencional que actualmente tienen los forrajes cultivados a campo abierto (Sánchez Del Castillo *et al.*, 2013).

Además, se encontró que el maíz es el material más succulento por sus niveles de fibra y proteína cruda. Las ventajas del FVH, son: evitando alteraciones digestivas, menor incidencia de enfermedades, aumento en la producción de leche o carne y en general todas las ventajas que los animales pueden obtener de una buena alimentación (Rebollar, 2010).

El objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de la nutrición orgánica contra nutrición sintética en la producción de Forraje verde hidropónico de maíz que tenga como base la nutrición al animal, aumento de masa en la ingesta y el bajo costo para la adquisición de los ganaderos

Planteamiento del problema

Debido a que la actividad ganadera es la principal actividad económica de la región del trópico michoacano, y que además actualmente enfrenta serios retos de competitividad en los mercados, sobre todo la sustentabilidad ambiental debido al modelo imperante de producción, caracterizado por alto grado de transformación de sus ecosistemas naturales, por tala inmoderada de la selva tropical y la selva baja caducifolia, convirtiendo un cambio gradual en el uso del suelo para el establecimiento desmedido de cítricos.

Dando lugar a una conversión de ganadería extensiva con bajo crecimiento en productividad, expresada en baja carga animal, bajos índices de producción por animal (litros de leche o kilogramos de carne) por hectárea, y reducida contribución a la capitalización y generación de empleo rural.

La degradación ambiental ha provocado pobreza en casi 2 millones de hectáreas del trópico michoacano, pérdida de la productividad, degradación, desertificación de suelos y pérdida de la capacidad de regulación hídrica, teniendo hoy un entorno complejo de pobreza y migración que ha sido “caldo de cultivo” para el desarrollo de cultivos ilícitos y violencia, degradando el capital social con su patrimonio cultural en las tres regiones tropicales del estado: Valle de Apatzingán Tierra Caliente y Costa.

A pesar de ello la ganadería no es solo una actividad productiva, sino es eminentemente un sistema de economía familiar con más de 300 años de evolución y base sociocultural de una amplia población campesina michoacana de la cual dependen más de 60 mil productores y más de 100 mil familias, que mantiene un índice alfabético bajo que revela el gran problema de rezago educativo en la región que limita la transferencia de tecnología bajo métodos convencionales de asistencia técnica y capacitación. Hablando del impacto social tenemos que esta es una región con un potencial productivo sin desarrollar ya que carece de infraestructura básica rural que permita el crecimiento económico sustentable y el desarrollo

humano de sus habitantes.

Los forrajes verdes hidropónicos han demostrado ser benéficos para sitios en los cuales las condiciones meteorológicas no son favorables la mayor parte del año y el cual resuelve una gran problemática del sector ganadero regional al proveer de alimento fresco y que aporta fibra, proteína y agua a los animales, además de colaborar disminuyendo los cambios de uso de suelo acompañados de deforestación y la pérdida del entorno ecológico.

Justificación

La producción de forraje verde hidropónico es una buena alternativa ya que por medio de este podemos realizar nuestra producción de alimentos para animales sin necesidad de sustrato, esto nos ayudará a producir cultivos en tierras no fértiles.

Esta técnica nos permite dotar de alimento al ganado durante los tiempos de estiaje, en la región esta temporada la tenemos durante 8 meses (nov-jun) lo cual para los ganaderos representa inversiones en alimento y agua estratosféricos, además de algunas pérdidas de individuos en sus potreros.

Aunado a lo anterior, el alimento de calidad y de una bromatología constante resulta ser una problemática también, dado que los animales al cambiar de alimento pueden enfermar y tienen una ventana de adaptación de hasta 15 días para obtener la digestibilidad de cualquier nuevo alimento que ingieran (Anaya.2010)

El forraje verde hidropónico bajo invernadero (malla sombra) para suministro de proteína para ganado y especies menores, según la FAO en 2001 tiene la ventaja de que su desarrollo se realiza en muy poco tiempo (14 a 18 días) y sus gastos son menores al de un cultivo que se produce en suelo agrícola, Otras de las ventajas que tiene esta técnica es que aporta mayores beneficios, lo cual beneficia a aquellos animales que la consumen, lo que se pretende con este proyecto es beneficiar a los ganaderos regionales e incentivarlos a realizar esta producción ya que no es conocido, ni mucho menos explotado y sus ventajas son en gran medida económicas en generación de empleos, calidad en nutrición y reducción del impacto ambiental.

El hecho de comparar rendimientos en la nutrición sintética vs la biológica (orgánica) nos permitirá dar a conocer y elegir una mejor opción de producir y de hacer llegar el alimento a los animales sin posible riesgo de intoxicación y con igual condiciones de nutrición.

Los resultados de esta investigación permitirán dotar de información valiosa para el sector ganadero local mediante manuales prácticos y asistencia técnica in-situ.

Hipótesis

La producción de forraje verde hidropónico de forma sostenible y sustentable, contiene y aporta elementos suficientes para el abastecimiento de la alimentación de ganado, por lo que puede ser una alternativa al uso de pastizales silvestres.

Objetivos

Objetivo General.

- Generar biomasa vegetal de forma sostenible, sana y precoz con alto valor nutritivo para la alimentación animal.

Objetivos Específicos.

- Evaluar dos técnicas de nutrición para producción de forraje verde hidropónico en maíz (*Zea mays* L.), sintético y biológico
- Caracterizar la biomasa (desarrollo de raíz y tallo, peso fresco, peso seco, proteína y sólidos solubles) producida a través de forrajes verdes hidropónicos en función de los aportes nutrimentales.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Forraje Verde Hidropónico

En respuesta a los altos costos de la alimentación de los animales domésticos, utilizados para la producción de carne y leche, se han evaluado nuevas técnicas de alimentación a bajo costo y con alto valor nutricional como lo es el uso de hidroponía; tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida del crecimiento inicial de las plantas mediante la germinación a partir de semillas viables y por su lapso de tiempo no mayor a los 16 días (Bedolla-Torres 2015).

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal que se obtiene a partir de la germinación y crecimiento de semillas de cereales. El FVH es de alta digestibilidad, calidad nutricional y es apto para la alimentación animal. El FVH se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad).

Usualmente se utilizan semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo, la producción del FVH es una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía.

El proceso se realiza en contenedores de plástico rígido (charolas) por un periodo de entre 10 y 14 días, con riegos de agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 cm; a partir de ese momento, se continúan los riegos con una solución nutritiva con el fin de proporcionarle los nutrimentos necesarios para el óptimo crecimiento del forraje. Con esta producción se obtiene en corto tiempo un alimento de alta sanidad y calidad nutricional para el ganado, en cualquier época del año y localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello (Juarez-Lopéz *et al.*, 2013).

1.2. Importancia del forraje verde hidropónico

Como una alternativa importante, se gesta la producción de forraje verde hidropónico, que se trata de una tecnología de producción de biomasa obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables (FAO 2001).

La hidroponía se basa en la producción de plantas en soluciones nutritivas líquidas en lugar de utilizar el suelo como sustrato. La mayoría de los trabajos han centrado su aplicación en vegetales y hortalizas, no obstante, orientado hacia la producción de alimento para ganado y otras especies animales generando un producto altamente nutritivo, rico en enzimas y vitaminas que se pueden desarrollar a escalas industriales que aumentarían el rendimiento por área (Rotar, 2004).

El forraje hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos que se realiza durante un periodo de 9 a 15 días. Pretendiendo que el grano germinado alcance una altura promedio de 25 centímetros (Chang, 2002).

No obstante, Henríquez, citado por Müller *et al.* 2005 menciona que una edad de cosecha adecuada del cultivo puede estar entre 16 y 20 días de acuerdo a las necesidades del productor, sin pasar ese periodo de tiempo.

Durante el proceso de germinación de una semilla se producen una serie de cambios que le permiten a la plántula en pocos días captar energía luminosa y a través de un proceso de crecimiento acelerado desarrollar su parte radicular y aérea con muy poco contenido de fibra y altos contenidos de aminoácidos.

1.3 Descripción botánica del maíz

La planta del maíz es una monocotiledónea anual de elevado porte (60-80 cm de altura), frondosa, con un sistema radicular fibroso y un sistema caulinar con pocos macollos.

Las yemas laterales en la axila de las hojas de la parte superior de la planta formarán una inflorescencia femenina (mazorca) cubierta por hojas y que servirán como reserva.

Las mazorcas son espigas de forma cilíndrica con un raquis central donde se insertan las espiguillas por pares estando cada espiguilla con dos flores postiladas, una fértil y otra abortiva, en hileras paralelas. Las hojas que se desprenden de los nodos son alternas, lanceoladas y acuminadas, con pequeñas lígulas, naciendo en los nudos de forma alternada.

Los entrenudos y las yemas florales están cubiertos por una vaina. La parte superior de la planta está compuesta de una espiga central con algunas ramificaciones laterales que es donde se producirán los granos de polen (Inflorescencia masculina en panícula dominante).

La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y las anteras pudiendo ser verdosa o amarillenta. A lo largo del eje central las espiguillas se distribuyen de forma polística estando protegidas por dos glumas (superior e inferior).

La yema del flósculo estéril es ovada, membranosa, sin nervios, mientras que el flósculo fértil es orbicular, sin quilla. Ambas inflorescencias presentan espiguillas apareada. (León, 2000) El sistema radicular presenta una parte de raíces adventicias seminales que constituye cerca del 52 % de la planta además de ser el principal sistema de fijación y absorción de la planta, mientras que el sistema nodular es el 48% de la masa total de raíces de la planta.

La función de las raíces de anclaje es mantener la planta erecta para así evitar su caída. En cuanto a su sistema caulinar, cuando tienen tres hojas sobre la superficie son ya visibles las plántulas, pero sus puntos de crecimiento aún están bajo tierra.

El tallo formado presenta varias estructuras básicas denominada fitómero: meristemo apical, profilo, hojas e internudos. El tallo es simple, erecto, pudiendo alcanzar alturas entre 2 y 6 metros de altura, con numerosos nudos y entrenudos. Las panojas son las estructuras

donde se desarrolla el grano en un número variable de hileras (12 a 16) produciendo de 300 a 1000 granos; en total, el grano constituye alrededor del 42% del peso seco de la planta. Hay distintos tipos de grano según los compuestos químicos que contenga (Paliwal, 2001).

Las inflorescencias unisexuales crecen siempre en lugares separados de la planta. Al principio ambas inflorescencias presentan primordios de flores bisexuales, pero, en ambos casos, los primordios de gineceos y estambres abortan y quedan solo las inflorescencias femeninas (mazorca, elote o choclo) y masculinas (espiguillas), respectivamente. La elección de un sexo u otra forma parte de una interacción entre determinantes genéticos, ambientales, giberelinas y hormonas de la planta. El desarrollo de la flor femenina es acropétalo desde la base hasta la parte apical. La polinización es anemófila, viajando los granos de polen distancias entre 100 y 1000 m (Paliwal, 2001).

El polen es trinuclear conteniendo numerosos granos de almidón y dos capas resistentes (exina e intina). Los estambres están cubiertos por tricomas abiertos reteniendo los granos de polen eficazmente. En general, la protandria no es verdadera ya que el gineceo madura y los estambres son receptivos antes de aparecer fuera de las hojas de cobertura. El fruto es indehisciente, cada grano se denomina cariósipide, no presentando latencia la semilla. El pericarpio está fundido con la testa de la semilla formando la pared del fruto. El fruto maduro consta de pared, embrión diploide y endosperma triploide. El pericarpio constituye alrededor del 5 a 6 % de peso total del grano, la aleurona en torno al 2 o 3 %, el embrión alrededor del 12-13%, y el endospermo, mayoritario, presenta unos valores en torno al 80-85%. El resto lo constituye la piloriza que es una pequeña estructura cónica encargada junto con el pedicelo de unir el grano a la espiga (Sarzosa *et al.*, 2022).

El maíz goza de gran importancia económica mundial ya sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima de un gran número de productos industriales. Cerca del 40 % del maíz producido en los países tropicales se usa para la alimentación animal, concretamente para ganado y establecimientos avícolas.

Una de las ventajas que presenta el maíz es que es el único cereal que puede ser usado como alimento en cualquier etapa del desarrollo de la planta (Paliwal, 2001)



Figura 1. Estados fenológicos del Forraje Verde Hidropónico

1.4. Clasificación taxonómica del maíz

El maíz es una planta monocotiledónea muy cultivada a lo largo de todo el mundo, siendo uno de los alimentos de consumo básico en muchas poblaciones. Perteneciente a la familia de las Poáceas, de la tribu *Maydeas*, las especies del género *Tripsacum* son formas salvajes parientes del maíz, también con origen americano, pero sin valor económico directo (Paliwal, 2001).

Al principio, los taxónomos clasificaron los géneros *Zea* y *Euchlaena*, como dos géneros separados, sin embargo, debido al estudio realizado por Reeves y Mangelsdorf en 1942 se los considera como un único género, basándose en la compatibilidad entre esos grupos de plantas y los estudios citogenéticos. Entre las Maydeas orientales existen diversos géneros como *Schleracne*, *Polytoca*, *Chionachne*, *Trilobachne* y *Coix*, siendo este último el único que tiene cierta importancia económica en el sudeste de Asia. En general, solo *Zea mays* se considera como una especie de gran importancia económica dentro de las *Maydeas* (Paliwal, 2001).

Su clasificación taxonómica está bien estudiada (GBIF, 2013).

Reino: Plantae

División: *Magnoliophyta* Cronquist, Takhtajan y W. Zimmermann, 1966.

Clase: Liliopsida

Orden: Poales Small 1903

Familia: Poaceae Barnhart

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* Linnaeus, 1753

1.5 Otras especies utilizadas en el forraje verde hidropónico

Se han utilizado semillas de Sorgo (*Sorghum* ssp.), Avena (*Avena sativa*), y Alfalfa (*Medicago sativa*), así como el Trigo, de las cuales se realiza la comparación de su desarrollo con diferentes tratamientos sintéticos y en pocas ocasiones orgánicos, todos siempre con la finalidad de poder solventar la carencia de nutrimento en los animales y solventar a los ganaderos la necesidad de conseguir alimento para su ganado.

Siendo la mayormente utilizada el Maíz (*Zea mays* L.) por la alta probabilidad de germinado, alto contenido de proteína y alta velocidad de desarrollo en diferentes condiciones meteorológicas.

1.6. Técnicas y manejo empleadas en el forraje verde hidropónico.

1.6.1. Ciclos de establecimiento

Los meses más críticos para la ganadería son de febrero-agosto debido a la falta de alimento y lo incosteable de la adquisición del mismo. (Martínez y Romero, 2005).

Podríamos considerar que como el FVH se desarrolla en condiciones relativamente controladas, lo tomáramos como un solo ciclo, pero en la región baja de la cuenca del Tepalcatepec en Michoacán tenemos muy marcados los ciclos en 2 tiempos.

Uno de ellos es la temporada Primavera-verano la cual se considera como la más importante debido a las condiciones meteorológicas alcanzando temperaturas de 35° C como temperatura promedio, dando consigo unos escases de agua, pastos silvestres escasos, ocasionado en los ganaderos una problemática y en el ganado estrés además de la pérdida de peso.

La otra temporada es otoño-invierno la cual desciende la temperatura a 22° C., con ello tenemos que el animal se desestresa y que dado el final de las lluvias traen consigo el desarrollo final de pastos silvestres, así como la posible ganancia de peso por parte del animal.

1.6.2 Cosecha y postcosecha

Una vez se consigue elongar la plántula no se deben dejar pasar demasiado tiempo, lo anterior debido a que se pierde calidad nutricional conforme pasa el tiempo (Herrera-Torres *et al.*, 2010).

Esta actividad está marcada por los días del germinado dado los 14 a 16 días el FHV debe estar totalmente desarrollado, dando lugar al desarrollo de un tapete de raíz totalmente sana y plántulas totalmente de color verde sin opacarse, esto nos indicara que ya debe ser cosechada.

Para el manejo postcosecha se le otorga un riego final con la intención de que valla totalmente húmedo y no se marchite con facilidad, se sacan de la bandeja de forma manual y se apila en carretilla, camioneta e incluso se puede mantener en la palma de la mano para ofrecerla al animal inmediatamente o al día siguiente.



Figura 2. Forraje en tiempo de cosechar

1.6.3 Limitaciones bióticas y abióticas en el empleo de forraje verde hidropónico

Las limitaciones bióticas, están dadas por la calidad y la variedad de la semilla elegida para el desarrollo de FVH, las posibles plagas nocivas que se filtren al sitio como son mamíferos, aves, reptiles o insectos y en su momento posibles microorganismo como hongos (Rebollar, 2010) debido a la cantidad de partículas suspendidas reportadas en la localidad y la temporada.

Los abióticos son aquellos factores meteorológicos que perturben el desarrollo del FVH, la disponibilidad de la luz y la cantidad, la nutrición que se aporte, la humedad al final de la temporada de verano que nos acelera el deshidratado de las plántulas.

Estos factores pueden ocasionar problemas mayúsculos desde la germinación, lo cual repercute en el desarrollo del forraje que se evidencia en la falta de elongación o el desdeshidratamiento del material biológico



Figura 3. Problemas ocasionados por altas temperaturas y humedad

1.6.4 Problemas fitosanitarios reportados

Cualquiera que sea el motivo de la aparición de hongos, estos representan uno de los problemas principales en la producción de forraje verde hidropónico, ya que estos hongos producen micotoxinas que pueden causar daños al ganado e incluso la muerte.

Las micotoxinas en la producción de forraje verde hidropónico constituyen un problema que comienza desde la germinación de las semillas y continúa durante su desarrollo, cuya única solución es prevenir el crecimiento fúngico. Se ha comprobado la acción de unas pocas toxinas en brotes de intoxicación humana y animal, las otras han sido ensayadas en animales de experimentación.

Los hongos crecen sobre los vegetales provocando el deterioro de los mismos. Forman metabolitos secundarios que actúan como antibióticos favoreciendo la prevalencia del hongo frente a otros microorganismos, muchos de los cuales son tóxicos para las plantas y los

animales. Estos metabolitos que enferman o matan a los animales que los consumen se conocen como micotoxinas y la afección se llama micotoxicosis (Swanson, 1987, citado por Ovando, 2009).



Figura 4. Presencia de hongos que producen micotoxinas

1.6.5 Soluciones nutritivas

En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tiene los organismos vegetales son satisfechas con las sales minerales o nutrición de cualquier fuente que se agregan a la solución nutritiva (SN), estos por supuesto que dependen de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones meteorológicas (Magaña, 2023).

Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una SN con características específicas, de acuerdo con Graves (1983) y Steiner (1984) citados por Magaña 2023, las principales características que influyen en el desarrollo de los cultivos y sus productos de importancia económica son : La relación mutua entre los aniones, la relación

mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos representada por la Conductividad Eléctrica, el pH, la relación NO_3^- , NH_4^+ y la temperatura de la SN. Para que la solución tenga disponible los nutrimentos que contiene, debe de ser una solución verdadera, todos los iones se deben encontrar disueltos. La pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrimentos puede ocasionar su deficiencia en la planta, además de este problema se genera un desbalance en la relación mutua entre los iones.

La mayoría de las técnicas de producción en hidroponía son de sistema cerrado, la SN excedente se recupera y posteriormente se reestablece su composición química y así es nuevamente utilizada, El uso más eficiente de la SN se presenta con el sistema cerrado (Herrera, 2010).

Haciendo referencia a la presente investigación y debido al propósito de comparar desarrollos por nutrición se permitió dejarlo a solución perdida y con ello cuantificar el gasto real por charola y días hasta la cosecha.

1.6.6 Conductividad eléctrica (CE)

Es la medida utilizada para medir la cantidad de sales disueltas en la solución hidropónica. Esta propiedad también se le conoce como factor de conductividad (FC). Los valores de conductividad eléctrica es un indicador de la cantidad de nutrientes disponibles en la solución para ser absorbidos por el sistema de raíces de la planta.

La medición de la CE se realiza con medidores analíticos llamados conductímetros, se expresa en milliohms por centímetro o milliSiemens por centímetro (Ms/cm), el controlar el nivel de conductividad eléctrica de la solución hidropónica del cultivo representa mucha ventaja, una de ellas es que se conoce la cantidad exacta de las sales disueltas en la solución y la cantidad probable de nutrientes tomados por la planta, por tanto manteniendo los niveles de CE adecuados en la solución se puede mantener las condiciones óptimas de crecimiento.

Este procedimiento asegura que las plantas cuentan con la cantidad disponible de nutrientes durante todo el ciclo de desarrollo (Magaña, 2023).

La conductividad eléctrica para cada cultivo puede variar significativamente dependiendo de la especie cultivada y la etapa fenológica del mismo, Baixauli en 2002 menciona que para crecimiento vegetativo es de 2.0- 2.20, para esta investigación se generaron nuevos datos que permiten aportar al desarrollo de FVH y su conductividad.

1.6.7 pH

El pH se define como el potencial de hidrogeno negativo de la actividad de iones hidrogeno (H^+). Por tanto, $pH = -\log(H^+)$, este se utiliza para evaluar la actividad del ion hidrogeno en cualquier solución si la necesidad de utilizar números complejos difíciles de entender e interpretar.

El pH tiene una escala de 0 a 14 siendo las soluciones acidas menores a un pH de 7 y las soluciones básicas las que tienen un pH mayor a 7.

La mayoría de las aguas en condiciones normales tienen un pH de 7, en estas condiciones se puede dar insolubilidad y precipitados, provocando una baja disponibilidad de nutrientes para las plantas y provocando deficiencias en las mismas (Magaña 2023).

Para el desarrollo de FVH se deben adecuar estos parámetros desde el primer momento debido a que se trabaja con la semilla y su emergencia primaria en su primer estado fenológico y su segundo, dando con ello importancia para que el embrión no muera debido al incorrecto manejo del pH y la CE del agua y sus soluciones nutritivas.

1.7 Etapas del desarrollo del FVH

El grano tiende a absorber agua del 30 al 35% de su peso. La elongación de la radícula depende mucho de la temperatura. Después de la emergencia de la radícula, 3 o 4 raíces adicionales emergen de la semilla formando el sistema de raíces seminales, su función es la absorción de agua y algunos nutrientes (Endicott *et al.* 2015 citado por Pozo Rosales, 2021).

El cotiledón permanece bajo la superficie donde la planta demuestra la emergencia “hipogea”. El primer nodo interno o mesocotilo se alargan empujando la punta del coleóptilo hacia la superficie, cuando llega rompe y llega a la superficie entonces se ha producido la emergencia (VE), el periodo desde la siembra hasta la aparición del coleóptico es aproximadamente de 6 a 8 días (Pozo Rosales, 2021).

1.8 Estudios previos

De acuerdo con López *et al.* (2013) realizaron estudio con la finalidad de estudiar el efecto de las fertilizaciones sobre la producción de biomasa en forraje hidropónico donde utilizaron un diseño completamente al azar con 3 tipos de nutrición más un testigo, con cuatro repeticiones, las variables fueron altura, rendimiento por metro cuadrado, materia seca y proteína cruda.

Pudiendo concluir que estos tratamientos se pueden recomendar para cualquier unidad de producción debido a sus resultados.

Según Bedolla-Torres (2015), probaron el efecto de la irrigación con levaduras *Debaryomyces hansenii* var. Fabry, *Yarrowia lipolytica* YIBCS002, *Yarrowia lipolytica* var. BCS y *Candida pseudointermedia* sobre el contenido nutricional final del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), se efectuó en diferentes etapas del crecimiento, encontrando que todas las levaduras incrementaron el contenido de proteína cruda, lípidos, cenizas, humedad y energía bruta independientemente de la etapa de crecimiento en que fueron aplicadas, el diseño que utilizaron fue por triplicado donde dejaron una charola como

réplica e incluyeron un tratamiento con solución nutritiva Hoagland como control.

Por su parte, Juárez-López *et al.* (2013), establecieron el desarrollo de los forrajes verdes hidropónicos, comprobando que si es viable producirlos siempre y cuando se sigan las condiciones mínimas de sanidad, aseguran no es competencia contra el forraje convencional pero si complementario, probaron 10 soluciones nutritivas la cuales se aplicaron a partir del día 4-5, durante la cosecha del FVH comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja o franja de producción, esta biomasa comprende a las hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas germinadas y no germinadas. Lo anterior forma un sólo bloque alimenticio, el cual es fácil de sacar y de entregar a los animales en trozos, desmenuzado o picado. Se recomienda utilizar el FVH recién cosechado, aunque no existen problemas sanitarios de conservación por dos o tres días, salvo el asociado a un descenso de la calidad nutricional.

Salas-Pérez *et al.*(2010), realizaron un estudio para determinar el efecto de la fertilización, el genotipo y días de la cosecha sobre el rendimiento y la calidad nutrimental de los forrajes verdes hidropónicos ,mediante la evaluación de 3 tipos de fertilización orgánica (té de compost), química (solución nutritiva) y sin fertilizar sobre 2 genotipos (criollo e híbrido) sobre 3 fechas de cosecha (12.14 y 16 días), encontrando que el maíz híbrido supero al maíz criollo en las variables , materia seca, contenido de proteína, fibra ácido y grasa.

Vargas Rodríguez (2007), realizó una comparación en la producción de forraje verde con semillas de Maíz, arroz y sorgo, dando como resultado la mayor producción de biomasa fresca (21,65 kg/720 cm²) fue dada por el sorgo que a su vez manifestó una mayor concentración de proteína cruda (10,47 %). El arroz resultó ser la especie con contenidos de materia seca (15,82%) y cenizas (9,17%) superior, mientras que el maíz presentó una mejor calidad de fibra. Con estos resultados se puede deducir que los sistemas de producción hidropónica representan una alternativa más para el cultivo rápido y simple de forraje durante las épocas adversas.

Sarzosa *et al.* (2022), realizaron una investigación donde evaluó el efecto de biol de estiércol de conejo con diferentes concentraciones (10 %, 30 % y 50 %) para el desarrollo de

forraje verde hidropónico de maíz, donde logro tener mejores resultados con el tratamiento que nombre T1 que contiene (B1D1, 10 % de estiércol de conejo y 90 % de agua) en la parte de altura de la planta, con 21.38 cm: longitud de la raíz, con 27.67 cm; rendimiento de peso fresco, 24.44 kg m⁻², rendimiento en materia seca, 5.26 kg m⁻², valor nutricional, 21.17 % de materia seca y 11.7 % de proteína de base seca.

Morales Sinchire *et al.* (2020) realizaron una investigación con la producción de avena (*Avena sativa* L.) y trigo (*Triticum vulgare*) bajo sistemas hidropónicos y convencional, el experimento para cada sistema y cultivo se estableció bajo un diseño de bloques al azar, instalando cuatro tratamientos (dos en FVH y dos a CA), con tres repeticiones cada uno. Se evaluó la altura de la planta (AP) de cada cultivo para cada sistema productivo, mientras que para cada sistema y cultivo se determinó la producción de biomasa, la proteína cruda (PC) ($p < 0,05$) y el cociente de la relación beneficio-costos (B/C). La mayor altura se obtuvo en trigo FVH con 17,67 cm y en avena CA con 82,78 cm. En relación con la producción de biomasa, el trigo FVH alcanzó 23,57 kg/m² de materia verde (MV) o 3,10 kg/m² de materia seca (MS); el resto de tratamientos estuvo por debajo de 13 kg/m² de MV (1,39 kg/m² de MS); el porcentaje de proteína en el trigo CA fue mayor con 19,90 %, seguido de avena CA, mientras que el trigo y la avena FVH tuvieron valores de alrededor del 10 %; en beneficio-costos, el trigo FVH obtuvo un puntaje mayor de 1,46 frente a la avena FVH (0,67), el trigo CA (0,26) y la avena CA (1,00). Por esta razón, la complementariedad de los dos sistemas de producción, especialmente en el cultivo de trigo, podría ser una opción para la alimentación animal.

López *et al.* (2009) desarrollaron una investigación sobre producción de forrajes verdes hidropónicos en zonas áridas que buscara evadir las variables ambientales para el cultivo convencional de forrajes. En este evaluaron tres densidades de siembra (DS): 1.5; 2.0 y 2.5 kg de semilla m² de bandeja en el rendimiento de FVH de maíz (*Zea mays* L.), uso del agua y para medir el efecto que tienen estos en la ganancia de peso en cabras. Utilizando 2,5kg·m⁻² se obtuvieron los mayores rendimientos en FVH y en materia seca (MS), pero la mayor conversión de semilla utilizada a FVH fue registrada en la DS de 2,0 kg·m². Donde encontraron que los rendimientos de FVH y MS en las tres DS fueron similares al de las principales especies forrajeras, pero en una superficie 100 veces menor,

sin uso de agroquímicos y utilizando 30-50 veces menos agua.

La calidad del FVH en las tres DS fue similar al de alimentos considerados como nutritivos para el ganado. Con excepción de proteína cruda y fibra detergente ácida, no fueron registradas diferencias significativas entre DS en las variables relacionadas con la calidad del forraje. Además, pudieron comprobar que las dietas que incluyeron FVH incrementaron significativamente la ganancia de peso en cabras, registrándose 134,7 y 144,3 g para 70% y 25% de FVH en la dieta, respectivamente. Concluyeron que el FVH podría contribuir a la conversión de sistemas convencionales de producción de ganado al sistema orgánico o a elevar la condición nutricional del ganado en zonas áridas y semiáridas donde es común la subnutrición

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del sitio de experimentación

El presente trabajo de investigación se realizó en el Módulo de Investigación de Cultivos Hidropónicos del Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán con las coordenadas 19°05'40.7" N y 102°24'18.9" W que se encuentra a una altura de 325 msnm.



Figura 5. Localización del sitio (Magaña, 2023).

2.2 Material vegetal a utilizar

El maíz utilizado es el conocido como material “Armadillo”[®], el cual es el que más utilizan los ganaderos como aporte para sus animales y por el acceso económico, es por ello que se hace esta propuesta del material vegetativo. Debido a que según dentro de las fortalezas de este material ASGROW tiene una alta digestibilidad de almidones, excelente conversión en verde, así como una buena conversión alimenticia y es por ello que lo recomiendan como uso forrajero.



Figura 6. Semilla utilizada en desarrollo de FVH

2.3. Materiales

En el presente trabajo de investigación se emplearon los siguientes materiales y equipos:

- Maíz, *Zea mays* L. variedad “armadillo”
- Charolas forrajeras plásticas de 60x40x2.5
- Base de metal con 3 repisas para contener charolas
- Pulverizadoras con capacidad de 2 L
- Cubetas de 20 L
- pH-metro
- Conductímetro
- Refractómetro
- Reglas
- Cinta métrica
- Lápiz
- Marcadores
- Libreta
- Computadora
- Calculadora

2.4. Charolas recomendadas

Si bien el desarrollo de FVH se puede realizar en algunos materiales diferentes a las charolas, no es recomendable realizarlo esto debido al posible desarrollo de contaminantes en los contenedores, esto por no contar con el dren necesario dando lugar a la aparición de microorganismos (Rebollar, 2010).

Las charolas a utilizar en esta investigación son de color negro, de 62x44x2.5, son de fabricación mexicana por la empresa Hydro-envioromental, la cual cuenta con dren de siete orificios en uno de sus costados para así poder dar salida a las soluciones o líquidos que se administren.



Figura 7. Largo de charola forrajera Figura 8. Ancho de charola forrajera



Figura 9. Estantería de metal con 3 niveles

2.5 Manejo o proceso sanitario de material de uso

2.5.1 Desinfección de charolas forrajeras

Para la desinfección de las charolas se debe realizar 12 h., previo al depósito de semillas, para ello se realiza una solución de hipoclorito al 10% (García ,2021), enjuagándose cada una o haciéndose pasar por la tina que contiene la solución, para después dejarse secar en su anaquel.



Figura 10. Lavado y desinfección de charolas forrajeras

2.5.2 Lavado y desinfección del material biológico

Para el remojo se realizó uno propio que, por supuesto procedió a uno utilizado y se realiza la adecuación, se vierte el material biológico en una tina de 60 L, para realizar un agregado de hipoclorito de sodio de 20 ml, dejando reposar por 15 minutos y se realiza el enjuague dos veces, se deja reposar por una hora.



Figura 11. Lavado y desinfección de material biológico

2.6. Remojo del material biológico

Después del descanso por una hora, se colocan 60 L de agua en la tina y se agregan 20 g por cada 20 L de cal para así conseguir Ca(OH)_2 , se deja reposar esa mezcla por 8 h pasado el tiempo se desecha el agua del remojo y se realiza un enjuague, se deja reposar por una hora sin agua, enseguida se agregan 60 L de agua y 20 g por litro de cal para su remojo otras 8 h.

2.7 Colocación del material biológico en las charolas

Se realizó el pesado del material 850 g por charola y se colocan en las repisas de manera uniforme, dando un total de 21 charolas para esta investigación

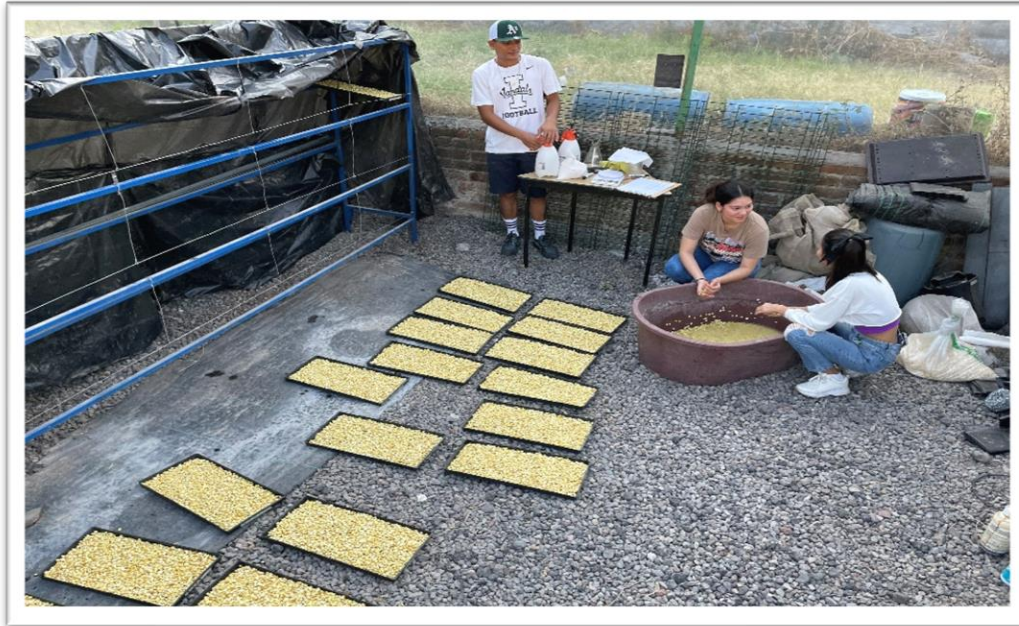


Figura 12. Colocación del maíz en sus charolas

2.8 Riegos

Para los riegos se tomaron seis riegos a partir de las 8 de la mañana y hasta las 18 h, se tomó la pulverizadora de 2 L y se realizó un riego saturado hasta que la charola comenzó a escurrir, los primeros 3 días se realiza con solo agua y los restantes 4 días con solución nutritiva y se agregan 1 o 2 días para enjuagar sales volviendo a regar con solo agua.

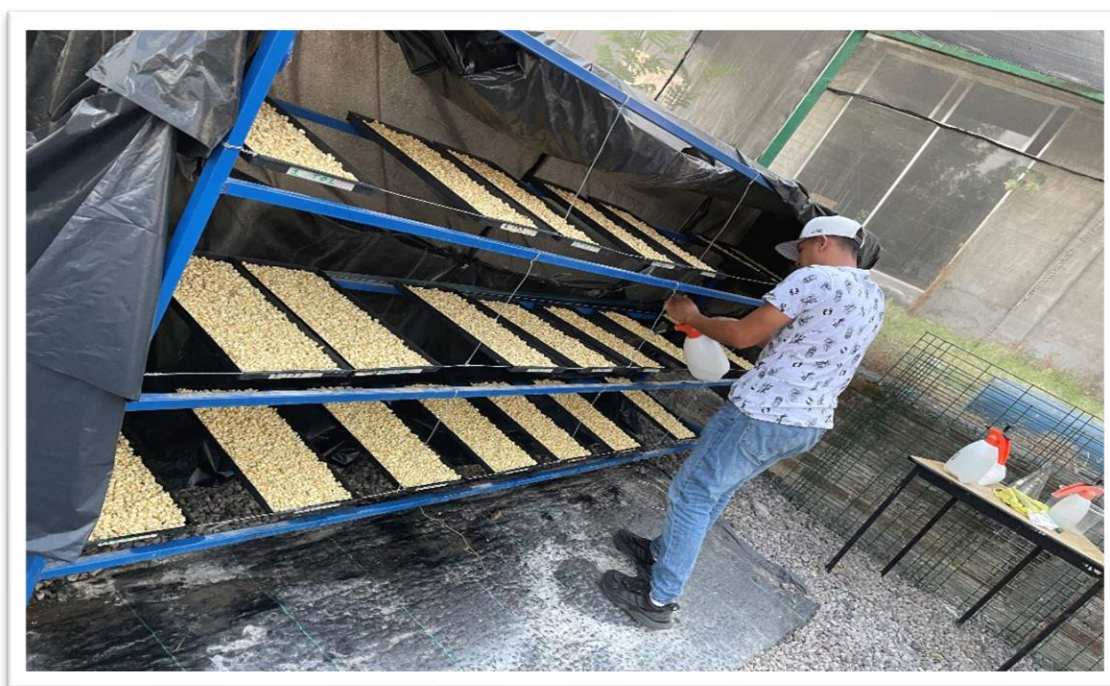


Figura 13. Formas de riego para la investigación

2.8.1 Manejo de riegos

Se han diseñado hasta más cinco riegos con duración de dos minutos, para el desarrollo de FVH donde registra un mejor desarrollo con la aplicación de altos números de riego para la etapa inicial. (Herrera-Torres *et al.*, 2010).

Para la etapa fenológica avanzada se obtienen mejores resultados en elongación de la plántula al aplicar un mayor volumen de riego (González y García, 2015), pero no describe la temporada del año y en este trabajo Como ya se expuso los riegos se basaron en la temporalidad y en la etapa de desarrollo fenológico del FVH, además de realizarse de forma manual con una pulverizadora.

Para la temporada Primavera-verano, se administran riegos en el área experimental con frecuencia de cada 2 horas en el día (7 a 19 h) dando un total de 7 riegos con tiempo de 120 segundos en los primeros 4 días, para los días 5-9 se deben realizar 5 riegos con solución nutritiva con 180 segundos de apertura de riego, para los días 10-14 se deben realizar 5 riegos para lavar con 180 segundos de apertura de riego (Tabla 1).

La temporada otoño-invierno se administran riegos en el área experimental con frecuencia de cada 4 h en el día (7 a 19 h) dando un total de 3 riegos con tiempo de 60 segundos en los primeros 4 días, para los días 5-9 se deben realizar 2 riegos con solución nutritiva con 90 segundos de apertura de riego, para los días 10-14 se deben realizar 2 riegos para lavar con 180 segundos de apertura de riego (Tabla 1).

Tabla 1. Riegos comparativos en las diferentes estaciones

	primavera -verano	otoño-invierno
Riegos	5	3
Gasto de agua 4 días	2 L por bandeja	1 L por bandeja
Gasto de nutrición en la bandeja más pequeña	Sintético 100 g Orgánico 120 ml	Sintético 40 g Orgánico 40 ml
Tiempo de cosecha	7 días	10 días

2.9 Solución nutritiva

Por ser la investigación la de evaluar dos diferentes fuentes de nutrición (Figura 14) se realizaron a solución perdida la cual consiste en por medio de un pulverizador dirigido a cada charola se satura de agua hasta que escurra o drene la charola por sus orificios inferiores , debido al tipo de investigación que se realizó al comparar dos soluciones de manera al azar , no fue posible captarlas en un contenedor para poder recircular o regresarla a su riego por ello se deja escurrir al suelo, con ello a la vez se cuantificaron los litros de gasto en el transcurso de su desarrollo y hasta cosecha (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido nutricional de las soluciones nutritivas

Sintética:		Orgánico:	
Nitrógeno total	24 %	Ácidos húmicos derivados de leonardita en su forma más oxidada	
		12.5 %	
Fósforo como (P₂O₅)	17 %	Ácidos fúlvicos	2.5%
Potasio (K₂O)	13 %	Potasio (K₂O)	1%
Azufre	0.20 %	Magnesio	0.15 %
Fierro	0.10 %	Fierro	0.10 %
Zinc	0.10 %	Zinc	0.025 %
Manganeso	0.05 %		
Boro	0.04 %		
Cobre	0.025 %		



Figura 14. Preparación de soluciones nutritivas por tratamiento

2.10 Tratamientos a evaluar

Se desarrolló bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con 7 tratamientos (Tabla 3), por 3 repeticiones, donde cada repetición corresponderá a una charola forrajera (Figura 15), siendo en total 21 unidades experimentales.

Tabla 3. Números y dosis de tratamientos

Tratamiento	Descripción	Dosis
TS1	Tratamiento sintético	10 g/L
TS2	Tratamiento sintético	20 g/L
TS3	Tratamiento sintético	30 g/L
TO1	Tratamiento orgánico	40 ml/L
TO2	Tratamiento orgánico	80 ml/L
TO3	Tratamiento orgánico	160 ml/L
Testigo	Testigo	

Distribución de los tratamientos						
1	2	3	4	5	6	7
Testigo	TS1	TO3	TO1	TS2	TS3	TO2
8	9	10	11	12	13	14
TO2	TO3	TS1	TS2	TO1	Testigo	TS3
15	16	17	18	19	20	21
TS3	TS2	Testigo	TO3	TO1	TS1	TO2
			Testigo			
			Sintético			
			Orgánico			

Figura 15. Distribución de los tratamientos

2.11. Variables a evaluar

Se midieron variables morfológicas, como a continuación se señalan:

2.11.1 Altura de planta

Se tomaron de la charola muestras de organismos de diferentes tamaños, pero con los mismos tratamientos y con ayuda de una regla métrica se midieron desde la base del tallo pegado al grano hasta la punta del mismo, registrándose en una libreta para su posterior análisis de datos (Figura 16).



Figura 16. Toma de medidas de las variables

2.11.2 Longitud de raíz

Se tomaron de la charola muestras de organismos de diferentes tamaños, pero con los mismos tratamientos y con ayuda de una regla métrica se midieron desde la base del grano y hasta la punta de la raíz más larga, registrándose en una libreta para su posterior análisis de datos.

2.11.3 Sólidos solubles

De las muestras separadas por tamaño entre todos los tratamientos se seleccionaron los tallos elongados y se somete a presión en una prensa de extracción de sabia para enseguida pasarla por el refractómetro y registrar la numeración obtenida en °Brix.

2.11.4 Contenido de humedad

Se colocó una muestra total de grano, tallo y raíz para triturarla por medio de unas tijeras hasta tenerla reducida en tamaño, se colocó por una hora en el horno a temperatura de 100° C, se saca la muestra se pesó se volvió a introducir por una hora hasta que alcance un peso constante y se registra en la libreta de campo, se aplicó la fórmula para obtener el porcentaje de humedad en cada tratamiento (Figura 17).



Figura 17. Peso de material biológico para determinación de contenido de humedad

2.11.5 Ganancia en peso por tratamiento

Para esta variable se realizó a partir de investigaciones personales anteriores en un peso que corresponde al correcto desarrollo del forraje, dando como peso inicial 900 g, una vez desarrollado el forraje se pesó y de ahí se restó al peso inicial dando con ello la ganancia por charola y tratamiento (Figura 18).

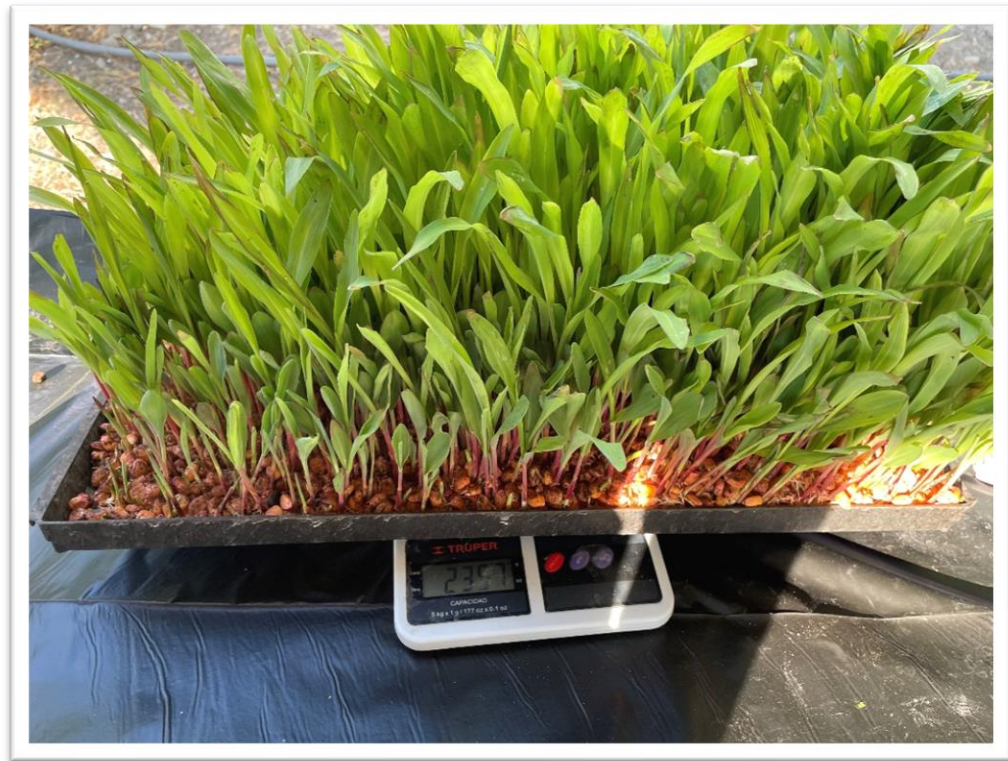


Figura 18. Peso neto de forraje

2.11.6 Longitud proporcional de tamaño de raíz

De las muestras tomadas por cada charola con forraje desarrollado se clasifican por tamaños de raíz y se midieron por tratamiento, para determinar su longitud en proporción de bloques (Figura 19).



Figura 19. Clasificación de tamaños y medida de raíz

2.11.7 Longitud proporcional de tamaño de tallo

De las muestras tomadas por cada charola con forraje desarrollado se clasifican por tamaños de tallo y se midieron por tratamiento, para determinar su longitud en proporción de bloques (Figura 20).



Figura 20. Clasificación por tamaños de tallos, por tratamiento

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se comparan los resultados de cada variable que se midieron para observar el efecto en el desarrollo vegetativo de las soluciones nutritivas.

3.1 Raíz y tallo

El análisis de varianza realizado a las variables longitud de raíz y longitud de tallo, presentaron diferencias significativas (cuadro 4). Para el caso de la variable longitud de raíz por efecto de tratamientos bioestimulantes, el tratamiento TO1 fue el que obtuvo mayor desarrollo de raíz, alcanzando 11.23 cm, asimismo, el conjunto de tratamientos orgánicos (TO1, TO2 y TO3) destacaron en su mayoría por obtener 37% de mayor capacidad en el desarrollo de las raíces, comparados con el conjunto de los tratamientos sintéticos, incluido el testigo (Tabla 4).

Por su parte, la variable longitud de tallo influenciado por los tratamientos bioestimulantes, de igual manera el tratamiento TO1 se diferenció estadísticamente del resto de tratamientos por promover la mayor longitud del tallo (20.51 cm), seguido del tratamiento sintético TS1 con 16.46 cm, que es coincidente en la posición por sus dosificaciones tanto sintético como orgánico.

De igual forma los pares de tratamientos TS2 y TO2, así como los tratamientos TS3 y TO3, y que estos últimos se igualan estadísticamente con el tratamiento testigo. Lo anterior refleja que el tratamiento orgánico en su dosis 40 ml L⁻¹ de agua, es adecuado para desarrollar eficazmente las plántulas en la etapa inicial.

Tabla 4. Desarrollo de raíz y tallo en granos germinados de maíz sometidos a diferentes tratamientos con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.

Tratamientos	Longitud (cm)	
	Raíz	Tallo
TS1	7.43 bc	16.46 ab
TS2	5.74 cd	12.30 bc
TS3	4.93 d	8.87 c
TO1	11.23 a	20.51 a
TO2	7.38 bc	13.01 bc
TO3	9.06 ab	10.45 c
Testigo	5.03 d	10.29 c
Media	7.26	13.13
C.V.	40.94	46.19
<i>P</i>	0.0001	0.0001

3.2 Contenido de humedad

En el caso de la variable contenido de humedad, la cual derivó del resultado obtenido entre el peso de materia fresca y el peso de la materia seca (Figura 22). El resultado obtenido refleja que los tratamientos orgánicos (TO1, TO2, TO3) mantuvieron constante la humedad en 70%, sin embargo, el tratamiento que superó a todos los tratamientos al contener la mayor humedad, fue el tratamiento sintético TS1, ya que alcanzó el 78% de humedad, lo anterior nos indica que su estructura presentó mayor capacidad para contener agua de entre los tratamientos. Por su parte el tratamiento testigo, se posicionó a la par con los tratamientos TS2 y TS3, ya que sus valores de humedad fueron los más bajos (Figura 22).

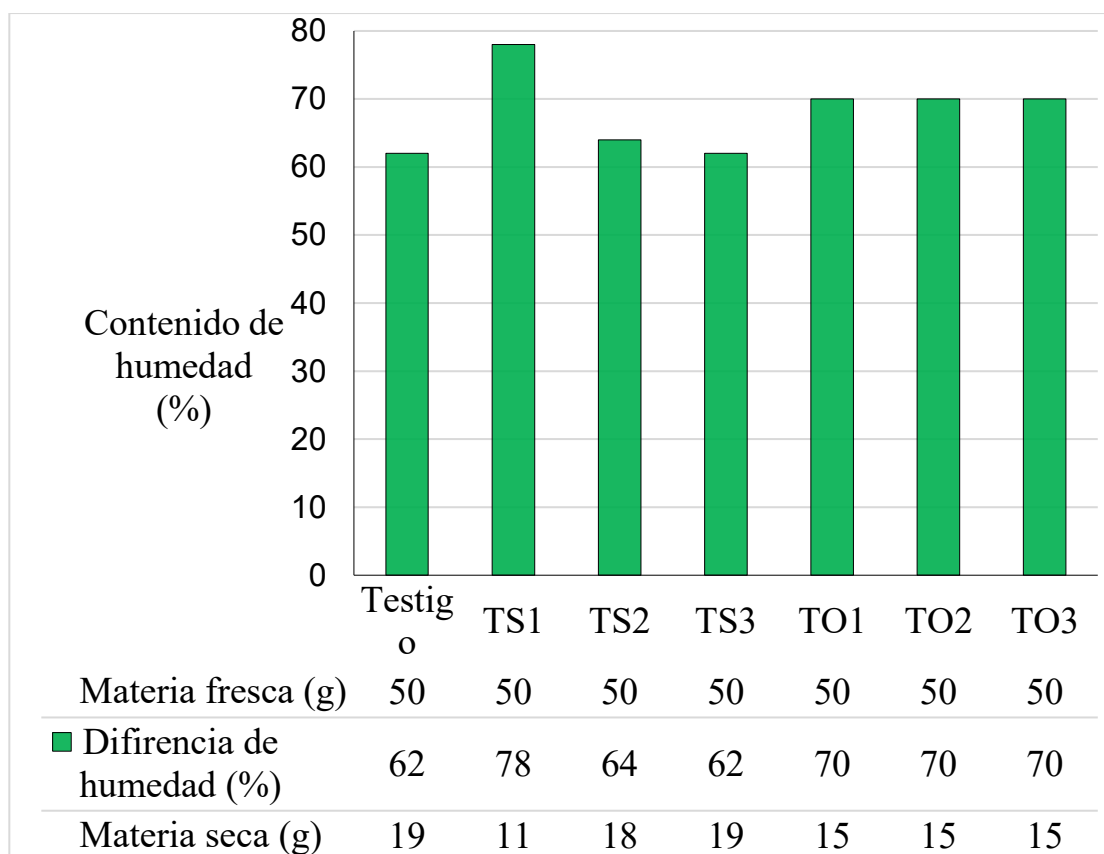


Figura 21. Contenido de humedad en granos germinados de maíz sometidos a diferentes tratamientos con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.

3.3 Sólidos solubles

En la figura 23 se muestra el resultado de la variable sólidos solubles. Como se aprecia, se distinguen claramente los comportamientos por grupos de tratamientos, es decir, los tratamientos orgánicos (TO1, TO2 y TO3) y los tratamientos sintéticos (TS1, TS2 y TS3), y el tratamiento testigo, quien fue muy similar a los tratamientos orgánicos. Así, los tratamientos sintéticos, presentaron mayor dulzura que los tratamientos orgánicos y el testigo, cuyos valores fueron ligeramente inferiores de entre 4 y 6 °Brix, en comparación con los tratamientos con poca dulzura, ya que sus valores fueron inferiores a 2 °Brix (Figura 23). Este comportamiento es interesante dado que hipotéticamente la dulzura podría influir en el gusto por el consumo de los animales, aunque, el volumen influye en la satisfacción del mismo.

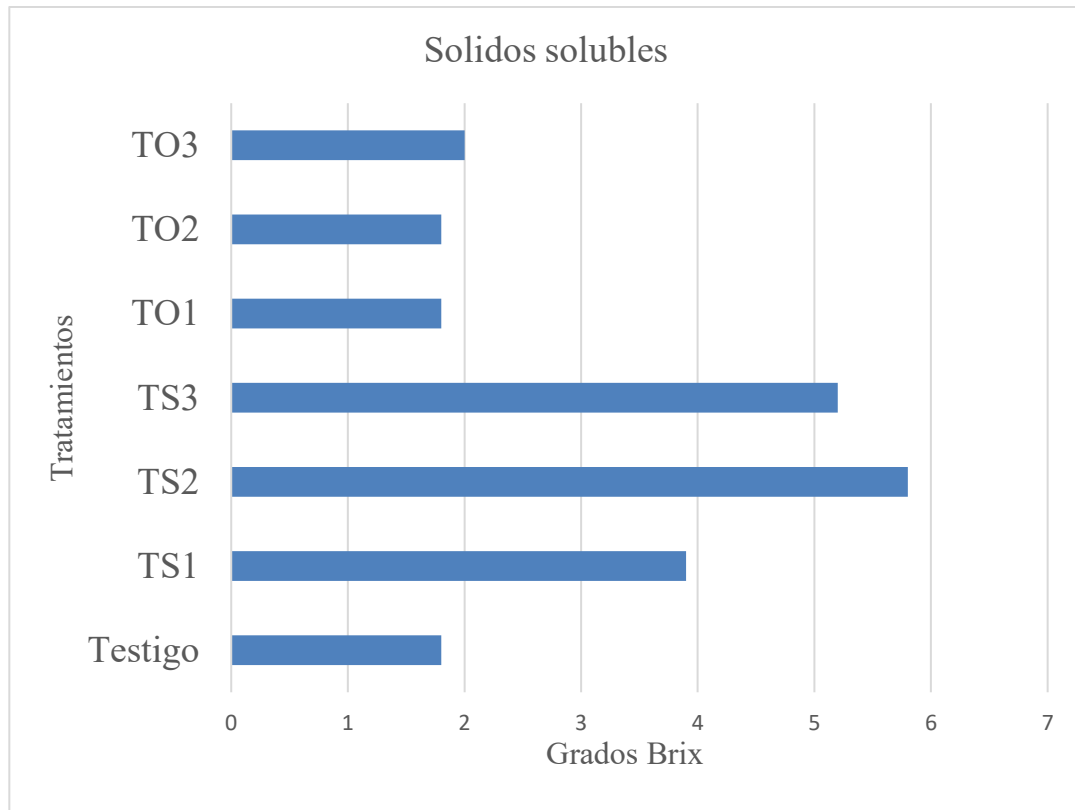


Figura 22. Sólidos solubles en granos germinados de maíz sometidos a diferentes tratamientos con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.

3.4 Ganancia en peso por tratamiento

La variable integrada ganancia en peso se presenta en la figura 24. Como se observa, el análisis estadístico de varianza realizado al valor diferencial entre el peso inicial y el peso final de las charolas por tratamiento, arrojó diferencias estadísticas significativas. Así, de los tratamientos orgánicos, el tratamiento TO3, fue el que obtuvo la mayor ganancia en peso cercano a 1.5 kg. En cambio, los tratamientos que mantuvieron una ganancia en peso similar tendenciosamente fueron TO1, TO2 y TS1. Por su parte, el tratamiento con menos ganancia en peso fue el TS3 (Figura 24). Lo anterior refleja que las plántulas una vez inicia su desarrollo, responden positivamente a la adición de bioestimulantes, ya sean sintéticos u orgánicos, con ello genera masa foliar, la cual es el propósito del presente estudio.

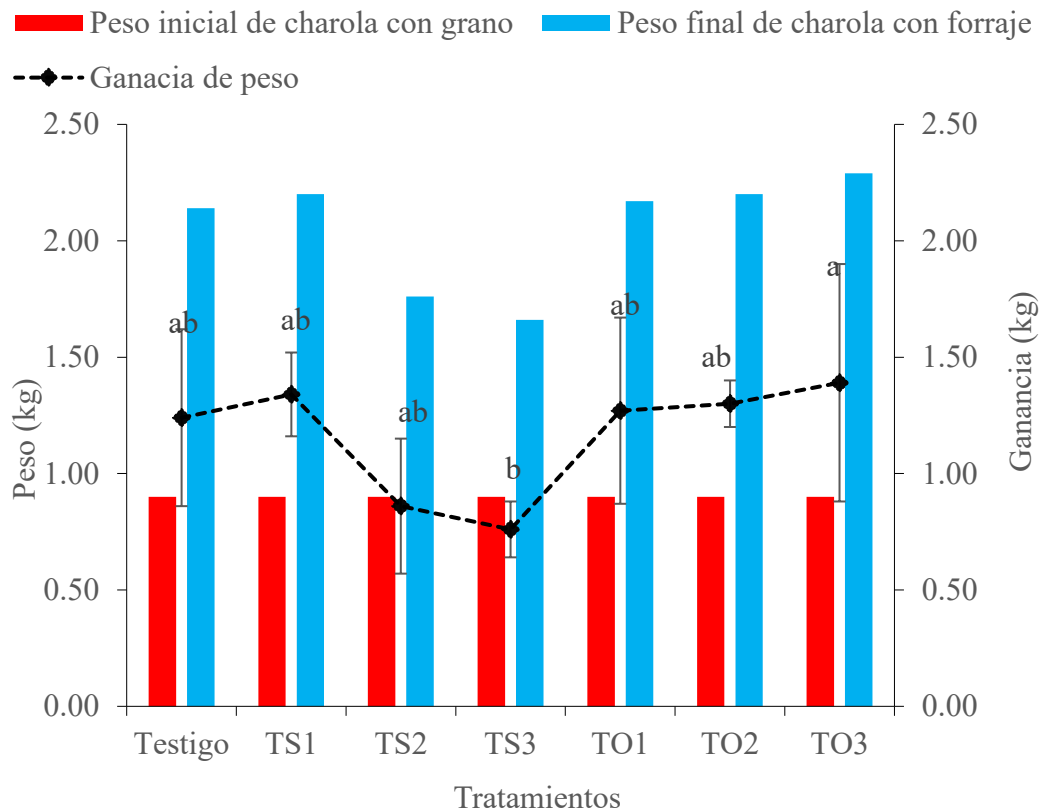


Figura 23. Ganancia en peso de charolas con tratamientos sometidos a los bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.

3.5 Longitud proporcional de tamaño de raíz

La variable longitud de raíz agrupada en intervalos proporcionales, como se observa en la figura 25, de los cuatro intervalos proporcionales, los tratamientos orgánicos TO1, TO2 Y TO3, presentaron mayores proporciones de longitud de raíz por encima de entre 6-10 cm, incluso, los tratamientos TO1 y TO3 tuvieron de 5 a 10% tamaños de raíz superiores a los 15 cm, lo que refleja una buena efectividad del bioestimulante. Contrariamente, los tratamientos sintéticos, TS1, TS2 y TS3, incluso el testigo, concentraron sus mayores proporciones en tamaño de raíces de entre 0-5 cm y 6-10 cm, lo que se explica cómo tratamientos menos eficientes (Figura 25).

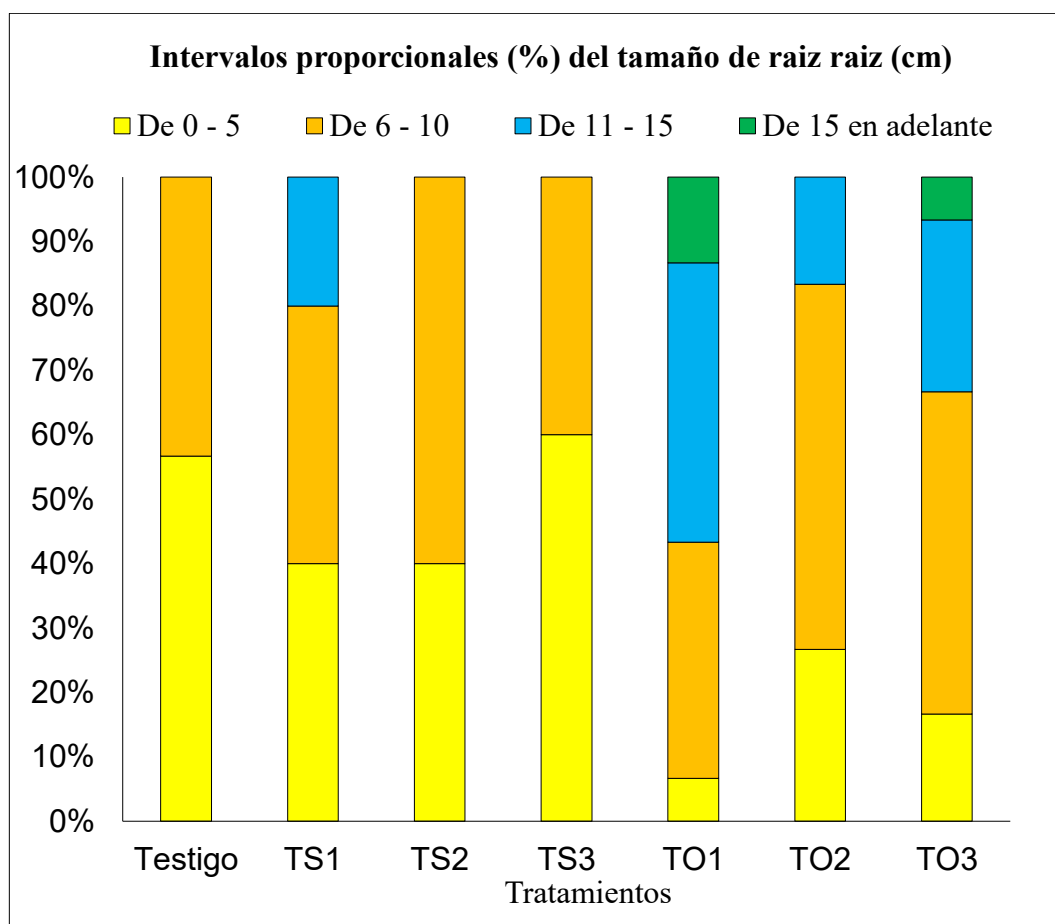


Figura 24. Intervalos proporcionales del tamaño de raíz, tratado con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.

3.6 Longitud proporcional de tamaño de tallo

Por su parte, la variable longitud de tallo agrupado en intervalos proporcionales, se muestran en la figura 26. En este caso, de seis intervalos proporcionales, los tratamientos tendientes a concentrar mayor longitud de tallo, fueron TS1 y TO1, ya que las proporciones de tamaños amplios fueron mayores, lo que realza la importancia de las dosificaciones empleadas, por lo que tamaños de tallo superiores a los 25 cm, se presentó en estos tratamientos en más del 10% de las plantas muestreadas. En el tratamiento testigo y el TS3, las mayores proporciones se presentaron en los tamaños de tallo pequeños, de 0-5 y de 6 a 10 cm, por lo que estos tratamientos no respondieron positivamente en esta variable (Figura 26).

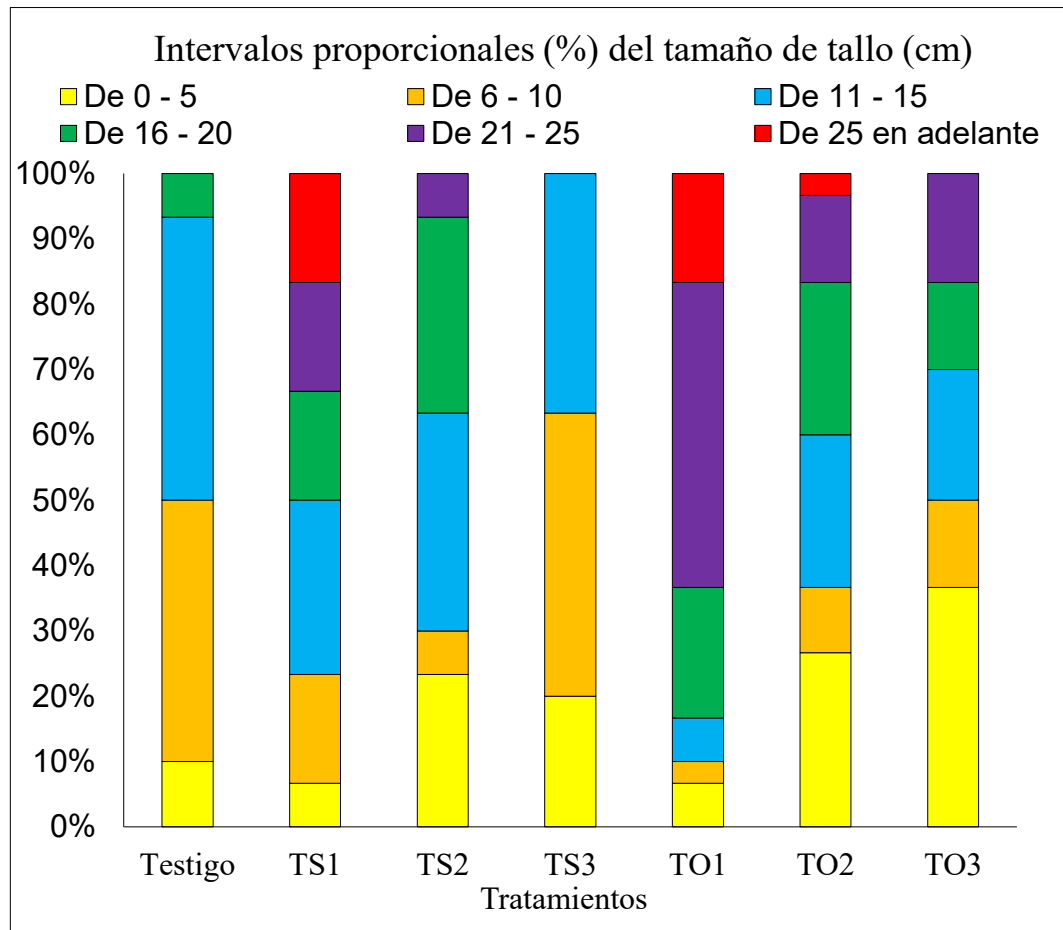


Figura 25. Longitud proporcional del tamaño de tallo, tratado con bioestimulantes. Apatzingán, Michoacán.

3.7 Discusión

Este proyecto toma en consideración el planteamiento de sostenible al realizar el cálculo de agua de riego contra el gasto de agua en riego para realizar forrajes convencionales, los hidropónicos llevan un gran margen de ahorro lo cual lo convierte en sostenible debido a que toca la variable ecológica y por supuesto que puede ser rentable al poder generar ahorros en gasto económico en riego y a su vez en la rapidez de desarrollo que para SAGARPA 2021 considera que el desarrollo de los FVH se da en 12 a 14 días y nuestros FVH se desarrollan en 7 días por eso aseguramos que es precoz y aunado a ello agregamos el desarrollo en elongación de los mismos a los cuales mismo SAGARPA menciona que los de ellos toman a 26 o 28 cm y los ganaderos aseguran que el mejor tamaño de tallo es de 15 a 20 cm los cuales la vaca o res toma con su lengua y arrastra a su hocico con mayor facilidad.

En cuanto a los sólidos solubles los FVH sintéticos producen una dulzura la cual es agradable al paladeo de los animales lo cual permite que aumenten su ingesta y con ello también la gran cantidad de humedad o agua que contiene los FVH que es mayor a 70% lo cual indica que se aminora la necesidad de los animales de exigir beber agua en tiempo de estiaje o secas.

Al hablar de saludable se desarrolló una técnica de lavado con cal agrícola en el último de los riegos con ello evitando la proliferación de hongos los cuales son los causantes de las diarreas o vómitos en los animales.

Aunque es sabido que esta tecnología es reconocida en el mundo, por sus múltiples cualidades con fines en la alimentación del ganado y su efecto en el cambio climático, su experimentación documentada es escasa, ya que la estrategia de producción del forraje verde hidropónico en diferentes especies vegetales aun y cuando sigue un patrón similar, todavía sigue siendo perfectible para hacerla eficaz y eficiente, algunos reportes lo respaldan (Andino *et al.*, 2023; Mejia y Oreyana, 2019; Salas-Pérez *et al.*, 2010; Vargas-Rodríguez, 2008). Así, contrastando los resultados obtenidos, partiendo de las variables de desarrollo, tanto las variables longitud de tallo y longitud de raíz, el conjunto de tratamientos orgánicos (TO1, TO2

y TO3) fueron superiores al conjunto de tratamientos sintéticos e incluso al testigo, cuyos valores promedio fueron de 14.65 cm y 9.22 cm de longitud de tallo y raíz, respectivamente, en cambio, los tratamientos sintéticos (TS1, TS2 y TS3) obtuvieron valores promedio de 12.54 cm y 6.03 cm de longitud de tallo y raíz, respectivamente.

Lo anterior refleja un efecto importante en los tratamientos orgánicos, y fueron más eficaces que los sintéticos. Al respecto, Salas-Pérez *et al.* (2010), evaluaron el efecto del tipo de fertilización orgánica (te de compost) y sintética, además de otros factores de estudio, encontraron una respuesta similar en la eficacia del factor de la fertilización orgánica, sobre la fertilización sintética en el conjunto de variables medidas. Por su parte, González *et al.* (2015), quienes evaluaron la producción de forraje verde hidropónico basado en el maíz sometido a dosis de silicio, la longitud de tallo alcanzó 14.48 cm con la dosis de 0.025 ml L⁻¹, a diferencia de niveles más altos de silicio suministrados, lo que asemeja la tendencia del resultado obtenido en los tratamientos sintéticos, con ello se confirma que también es posible el desarrollo de plantas a través de soluciones nutritivas cuya base sea nutrientes sintéticos.

Por su parte Morales *et al.* (2020), con el propósito de producir forraje verde hidropónico en otras especies vegetales, reportaron las mayores alturas en trigo con 17,67 cm y en avena en avena con 82,78 cm, sometidos bajo condiciones de campo abierto. En cebada, Quispe *et al.* (2016), evaluaron niveles de azufre, reportaron la mayor altura de tallo de 14.61 ± 1.38 cm influida por la adición de azufre. Como se pudo observar, todo es un campo aun explorable, pues como lo señala Vargas-Rodríguez (2008), es necesario enfocar más trabajos en producción de forraje hidropónico e implementar más variedades de cultivos, dado que la mayoría de las investigaciones se centran sobre el maíz, y es importante brindarles más opciones a los productores.

A su vez, la variable contenida de humedad los resultados obtenidos fueron notorios, como se pudo observar, la tendencia entre los conjuntos de tratamientos fue diferente, es decir, sobresalieron los tratamientos orgánicos con 70% en promedio, sobre los tratamientos sintéticos con 68% en promedio (Figura 22). Al respecto, en un estudio realizado por Salas *et al.* (2010), donde evaluaron los factores fertilización, genotipo y días a cosecha sobre diferentes variables productivas y cualitativas del forraje verde hidropónico en maíz. Particularmente el resultado del factor fertilización, tanto orgánico (te de compost) como sintético (solución

nutritiva) no reflejó diferencias estadísticas, cuyos valores fueron de 81%. Estos resultados muestran un comportamiento semejante al reportado en el presente estudio, aun y cuando numéricamente fueron mayores. Dado que el forraje verde hidropónico es una tecnología de producción de biomasa vegetal, que se obtiene a partir de la germinación y crecimiento de semillas de cereales, que se producen en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad). Según Juárez-López *et al.* (2013), señalan que el equivalente a 8 L de agua, se promueve un kg de materia seca, por lo que se considera el 75% del contenido de humedad, lo que coincide con lo reportado.

En lo respectivo a la variable materia seca, nuestros resultados fueron marcados por el efecto de los tipos de fertilización suministrada, y pudo observarse con mayor claridad en este caso por el efecto del tratamiento sintético. Algunos reportes coinciden en parte con lo encontrado, por ejemplo, en un estudio realizado por Salas *et al.* (2010), en el que evaluaron el tipo de fertilización, el genotipo y los días a cosecha sobre variables productivas y cualitativas del forraje verde hidropónico de maíz, particularmente el resultado nutricional, tanto orgánico (te de compost) como sintético (solución nutritiva) no reflejó diferencias estadísticas, cuyos valores fueron de 27.22 y 27.41 kg m², respectivamente.

Estos resultados difieren a los reportados en el presente estudio, ya que los tratamientos orgánicos tendieron a ser superiores a los tratamientos sintéticos, pues arrojaron valores entre 1.27 y 1.39 kg por muestra, en cambio los tratamientos sintéticos arrojaron valores entre 0.86 y 1.34 kg por muestra. Por su parte, Andino *et al.* (2023), evaluaron el efecto del uso de tres dosis de “biol” en la producción de forraje verde hidropónico de maíz. Encontraron que el tratamiento nominado “biol” 30% más agua 70%, influyó de manera positiva en la variable materia seca, cuyo valor fue de 18%.

Aunque es importante señalar que el tratamiento mencionado como “biol”, aun y cuando es orgánico, no se señala su composición. Por su parte, Morales *et al.* (2020), al comparar la producción de forraje verde hidropónico de avena y el trigo, evaluados a campo abierto, obtuvieron una producción media de 3.10 kg m² de materia seca.

Lo anterior refleja que el uso de cereales con fines de generación de materia seca puede variar entre especies, Vargas-Rodríguez (2008), evaluó tres forrajes, maíz, sorgo y arroz, aunque la respuesta en las diferentes variables medidas difiere entre especies, el arroz resultó ser la especie con contenidos de materia superiores de 15,82%, a diferencia del maíz y sorgo que obtuvieron solo 11.54% y 11.48 %, respectivamente.

En la variable sólidos solubles fue interesante el comportamiento de los tipos de nutrición proporcionada a través de los tratamientos probados, ya que se pudo apreciar una influencia por el tipo de nutrición de los tratamientos sintéticos, ya que fueron más dulces, lo que podría influir en el gusto por el consumo de los animales.

Cabe señalar que en los reportes no se menciona la medición de esta variable de forma clara, sin embargo, algunos autores sugieren la combinación del forraje verde hidropónico a base de maíz con otras especies vegetales como la alfalfa henificada bajo diferentes proporciones, lo anterior para generar un sabor más deseable en la alimentación de cabras y su evaluación en la calidad de leche producida (García-Carrillo et al., 2013). También, el periodo de deshidratación de maíz influye en la preferencia por el consumo de conejos, ya que, al suministrar forraje verde hidropónico de maíz, deshidratado entre 24 y 36 h más el balance paletizado mejora la preferencia de consumo, además de la ganancia en peso de conejos (Sánchez et al., 2010).

Así mismos los reportes sobre la concentración de azúcares son considerablemente mas altos a menor edad (12 días) de los forrajes y conforme son más longevos (18 días) disminuye su concentración de los mismos, lo cual indica que son menos atractivos para el animal (Bach. Delgado 2020) y esto concuerda con los resultados obtenidos en nuestros tratamientos los cuales fueron cosechados a los 7 días.

Sobre la variable integrada ganancia en peso los tratamientos evaluados respondieron positivamente a la adición de los tratamientos sintéticos u orgánicos, ya que con ello se genera masa foliar, la cual es el propósito del presente estudio. Al respecto Vargas-Rodríguez (2008), determinó que el sorgo genera más en biomasa fresca, pero su nivel de fibra puede inducir a una reducción en el consumo y en el aprovechamiento del mismo.

En cambio, el maíz es más succulento, y con mayor concentración de energía. Respecto al arroz, genera un rendimiento biomasa bajo a pesar de que su contenido porcentual de materia seca sea más alto. Lo anterior, coincide con generar un material robusto, pero que pueda ser apetecible por su calidad, como lo mostró el maíz influenciado por la nutrición proporcionada.

Sobre las variables longitud proporcional del tallo y raíz, el presente estudio, nos dio una respuesta basada en los tratamientos probados, lo que permite determinar el tipo de nutrición, para futuros trabajos. Los trabajos reportados sobre la temática, no consideran la medición de estas variables, a pesar de su gran importancia para buscar los más amplios tallos determinados por la nutrición.

IV. CONCLUSIONES

La producción de forraje verde hidropónico es una opción eficaz para suministrar la ingesta a los animales bovinos en periodo de escasas de vegetación natural. Los tratamientos probados respondieron positivamente en la tasa de desarrollo inicial de maíz. El conjunto de tratamientos orgánicos, superó en la mayoría de las variables al conjunto de tratamientos sintéticos. Dentro de los tratamientos orgánicos, la dosis 40 ml L⁻¹, fue la que mejor respondió.

RECOMENDACIONES

Trabajar con el sector ganadero que sean ellos los interesados ya en establecer mallas sombras de producción para el ensayo in situ de engorda de animales.

Se realiza la propuesta de comenzar a experimentar con las variables con mayor resultado las cuales posiblemente mediante una combinación en tiempos se podrían resultar mejores FVH en menor tiempo y trabajar con una mejorada técnica en evitar proliferación de hongos.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Araya Villalobos, J.L. (2010). Los Minerales en la alimentación del ganado bovino. San Jose Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
2. Andino, L., Chuquin, M. y González, K. 2023. Efecto del uso de tres dosis de biol en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) en la granja experimental Mishilí. Reincisol. 2(4): 146-160. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V2\(4\)146-160](https://doi.org/10.59282/reincisol.V2(4)146-160).
3. Bach. Delgado Burga, Yahaira Vaina (2020). Edad de cosecha y concentración de azúcar en el Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque. Tesis. Ingeniero Zootecnista. Facultad de Ingeniería Zootecnia, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayaque. Perú, 65 p.
4. Baixauli Aguilar. (2002). Cultivos sin suelo de hortalizas: Principales sustratos Empleados, características y propiedades .1ra ed. Valencia, España, Generalitat Valenciana. 110 P. Serie Divulgación Técnica. N° 53.
5. Bedolla-Torres, M. H., Palacios Espinosa, A., Palacios, O. A., Choix, F. J., Ascencio Valle, F. de J., López Aguilar, D. R., Espinoza Villavicencio, J. L., de Luna de la Peña, R., Guillen Trujillo, A., Avila Serrano, N. Y., & Ortega Pérez, R. (2015). La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz .*revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.04.002>
6. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. (2001). Manual técnico forraje verde hidropónico, TCP/ECU/066 (A) “Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA” OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE Santiago, Chile 200124(1):169-176.
7. García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera. J. M., Preciado-Rangel, P., Romero-Paredes. J. (2013). Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):169-176.

8. García, j. I. (2021). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*zea mays* L.), cebada (*hordeum vulgare* L.) Y avena (*avena sativa* L.) En Temascaltepec, México en época de verano e invierno.
9. Gonzáles Díaz, J. E., & García Reyes, M. A. (2015). Evaluación de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en invernadero no convencional, La Trinidad, Estelí. Universidad Nacional Agraria.
10. González, M. E. Ceballos, M. J., Benavides, B. O. 2015. Producción de forraje verde hidropónico de maíz *Zea mays* L. en invernadero con diferentes niveles de silicio. *Revista de Ciencias Agrícolas* 32 (1): 75-83.
11. Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Ríos-Rincón F. G., Reyes-Estrada, O. & Bernal-Barragán, H. (2010). Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia*, 35(4), 284-289.
12. Juárez-López, P., Morales-Rodríguez, H. J., Sandoval-Villa, M., Danés, A. G., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R., Aguirre-Ortega, J., Alejo-Santiago, G., & Ortiz-Catón, M. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. 13, 11.
13. León, Jorge (2000). *Botánica de los cultivos*, 3ra. Ed. Agro américa, Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA). San José Costa Rica. 522 p.
14. López Pascua, Paula Elieth and Mcfield García, Seydi Esther (2013) Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) variedad NB6, en un invernadero no tradicional. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, UNA.
15. Martínez, G. M., & Romero, R. A. A. (2005). Análisis económico de la producción de forraje verde hidropónico. *La ganadería en la Seguridad*, 245.
16. Magaña Rodríguez José Alfredo. 2023. Evaluación del efecto del ácido

- giberélico (AG3) en la propagación y desarrollo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema hidropónico recirculante con sustrato en Apatzingán, Mich. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán.
17. Mejía, C. H. J., Orellana, N. F. S. 2019. Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 5(9): 1103-1120.
 18. Morales Sinchire, D. B., Jiménez Álvarez, L. S., Burneo Valdivieso, J. I., & Capa Mora, E. D. (2020). Ciencia y tecnología agropecuaria , 21 (3), 1-16 [http://doi.org/Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. Ciencia & Tecnología Agropecuaria, 21\(3\), 1-16. \[https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386\]\(https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386\)](http://doi.org/Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. Ciencia & Tecnología Agropecuaria, 21(3), 1-16. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386)
 19. Morales, S. D. B, Jiménez, A. L. S., Burneo, V. J. I., Capa, M, E. D. 2020. Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 21(3): e1386.
 20. Ovando, C. E. G. (2009). Metodología para el control de hongos y bacterias en sistemas de producción de forraje verde hidropónico. Centro de Investigación en Química Aplicada.
 21. Paliwal, R. L. (2001). Introducción al maíz y su importancia. FAO.
 22. Pozo-Rosales, C. O. (2021). Evaluación de la producción de biomasa y composición nutricional del forraje verde hidropónico *Zea mays* frente a la aplicación de silicio, Si. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.
 23. Quispe, C. A., Paquiyaui, Z., Ramos, Y. V., Contreras, J. L., Véliz, M. A. 2016. Influencia de niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 27(1): 31-38.
 24. Rebollar Romo Eduardo. 2010. Evaluación de diferentes materiales de plástico en substitución de charolas convencionales utilizadas en la obtención

de forraje verde hidropónico. Tesis de licenciatura Facultad de veterinaria y zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

25. Salas-Pérez, L, Preciado-Rangel, P, Esparza-Rivera, J. R. de V., Álvarez-Reyna, P, Palomo-Gil, A., & Rodríguez-Dimas, N. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. 7.
26. Sánchez Del Castillo, F., Moreno Pérez, E. del C., Contreras Magaña, E., & Morales Gómez, J. (2013). Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(4), 35-43.
27. Sánchez, L. A., Meza, C. A., Álvarez, T. A., Rizzo, Z. L., Guadalupe, P. A. 2010. Forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) deshidratado en el engorde de conejos Nueva Zelanda (*Oryctolagus cuniculus*). Ciencia y Tecnología. 3(2): 21-23.
28. Sarzosa, M., Gabriel, E., Calle, O., Stalin, R., Valdivieso, S., & Benjamín, M. (2022). Efecto del biol de estiércol de conejo en el desarrollo del forraje verde hidropónico de maíz. 107.
29. Vargas Rodríguez, C. F. (2007). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana, 19(2), 233. <https://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>