

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RENDIMIENTO Y CALIDAD BROMATOLOGICA DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays*) CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA É
INORGANICA

Tesis

Que presenta REGINO VASQUEZ MONTIEL

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Mayo 2024

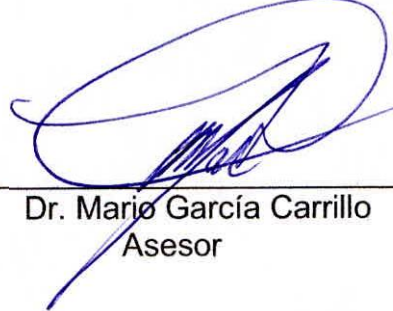
RENDIMIENTO Y CALIDAD BROMATOLÓGICA DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays*) CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA É
INORGANICA

Tesis


Elaborada por REGINO VASQUEZ MONTIEL como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Anselmo González Torres
Asesor Principal




Dr. Mario García Carrillo
Asesor



Dr. Eduardo Aron Flores Hernández
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila

Mayo 2024

AGRADECIMIENTOS

Al todo poderoso por la salud y oportunidades que me brinda día a día.

A mi familia, padres, hermanos, amigos, compañeros, maestros y asesores, que estuvieron conmigo durante este proceso de formación.

A la Universidad Autónoma agraria Antonio Narro UL y al Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuarias por la oportunidad que me dieron para poder seguir con mi formación académica.

Al Dr. Rubén López Salazar y al Dr. Lucio Leos Escobedo.

A la M.C. Julieta Ordoñez por su apoyo a realizar los análisis bromatológicos y por los materiales para llevar a cabo el estudio bioquímico de esta investigación.

También un agradecimiento muy especial a CONAHCYT.

DEDICATORIA

A todos los involucrados para que hoy termine mis estudios de maestría.

A mis padres; Clara Montiel tejada y Esteban Vasquez Suarez, a quienes con mucho esfuerzo siempre me apoyaron en los momentos más difíciles.

A mis hermanos; Luisa Vasquez Montiel, Celso Vasquez Montiel, Filoteo Vasquez Montiel, Alicia Vasquez Montiel y Esteban Vasquez Montiel, porque siempre estuvieron al pendiente de mi durante estos dos años de maestría.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS | i |
| DEDICATORIA | ii |
| INDICE DE CUADROS | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vi |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRAC | viii |
| I INTRODUCCIÓN | 10 |
| II REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 Pastos y Forrajes | 3 |
| 2.2 Hidroponía..... | 4 |
| 2.3 Ventajas | 5 |
| 2.4 Desventajas..... | 6 |
| 2.5 Tecnologías en la producción de germinados y brotes tiernos | 6 |
| 2.6 FVH | 11 |
| III MATERIALES Y MÉTODOS..... | 13 |
| 3.1 Área de estudio | 13 |
| 3.2 Material vegetativo | 14 |
| 3.3 Metodología Producción FVH..... | 14 |
| 3.5 Remojo de la semilla | 14 |
| 3.6 Siembra en charolas | 14 |
| 3.7 Riego | 14 |
| 3.8 Fertilización | 15 |
| 3.9 Cosecha | 16 |
| 3.10 Variables de Rendimiento | 16 |
| 3.11 Variables de calidad | 17 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.12 Diseño experimental..... | 17 |
| IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 17 |
| 4.1 Variables de rendimiento..... | 17 |
| 4.1.1 Peso Fresco..... | 17 |
| 4.1.2 Peso Seco | 18 |
| 4.2 Variables de Calidad | 19 |
| 4.2.1 Materia Seca..... | 20 |
| 4.2.2 Extracto Etéreo | 20 |
| 4.2.3 Cenizas..... | 21 |
| 4.2.4 Proteína Cruda | 22 |
| 4.2.5 Fibra Detergente Neutro | 23 |
| 4.2.6 Fibra Detergente Acido | 24 |
| V CONCLUSIÓN..... | 30 |
| VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 31 |
| VII ANEXOS..... | 39 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1 Composición bromatológica de diferentes semillas cosechadas bajo el sistema de Forraje verde Hidropónico (FVH) (Espinosa, 2019)..... | 12 |
| Cuadro 2 Comparación entre FVH de maíz en relación a la alfalfa, Maíz, Sorgo y Trigo producidos convencionalmente(Mejía-Kerguelén, Tapia-Coronado, Atencio-Solano, & Cadena-Torres, 2019), (Morales-Sinchire, Jiménez-Álvarez, Burneo-Valdivieso, & Capa-Mora, 2020), (Valiente, Álvarez, Alonso, & Corrales, 2016)..... | 12 |
| Cuadro 3 Composición química de los fertilizantes aplicados en la producción de forraje verde hidropónico de maíz en invernadero..... | 15 |
| Cuadro 4 Distribución de los tratamientos y tipos de fertilización | 16 |
| Cuadro 5 Análisis bromatológico de FVH de maíz producido con diferentes tipos y dosis de fertilización | 25 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Tecnologías de producción hidropónica | 8 |
| Figura 2 Comparación de medias para la variable de Peso Fresco (PF) de Forraje Verde Hidropónico (FVH) de Maíz utilizando diferentes Fuentes y Dosis de fertilización..... | 18 |
| Figura 3 Comparación de medias para la variable de Peso Seco (PS) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de Maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización..... | 19 |
| Figura 4 Comparación de medias para la variable Materia Meca (MS) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización..... | 20 |
| Figura 5 Comparación de medias para la variable Extracto Etéreo (EE) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización..... | 21 |
| Figura 6 Comparación de medias para la variable cenizas (CN) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización..... | 22 |
| Figura 7 Comparación de medias para la variable Proteína Cruda (PC) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización..... | 23 |
| Figura 8 Comparación de medias para la variable Fibra Detergente Neutro (FDN) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización..... | 24 |
| Figura 9 Comparación de medias para la variable Fibra Detergente Acido (FDA) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización..... | 25 |

RESUMEN

Rendimiento y calidad bromatológica de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) con fertilización orgánica e inorgánica

Regino Vasquez Montiel

Para obtener el grado de Maestro en ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Anselmo González Torres

Director de tesis

La demanda de pastos y forrajes va más en aumento en la actualidad, sin embargo, pocas especies cumplen con las características nutricionales para cubrir las necesidades alimenticias, para que los animales que la consumen logren expresar su máximo desarrollo, en este sentido se han desarrollado, nuevas alternativas de producción de forraje con altos valores nutraceuticos y de producción más rápida y práctica, como es la producción de forraje verde hidropónico (FVH). Por este motivo la investigación presentada se realizó con el objetivo de evaluar el rendimiento y composición Bromatológica del FVH de maíz, utilizando fertilización orgánica a base de lixiviado de vermicompost y fertilización inorgánica. Los tratamientos aplicados fueron: T1 100% FO; T2 50% FO; T3 100% FI; T4 50% FI; T5 50%FO-50%FI; T6 Testigo, el cual fue irrigado únicamente con agua de la llave. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos en el FVH producidos con diferentes tipos de fertilizante mostraron notables diferencias estadísticas entre los tratamientos. De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 5) podemos observar que el tratamiento T1 100%FO obtuvo los valores más altos en 9 de las 10 variables evaluadas; Peso Fresco (PF), Peso seco (PS), Extracto Etéreo (EE), Ceniza (CN), proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Acido (FDA) en comparación a los demás tratamientos, sin embargo, el tratamiento T5 50%FO-50%FI presento el valor más alto en la

variable Materia Seca (MS). Por su parte los tratamientos irrigados con 100% de FI también mostraron resultados muy altos en las variables de PS, CN, FDN y FDA, destacando solo un poco por debajo a los valores obtenidos por el T1. Con esto se concluye, que el uso de fuentes de fertilización orgánica a base de lixiviado de vermicompost, puede reemplazar el uso de fertilizantes de síntesis química para producir FVH con alta calidad bromatológica.

Palabras clave: Calidad Bromatológica, fertilización orgánica, Forraje Verde Hidropónico, *Zea mays*.

ABSTRAC

Yield and bromatological quality of hydroponic green forage of maize (*Zea mays*) with organic and inorganic fertilization

Regino Vasquez Montiel

To obtain the Master of Science degree in Agricultural Production

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Anselmo González Torres

Thesis Director

The demand for pasture and forage is increasing nowadays, however, few species meet the nutritional characteristics to cover the nutritional needs, so that the animals that consume it can express their maximum development. In this sense, new alternatives for forage production with high nutraceutical values and faster and more practical production have been developed, such as the production of hydroponic green fodder (HVF). For this reason, the research presented here was carried out with the objective of evaluating the yield and bromatological composition of corn FVH, using organic fertilization based on vermicompost leachate and inorganic fertilization. The treatments applied were: T1 100% FO; T2 50% FO; T3 100% FI; T4 50% FI; T5 50%FO-50%FI; T6 Control, which was irrigated only with tap water. A completely randomized design with five replications per treatment was used. The results obtained in the FVH produced with different types of fertilizer showed notable statistical differences among treatments. According to the results obtained (Table 5), we can observe that treatment T1 100%FO obtained the highest values in 9 of the 10 variables evaluated; Fresh Weight (FP), Dry Weight (DW), Ethereal Extract (EE), Ash (CN), Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF) and Acid Detergent Fiber (ADF) in comparison to the other treatments, however, treatment T5 50%FO-50%FI presented the highest value in the Dry Matter (DM) variable. The treatments irrigated with 100% CF also showed very high results in the variables PS, CN, NDF and FDA, only slightly below the values obtained by T1. This leads to the conclusion that the use of organic fertilization sources based on

vermicompost leachate can replace the use of chemically synthesized fertilizers to produce FVH with high bromatological quality.

Key words: Bromatological quality, organic fertilization, hydroponic green forage, *Zea mays*.

I INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la FAO (2001) el FVH viene del brote y germinación de semillas de especies forrajeras, el cual su ciclo de producción dura entre 10 y 14 días, se caracteriza por su fácil y rápida producción, ya sea en espacios confinados y acomodados de manera vertical como pueden ser bodegas subterráneas, en factorías o en invernaderos convencionales, o bien en sistemas de producción

con la más alta tecnología donde se pueden controlar factores abióticos indispensables para realizar su producción.

Birgi, Gargaglione, and Utrilla (2018) describen al FVH como un suplemento que se puede adicionar a los animales ya que su cosecha es rápida y práctica, por otra parte, es palatable hacia los animales y el exceso de producciones puede conservar en forma de silo. El FVH al ser brotes tiernos puede ser aprovechado completamente por los animales en comparación con otros cultivos donde únicamente se puede aprovechar tallos y hojas (Acosta Lozano, Lima Orozco, Castro Alegría, Avellaneda Cevallos, & Suárez Reyes, 2016). EL FVH al ser prácticamente brotes tiernos se puede producir de numerosas especies, destacando el maíz, trigo, sorgo y avena.

El uso del FVH de maíz, en la alimentación de rumiantes y no rumiantes ha demostrado beneficios en la reproducción, nutrición y producción, además de que disminuye la probabilidad de que los animales contraigan enfermedades gastrointestinales (Cisneros Saguilán et al., 2020).

Muchos son los beneficios los que se le atribuyen a la ingesta de FVH de maíz, sin embargo lo que la caracteriza es su alto valor nutraceútico, su alto contenido de minerales, proteínas y vitaminas, lo que aporta a los animales un estímulo para su crecimiento y desarrollo (Castillo & Núñez, 2019).

Uno de los principales beneficios a la hora de producir FVH es el marcado ahorro en el consumo de agua, ya que, en comparación con la producción convencional de otros forrajes, se logran una maximización de hasta 8 veces. Por eso resulta de suma importancia la adaptación de alternativas viables de producción de forraje, que aunado a estos beneficios nos permita aumentar el rendimiento y calidad, con los más significativos daños de contaminación a los suelos, aguas y aire que implican la utilización de fertilizantes de síntesis inorgánica (Lopez Aguilar, Murillo Amador, & Rodriguez Quezada, 2009) (Elmulthum-Nagat et al., 2023).

Las malas prácticas, el uso excesivo de la fertilización sintética, aunado a las malas prácticas de riego a la hora de producir pastos y forrajes para alimentación animal han ocasionado un aumento descontrolado de la contaminación del ambiente (Grigas, Kemzuraite, Steponavicius, Steponaviciene, & Domeika, 2020). Recientes investigaciones, apuntan a la búsqueda de nuevas alternativas de producción de forrajes, que alcancen altos valores bromatológicos, que causen menos contaminación y que mantengan la elevada producción (Ramírez Viquez & Soto Bravo, 2017). En este sentido la producción de pastos y forrajes con sistemas de producción y fertilización orgánica a base de lixiviado de vermicompost se ha utilizado con el fin de economizar los gastos de producción que conlleva el uso de fertilización de síntesis (Valverde, Mera, Castro, & Gabriel-Ortega, 2017).

El uso de fuentes de fertilización orgánica ha demostrado el aumento en el rendimiento y calidad del FVH en comparación con la producción y fertilización con productos de síntesis (Ramírez Viquez & Soto Bravo, 2017). Sin embargo, no ha sido evaluado el rendimiento y calidad del FVH en combinación de ambas fuentes de fertilización, de ahí que surja el objetivo de esta investigación.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Pastos y Forrajes

La alimentación animal en el mundo se sustenta casi en su totalidad en los pastos y forrajes disponibles, los cuales conforman la forma de alimentación más económica para cubrir las necesidades alimenticias a los animales, sin embargo en la actualidad la degradación de los suelos, la contaminación ambiental y el acelerado crecimiento poblacional que ocupan cada vez más espacio para vivir

hacen que su producción sea cada vez más difícil sostener (Liu, Struik, Zhang, Jing, & Stomph, 2023).

La calidad de los pastos y forrajes se caracterizan por el potencial alimenticio de una planta para cubrir las necesidades corporales con el fin de que desarrollen su máximo potencial de aprovechamiento y producción de los animales que la consumen, sin embargo, son pocas las especies que cuentan con estas características, como son; alfalfa, sorgo, trigo, maíz, entre otras (Bonifaz, León, & Gutiérrez, 2018). Por otra parte, la fertilización y el manejo agronómico de estas especies hacen que sus cualidades nutraceúticas puedan elevarse notablemente (Elmulthum *et al.*, 2023).

En la actualidad, diversas investigaciones buscan alternativas que permitan la producción de forraje a partir de técnicas que reducen la contaminación tanto del agua como del suelo, la dependencia de fertilizantes de síntesis química, y sobre todo con las mismas características nutraceúticas que aportan los forrajes que se obtienen de los sistemas de producción convencional (Blanco-Capia, Colque-Pérez, & Rosales-Mendoza, 2019).

Diversas técnicas de producción de forraje sin la utilización de suelo se han desarrollado en los últimos años, de estas, la hidroponía es de las cuales se han obtenido mejores resultados ya que requiere menos insumos y tiene la ventaja de fácil producción de forraje en casi en cualquier condición y sin importar la estación del año (Abdula, 2022).

2.2 Hidroponía

El término Hidroponía, etimológicamente deriva del Griego, y está compuesta por dos vocablos: hidro = agua, ponos = trabajo o cultivo (Canovas, 1993). Se entiende a la hidroponía como un método de producir cultivos en el que las raíces son irrigadas con soluciones nutritivas donde los elementos esenciales que las plantas necesitan se encuentran en pequeñas cantidades en el agua, lo que hace diferente a la producción convencional que crecen sobre los campos, estos crecen en un sustrato inerte de origen vegetal o mineral o simplemente en agua (Beltrano & Gimenez, 2015).

Aunque el término hidroponía pareciera algo nuevo, y lo asociemos a cultivos novedosos y que requieren niveles tecnológicos muy sofisticados como invernaderos, la verdad es que esta técnica existe desde hace mucho tiempo, y se tiene registro que civilizaciones antiguas como China, India y Babilonia ya las utilizaban (Jones Jr, 1982).

En el año de 1929, William F. Gericked de nacionalidad Estadunidense, pasa de trabajos practicados en laboratorios a realizar ensayos a campo abierto, utilizando componentes a los que llamó “hidroponic-bassins” pero que poca importancia le dio. Para el año 1930, se detalló una manera más práctica, precisa y concisa del procedimiento utilizado al que hoy conocemos como hidroponía (Espinosa-Tulio, 1994)

Los primeros indicios de la utilización de la hidroponía en México no se pueden precisar, pero se puede aventurar que sería después del fin de la segunda guerra Mundial. A mediados del año de 1973 en la entonces Escuela Nacional de Agricultura y en los invernaderos La Paz en el estado de México, donde se empezaron a desarrollar algunas prácticas que asentaron las bases de la hidroponía en nuestro país (Espinosa-Tulio, 1994).

2.3 Ventajas

Una manera alterna de producción agrícola, con el fin de proteger los recursos y el ambiente, es como se ha visto a la hidroponía desde sus inicios. Entre las innumerables ventajas que la hidroponía ofrece, es el aumento de producción, desde el nivel de volumen hasta en cuestiones de calidad de productos, también permite la maximización en el uso de los insumos que se necesitan para la producción agrícola (Albuja, Andrade, Lucano, & Rodriguez, 2021). Al no estar en el suelo, se asegura una producción totalmente inocua, pues está libre de plagas y enfermedades, por otra parte, se aprovecha espacio, pues la producción hidropónica se puede realizar en factorías o niveles verticales, lo que reduce al mismo tiempo la necesidad de maquinaria agrícola por su fácil manejo, este sistema de producción permite la operación automatizada para los riegos,

intensidad de luz y temperaturas (Pertierra-Lazo, Balmaseda-Espinosa, & Villacrés-Matías, 2020).

2.4 Desventajas

Si bien podemos considerar que la producción hidropónica es un método que ofrece grandes cualidades a la hora de compararla con la producción convencional, también tiene algunos inconvenientes las cuales en su mayoría se asocian al ámbito económico a la hora de iniciar una producción a nivel comercial, en la mayoría de los casos para utilizar este sistema, se deben edificar depósitos o recipientes de plástico u otro elemento con alta durabilidad y en ocasiones es necesario construir instalaciones como malla sombra o cámaras de producción (Mohapatra, Mohapatra, Ekka, Behera, & Mohanta, 2019). Es necesario mantener los detalles más mínimos, pues a nivel producción los errores pueden causar perdidas irreparables, como a la hora de diluir correctamente los fertilizantes para riego (Ningoji et al., 2020).

Otro aspecto importante que se puede considerar como desventaja, es que se necesita conocimiento técnico de fisiología vegetal para atender las necesidades del cultivo a manejar, además de conocimientos de química orgánica e inorgánica para la nutrición vegetal a la hora de preparar soluciones nutritivas (Bekuma, 2019).

2.5 Tecnologías en la producción de germinados y brotes tiernos

En la actualidad la agricultura se enfrenta a innumerables retos, los cuales terminan por afectar directamente a la sustentabilidad de las personas en el planeta, por este motivo la alimentación se ve comprometida, y no se puede asegurar el abastecimiento de alimento para animales y humanos, es por ello, la implementación de tecnologías que aseguren la continuidad de la agricultura,

bajo sistemas protegidos (Loayza-Aguilar, Blanco-Capia, Bernabé-Uño, & Ayala-Flores, 2020).

En la búsqueda de nuevas tecnologías, se han acompañado nuevas prácticas de producción vegetal, que permitan la reducción de transporte de los productos agrícolas del campo a la ciudad, con esto reducimos la huella de carbono que se genera a partir de los combustibles fósiles de los vehículos que se encargan de abastecer las grandes ciudades que depende de la agricultura y la ganadería para alimentarse, en este contexto la agricultura urbana se ha desarrollado, acondicionando espacios que, a través del dominio de las condiciones de luz, agua y temperatura permitan la producción de especies vegetales de hoja, que sean óptimas para consumo humano y animal (Ávila Sánchez, 2019); (Albuja et al., 2021).

En la actualidad diversas tecnologías se han ido desarrollando, buscando adoptarse a las necesidades de producción de este mundo cada vez más cambiante, dentro de estas nuevas tecnologías destacan la agricultura vertical o como se conoce en inglés (Vertical Farming), la cual permite la producción de especies vegetales en sitios confinados, automatizados, lo que nos permite aprovechar y maximizar el espacio disponible y al mismo tiempo optimizando los recursos como agua, fertilizantes, tiempo de producción, en un sistema de producción cerrado y protegido (Roberts et al., 2020; Van Gerrewey, Boon, & Geelen, 2022).

La adaptación de nuevos sistemas de producción agrícola, tienen como objetivo principal, la producción de especies vegetales que se adecuen a estas nuevas técnicas, obteniendo así plantas que puedan alcanzar su máximo desarrollo, libres de plagas y enfermedades, y con una fertilización orgánica, que haga expresar su más alto valor nutraceútico y que sirva de alimento, tanto para consumo humano o bien para alimento animal (Beacham, Vickers, & Monaghan, 2019).

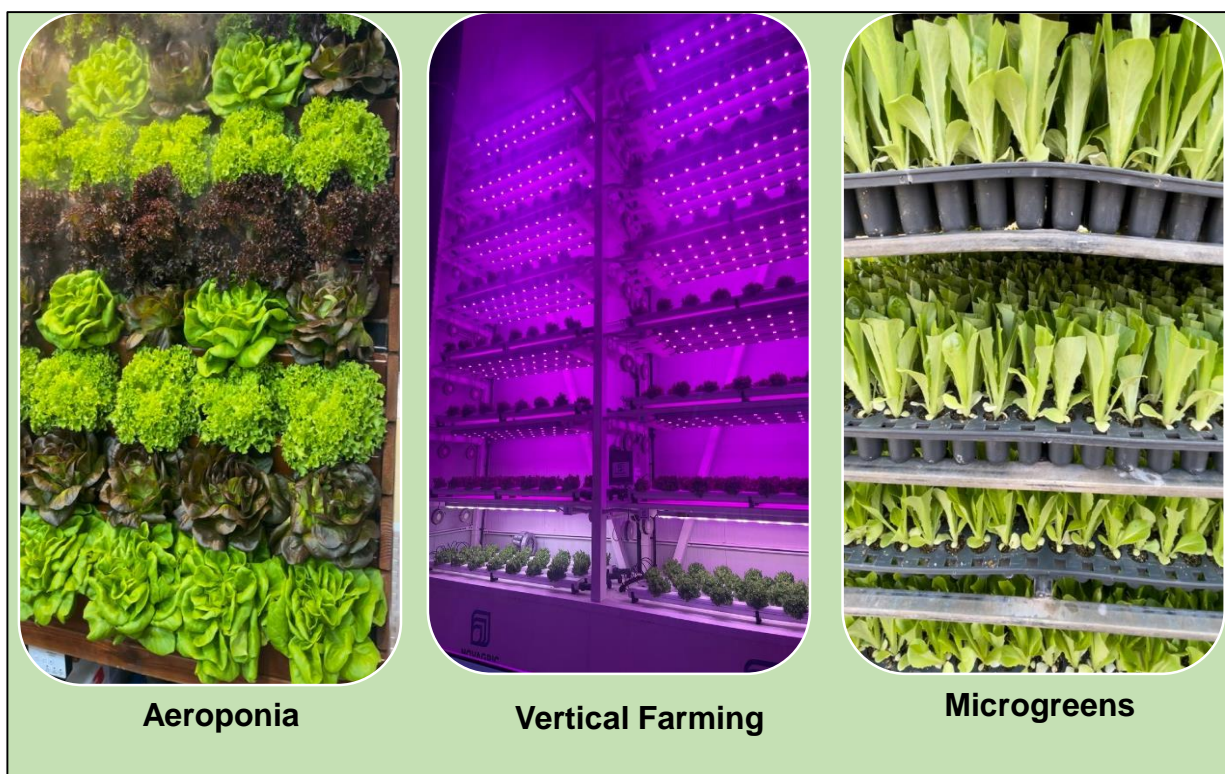


Figura 1 Tecnologías de producción hidropónica

La tecnología de producción de FVH en la actualidad se ha diversificado, tanto que se puede adaptar y reacondicionar aplicando nuevos métodos de producción como son los cultivos en agua, aeropónia, la producción de Microgreens, entre muchos más, que tienen como objetivo adaptarse a la sobre población urbana, reduciendo al mismo tiempo los espacios destinados a la producción agrícola convencional, en este sentido podemos asociar al FVH como una manera de producción de microvegetales (microgreens) los cuales se caracterizan por su práctica manera de producción, por la fertilización a través del riego, pero sobre todo por su alto valor nutritivo (Rajan, Lada, & MacDonald, 2019).

En la actualidad, producir FVH resulta ser una práctica muy aceptada por las personas, como un método de producción de forraje, ya que se puede adaptar de acuerdo a el nivel de recursos con que se cuente, y así asociarlo a algunos de los métodos de producción antes mencionados, sin embargo, aun contando

con diferentes formas y métodos de obtener brotes tiernos a partir de diferentes cultivos, existe la necesidad de brindar ciertas condiciones y recursos para que se obtenga una calidad de forraje que supla los requerimientos nutritivos de quienes las consumen, por este motivo, se ha realizado mucho énfasis en la calidad del agua de riego y el contenido de elementos nutritivos, buscando alternativas, orgánicas de nutrición, pero también alternativas biológicas (Alarcon-Camacho, Recharte-Pineda, Yanqui-Díaz, Moreno-LLacza, & Buendía Molina, 2020).

La fertilización orgánica, busca abastecer de los nutrientes necesarios a las plantas para que puedan expresar su máximo desarrollo, recapitulando un poco dentro de la historia de la agricultura, podemos encontrar que los primeros agricultores no tenían la necesidad de fertilizar, con el desarrollo de la agricultura, y la expansión mundial, se buscaron fuentes de fertilización a base de elementos sintéticos, pero lamentablemente, el uso desmedido de los mismos, y la poca información de los daños que provocaba, hicieron que el suelo, el agua y aire se contaminara al grado de erradicar completamente la vegetación y por ende la muerte de animales (Murillo-Montoya, Mendoza-Mora, & Fadul-Vásquez, 2020).

En la actualidad la agricultura convencional busca la sustitución de la fertilización a base de síntesis inorgánica, por la utilización de fuentes de fertilización orgánica, sin embargo, el modelo convencional de producción, no se ha modificado del todo, por lo tanto se siguen realizando investigaciones que prueben el uso de productos de abonos orgánicos a base de lombrices, ya que se ha encontrado los múltiples beneficios que tienen para transformar residuos vegetales, con esto ayudan a mineralizar compuestos directamente al suelo, son mejoradores del suelo, favorecen la actividad microbiana del suelo, contienen elementos promotores del crecimiento en los cultivos, entre muchos beneficios más, con esto podemos implementar el uso de estas alternativas para recuperar suelos que han sido afectados por el abuso de fertilizantes y pesticidas de síntesis (Ratsiatosika et al., 2024).

La utilización de abonos orgánicos, ha demostrado múltiples beneficios, no solo a la hora de aportar nutrientes a las plantas y al suelo, en este sentido, la fertilización orgánica favorece también la retención de la materia orgánica, mantener altos niveles de este elemento, nos permite estabilizar la estructura del suelo, permitiendo a su vez la subsistencia de especies de hongos, bacterias y microorganismos los cuales son indispensables para mantener un suelo sano y fértil, promoviendo así la porosidad del suelo que afecta directamente la retención de agua y el intercambio de gases, facilitando el ciclo del carbono y de otros elementos (Ochoa-Espinosa, Armenta-Calderón, Moreno-Salazar, Fernández-Herrera, & Ochoa-Meza, 2019).

El uso de fertilizantes orgánicos, por lo regular se usa en la agricultura convencional, y podemos encontrar diferentes tipos, des de los más básicos y económicos, hasta los más complejos y con alta eficiencia a la hora de ser absorbidos, sin embargo cuando hablamos de sistemas de producción más complejos como lo es la hidroponía, podemos apoyarnos en los fertilizantes orgánicos líquidos, los cuales pueden ser aplicados directamente sobre el agua de riego o vía foliar en bajas dosis (Luna-Fletes et al., 2021).

La FO en los cultivos hidropónicos han demostrado ser una viable alternativa, reduciendo así el daño que causa el uso de fertilización sintética, diferentes autores han encontrado el eficiente uso de fertilizantes líquidos orgánicos, aumentado las cualidades nutraceuticas de diferentes cultivos (Pedroso-Reynaldo & Pentón-Fernández, 2019).

Son muchas circunstancias las que afectan directamente la calidad del futo y desarrollo de las plantas, sin embargo en el caso del cultivo de tomate, el uso de FO ha incrementado el rendimiento, pero donde se ha observado mayor influencia es sobre la calidad nutraceutica y características organolépticas, destacando el aumento e intensificación del sabor, el aumento en el contenido de azucres (grados brix), permite una coloración más intensa, y sobre todo en el aumento de carotenoides, betacaroteno, ácidos orgánicos (Li, Lu, & Li, 2022); (González-Fuentes et al., 2021).

En la producción de FVH, la utilización de fuentes de FO, han resultado ser muy bien vistas, ya que se han obtenido valores de rendimiento y calidad muy altos y que son indispensables para ser considerados como un buen forraje (Narváez-Herrera & Guerrero-Guerrero, 2022). Elsallam, El-Moslamy, El-Al, and Zahran (2021) menciona que la FO a base de hongos endófitos en la producción de FVH aumenta notablemente todas las características bromatológicas, por lo que podemos añadir la biofertilización con organismos para reducir la dependencia de fertilización sintética.

En años recientes, la obtención de FVH ha tomado notable importancia alrededor del mundo, la demanda de alimentos sanos y nutritivos, han aorillado a las personas a producir este tipo de forraje en cantidades industriales, ya que han observado sus cualidades de producción, su valor energético a la hora de ser consumido y por su versatilidad para adecuarse a sistemas de producción ya existentes (Ahamed et al., 2023).

2.6 FVH

Es un sistema que permite la obtención de forraje verde y fresco a partir de la germinación de granos y semillas en cualquier época del año. Consiste generalmente en la germinación de cereales como maíz, trigo, sorgo o avena, aunque recientemente también se han utilizado semillas de leguminosas como: lentejas y soja (FAO, 2001) (Núñez-Torres & Guerrero-López, 2021). Su proceso de producción es relativamente corto (12-15 días) dependiendo la semilla utilizada y siempre y cuando se le den las condiciones adecuadas para que prospere como: luz, agua, temperatura (Nina-Luque & Fernández-Chávez, 2017).

El sistema de producción de FVH, viene a ser parte fundamental y de ayuda a los sistemas convencionales de producción de pastos y forrajes ya conocidos. En este sentido esta tecnología permite ser considerada como una forma más de obtener biomasa vegetal en épocas de escases de agua y donde los alimentos son limitados (Indira, Aruna, Kanthi, Kumar, & Reviews, 2020).

El forraje verde hidropónico ha demostrado ser un alimento nutritivo (cuadro 1), de fácil digestión, ya que se consume en fresco y del cual se aprovecha la totalidad de la planta, desde las raíces, tallos y hojas, se puede agregar directamente en la dieta de los animales, desde aves, rumiantes y demás, en cualquier época del año y en cualquier etapa de crecimiento de los animales (Espinosa, 2019) (Chethan et al., 2022).

Cuadro 1 Composición bromatológica de diferentes semillas cosechadas bajo el sistema de Forraje verde Hidropónico (FVH) (Espinosa, 2019).

| Parámetros | Unidad | Frijol | Maíz | Arroz |
|------------|--------|--------|-------|-------|
| Fibra | % | 24.35 | 24.82 | 24.42 |
| N | % | 4.10 | 1.76 | 1.59 |
| Proteína | % | 25.63 | 11.00 | 9.93 |
| Ca | % | 0.68 | 0.63 | 0.48 |
| P | % | 0.56 | 0.38 | 0.21 |
| K | % | 1.07 | 0.56 | 0.69 |

Una particularidad muy importante de los forrajes verdes hidropónicos es que tiene características nutrimentales similares en comparación con los forrajes convencionales (cuadro 1) lo que la posiciona como una alternativa a la alimentación animal (Bedolla-Torres et al., 2015). Como diferentes autores mencionan, se puede producir FVH a partir de diferentes semillas de cultivos, sin embargo, la semilla más utilizada a la hora de practicar este sistema es sin duda el maíz, por su alto valor nutraceútico, su rendimiento al momento de convertir kg de semilla a forraje verde y por su fácil manejo (Trevizan Rispoli & Challapa Moscoso, 2020).

Cuadro 2 Comparación entre FVH de maíz en relación a la alfalfa, Maíz, Sorgo y Trigo producidos convencionalmente (Mejía-Kerguelén, Tapia-Coronado, Atencio-Solano, & Cadena-Torres, 2019), (Morales-Sinchire, Jiménez-Álvarez,

Burneo-Valdivieso, & Capa-Mora, 2020), (Valiente, Álvarez, Alonso, & Corrales, 2016)

| Contenidos | Alfalfa | Maíz | Sorgo | Trigo | FVH Maíz |
|-------------------|----------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|
| MS % | 23.4 | 25.0 | 16.0 | 10.17 | 19.8 |
| PC % | 18.9 | 6.8 | 6.7 | 15.18 | 10.66 |
| FDN % | 38.0 | 51.9 | 58.5 | 49.00 | 33.5 |
| FDA % | 28.6 | 27.3 | 36.0 | 26.53 | 14.5 |

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El experimento se desarrolló en una cámara de germinación aislada dentro de bajo una estructura de Domo Geodésico, ubicada en La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro unidad laguna de Torreón, Coahuila, México, ubicada entre las latitudes 24°30' y 27° N, y 102°00' y 104°40' O, a una altitud de 1120m.

3.2 Material vegetativo

La semilla utilizada fue comercial (maíz tipo criollo) la cual tiene un porcentaje de germinación del 99%, esto con el fin de tener mayor uniformidad en los diferentes tratamientos.

3.3 Metodología Producción FVH

Para la producción del FVH de maíz, se siguió la metodología utilizada por Herrera-Torres et al. (2010) , la cual se desarrolla de la siguiente manera:

3.4 Lavado y desinfección de la semilla

en un recipiente con agua se lavó la semilla retirando basura y semillas que floten, ya que estas no resultan útiles, posteriormente en 20 litros de agua se desinfecto la semilla utilizando 10 ml de hipoclorito de sodio al 5%.

3.5 Remojo de la semilla

En un recipiente con 20 L de agua se dejó remojando la semilla durante 24h con el fin de hidratarlas. Transcurrido ese tiempo, se escurrieron para posteriormente ser depositadas en un recipiente, el cual se cubrió para dar condiciones de obscuridad para estimular su germinación.

3.6 Siembra en charolas

La siembra se realizó colocando 120 gr de semillas previamente germinadas en platos de polipropileno con dimensiones de 10×25 cm las cuales fueron perforadas para drenar el exceso de agua (Salas Pérez, Borroel-García, Ramírez-Aragón, & Moncayo Luján, 2018).

3.7 Riego

Los primeros días se irriego las semillas pregerminadas únicamente con agua de la llave, los riegos se realizaron durante todo el día con una hora de diferencia entre cada riego con una duración de 1 minuto el cual se realizó con un atomizador manual a partir de las 8:00h hasta las 20:00h desde del día de siembra hasta la cosecha del forraje (día 12).

3.8 Fertilización

Las soluciones nutritivas orgánicas se prepararon siguiendo el modelo propuesto por Minor-Morgan (2017), mientras que la solución nutritiva inorgánica utilizada fue a base de Bayfolan, producto comercial de la compañía BAYER. Podemos observar en cuadro 3 los elementos y concentraciones de los fertilizantes aplicados. Los tratamientos fueron aplicados cuatro veces al día (8:00 am, 12: 00 pm 4:00 pm y 8:00 pm) esto se realizaron directamente sobre todas las semillas, hasta que se regaran uniformemente, utilizando 1L de solución nutritiva por tratamiento distribuido entre las 5 repeticiones.

El lixiviado de vermicompost utilizado en el presente estudio fue proporcionado por la lombricomposta de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL y fue analizado en el CENID RASPA de Gómez Palacio Durango para determinar el contenido de macros y micronutrientes.

Cuadro 3 Composición química de los fertilizantes aplicados en la producción de forraje verde hidropónico de maíz en invernadero

| Fertilizante | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | pH | CE |
|----------------|-------------|-------|-------|---------------|-------|--------|-------|-----|--------|
| | -----%----- | | | -----ppm----- | | | | | (dS/m) |
| 100% FO | 0.046 | 0.060 | 0.852 | 0.220 | 0.712 | 15.984 | 2.424 | 6.5 | 2.5 |
| 50% FO | 0.023 | 0.030 | 0.426 | 0.110 | 0.356 | 7.992 | 1.212 | 6.5 | 2.5 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------|-------|
| 100% FQ | 0.24 | 0.17 | 0.130 | 0.200 | 250 | 500 | 500 | 7 | 3.5 |
| 50% FQ | 0.12 | 0.085 | 0.065 | 0.100 | 125 | 250 | 250 | 7 | 3.5 |
| 50%FO 50%FQ | 0.143 | 0.115 | 0.491 | 0.210 | 125.3 | 257.99 | 251.21 | 7 | 3.5 |
| Agua | 0.020 | ND | 0.160 | 0.268 | 8.00 | ND | ND | 7.37 | 0.692 |

FO= Fertilizante Orgánico; FQ= Fertilizante Químico; ND= No Detectado

3.9 Cosecha

Se realizó a los 12 posteriores a que fue sembrada, posteriormente se cuantifico el peso fresco de los diferentes tratamientos en una báscula digital marca truper.

Se utilizaron 6 tratamientos cada una con diferentes porcentajes y tipos de fertilización, con 5 repeticiones por cada tratamiento, como se pueden observar en el cuadro 4.

Cuadro 4 Distribución de los tratamientos y tipos de fertilización

| Tratamientos | % de Fertilización | Repeticiones |
|---------------------|---------------------------|---------------------|
| 1 | FO 100% | 5 |
| 2 | FO 50% | 5 |
| 3 | FI 100% | 5 |
| 4 | FI 50% | 5 |
| 5 | FO 50%-FI50% | 5 |
| 6 | Agua | 5 |

FO= Fertilización orgánica; FQ= Fertilización Inorgánica

3.10 Variables de Rendimiento

El peso fresco se determinó el día de la cosecha, pesando los diferentes tratamientos en una báscula digital marca truper.

El peso seco se determinó a los 2 días, pesando las muestras en bascula digital, después de que las muestras cosechadas se sometieran a una deshidratación a la sombra, para posteriormente ser secadas en una mufla a temperatura constante durante 24h para determinación de % de materia seca (Vargas Rodriguez, 2008).

3.11 Variables de calidad

Se determino el porcentaje de MS, PC y EE de acuerdo a la metodología oficial de la (A.O.A.C, 2005).

La determinación de MS se realizó tomando una muestra fresca del FVH en un recipiente de aluminio para posteriormente someterla a deshidratación en una estufa.

Para el caso de PC se utilizó el método de microKjeldhal. Por otra parte, la obtención de EE se utilizó el método de Soxhlet a través de un extractor Goldfish (Labconco, EEUU).

Para el caso de la medición de FDN y FDA se utilizó el método de fraccionamiento con detergente y subsecuente filtración tal y como lo indica (Van Soest, Mertens, & Deinum, 1978).

3.12 Diseño experimental

Para la realización del experimento se utilizó el diseño experimental Completamente al azar, el cual estuvo compuesto por seis tratamientos y cinco repeticiones cada uno. La información de datos recopilados se analizó a través de un análisis de varianza, corridos en el paquete estadístico SAS (1999), se realizaron comparaciones de media aplicando la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Enseguida se muestran los resultados que se obtuvieron para las variables de rendimiento y calidad, donde observamos la comparación de medias.

4.1 Variables de rendimiento

4.1.1 Peso Fresco

Para el caso de la variable Peso fresco (PF) expresado en gramos (g) del FVH de maíz (Figura 1) se observa que hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos comparados, destacando el Tratamiento 1 con 100% de FO

alcanzando un peso de 364 g, siendo significativamente diferente en comparado con el tratamiento 4 con 50% FI. Sin embargo, el Tratamiento 6 que corresponde al testigo, no mostro diferencias estadística en comparación con el tratamiento 1, solo quedando 1 g por debajo del tratamiento con peso más alto.

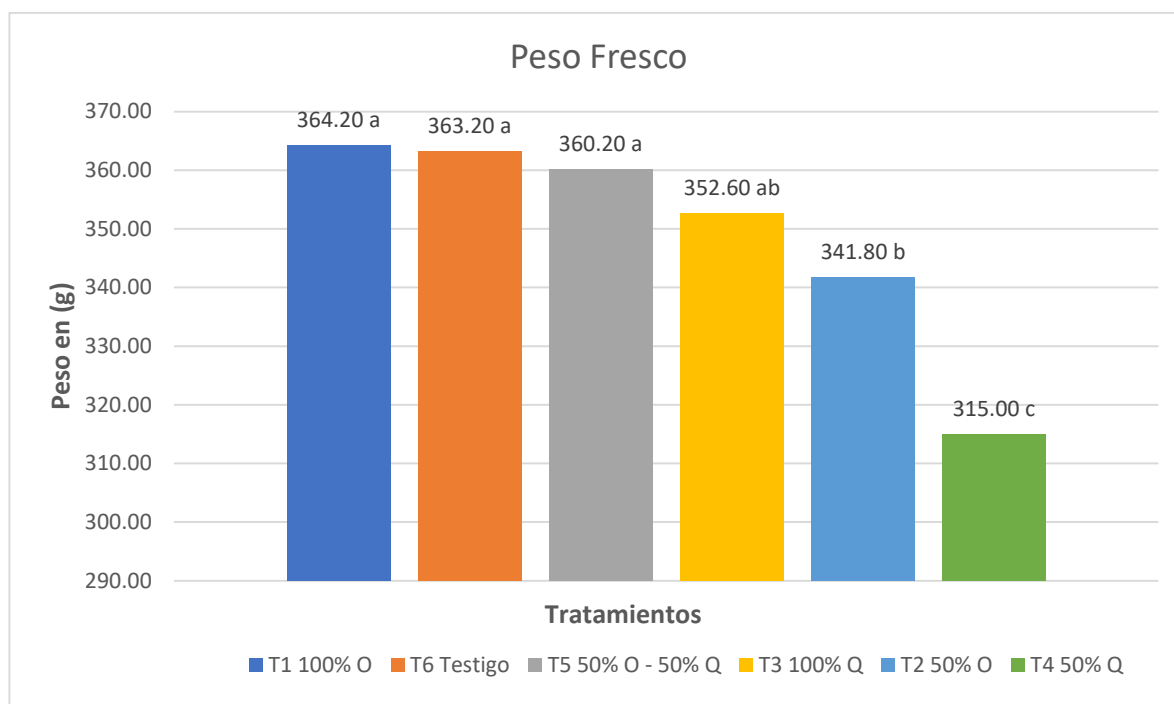


Figura 2 Comparación de medias para la variable de Peso Fresco (PF) de Forraje Verde Hidropónico (FVH) de Maíz utilizando diferentes Fuentes y Dosis de fertilización.

4.1.2 Peso Seco

Para la variable de Peso Seco (PS) expresado en gramos, se puede identificar en la Figura 2, las medias de los diferentes tratamientos evaluados, encontrando que hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, destacando el tratamiento 5, la cual fue fertilizada con 50% de FI y 50 % de fertilización Orgánica, alcanzando un peso de 115.60 g, en comparación con los tratamientos 4 irrigado con 50% de FI y tratamiento 6 el cual corresponde al testigo, los cuales alcanzaron un peso de 96.60 g y 82.40 g. Podemos observar por las

letras diferentes, que hubo mucha diferencia estadística entre los distintos tratamientos.

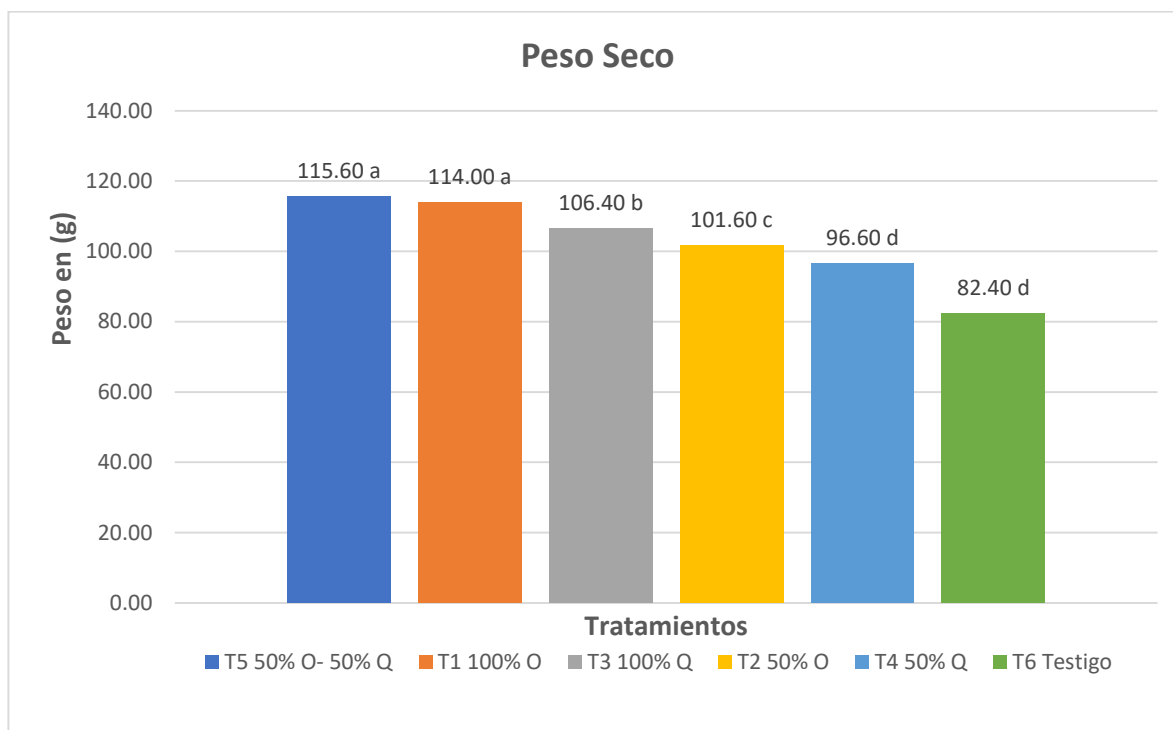


Figura 3 Comparación de medias para la variable de Peso Seco (PS) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de Maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización.

4.2 Variables de Calidad

Para las variables de calidad Bromatológica del forraje verde hidropónico de maíz, Materia Seca (MS), Extracto Etereo (EE), Cenizas, Proteína Cruda (PC), carbohidratos Totales (CT), Fibra Detergente Acido (FDA) y Fibra Detergente Neutro (FDN), se muestran las siguientes gráficas donde se observan las comparaciones de medias.

4.2.1 Materia Seca

El porcentaje de materia seca del FVH de maíz mostro diferencias estadísticas entre los tratamientos comparados, no obstante el que mostro valores mas altos fue el tratamiento 5 la cual fue irrigado con 50% FO y 50% FI, alcanzando 31.12%, sin embargo el tratamiento 6 el cual corresponde al testigo fue el que menor porcentaje de materia seca obtuvo, solo 22.69%.

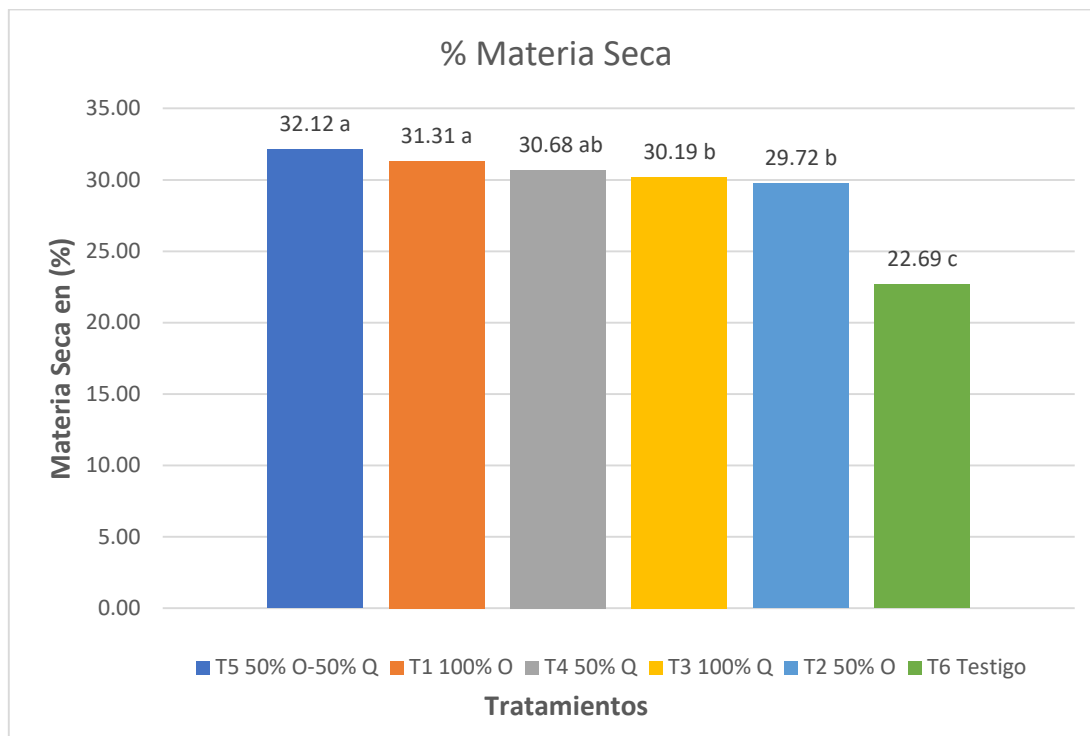


Figura 4 Comparación de medias para la variable Materia Meca (MS) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización.

4.2.2 Extracto Etéreo

Para la variable de Extracto etéreo del FVH se encontró que difieren estadísticamente ($P > 0.05$) entre los tratamientos comparados. El tratamiento 6, correspondiente al testigo fue el que menor porcentaje mostro, solo obtuvo un 5.12 %. El tratamiento que mejores resultados mostro fue el tratamiento 1, el cual fue irrigado con Fertilización orgánica al 100%, obteniendo 7.46%. Los

tratamientos 2 (50% FO) y 4 (50% FI) no mostraron mucha diferencia estadística entre ellos.

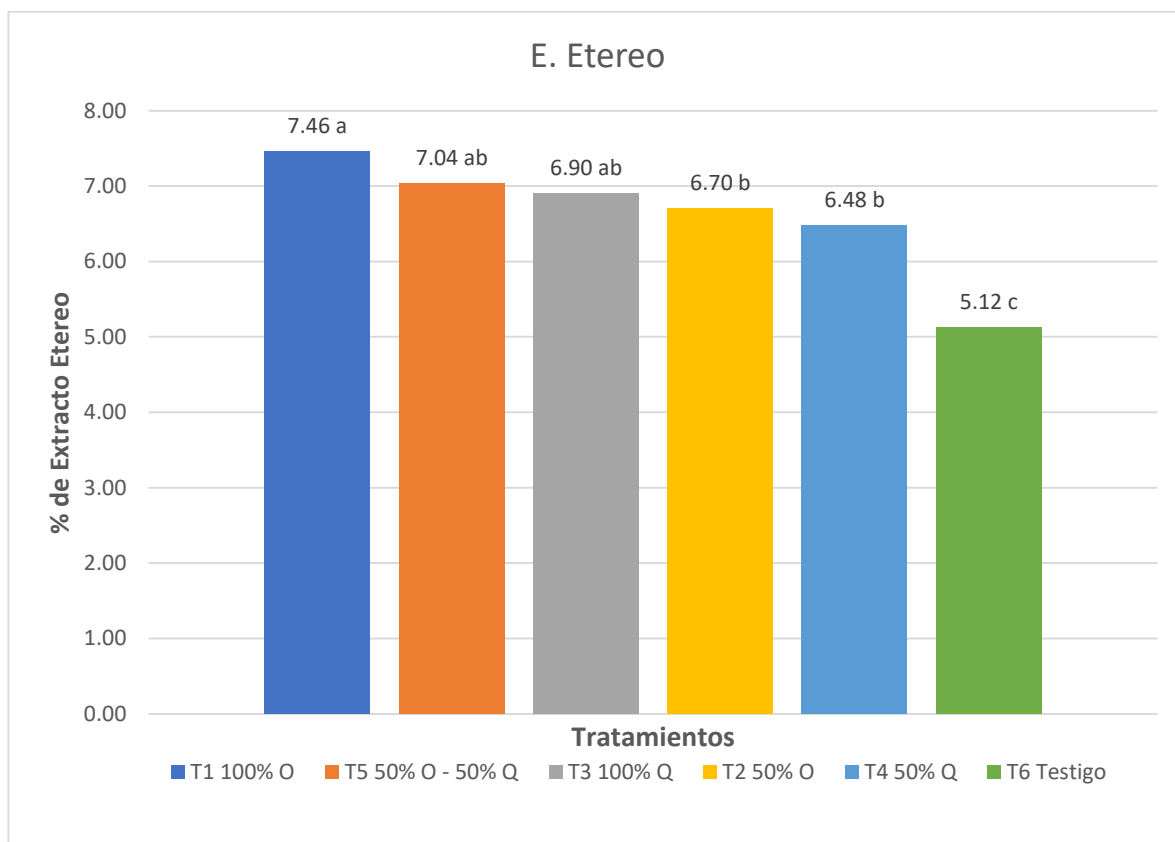


Figura 5 Comparación de medias para la variable Extracto Etéreo (EE) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización.

4.2.3 Cenizas

El porcentaje de Cenizas del FVH de maíz, de acuerdo a la figura 5, nos indica que difieren diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre los tratamientos comparados. Podemos observar que el tratamiento T1 con 100% de fertilización orgánica fue el que presentó los valores más altos (3.56%), mientras que el tratamiento T6,

correspondiente al testigo, fue el que menor valor obtuvo (1.89%). Por otra parte, observamos que los tratamientos T3 y T5 son semejantes estadísticamente entre ellos mismos.

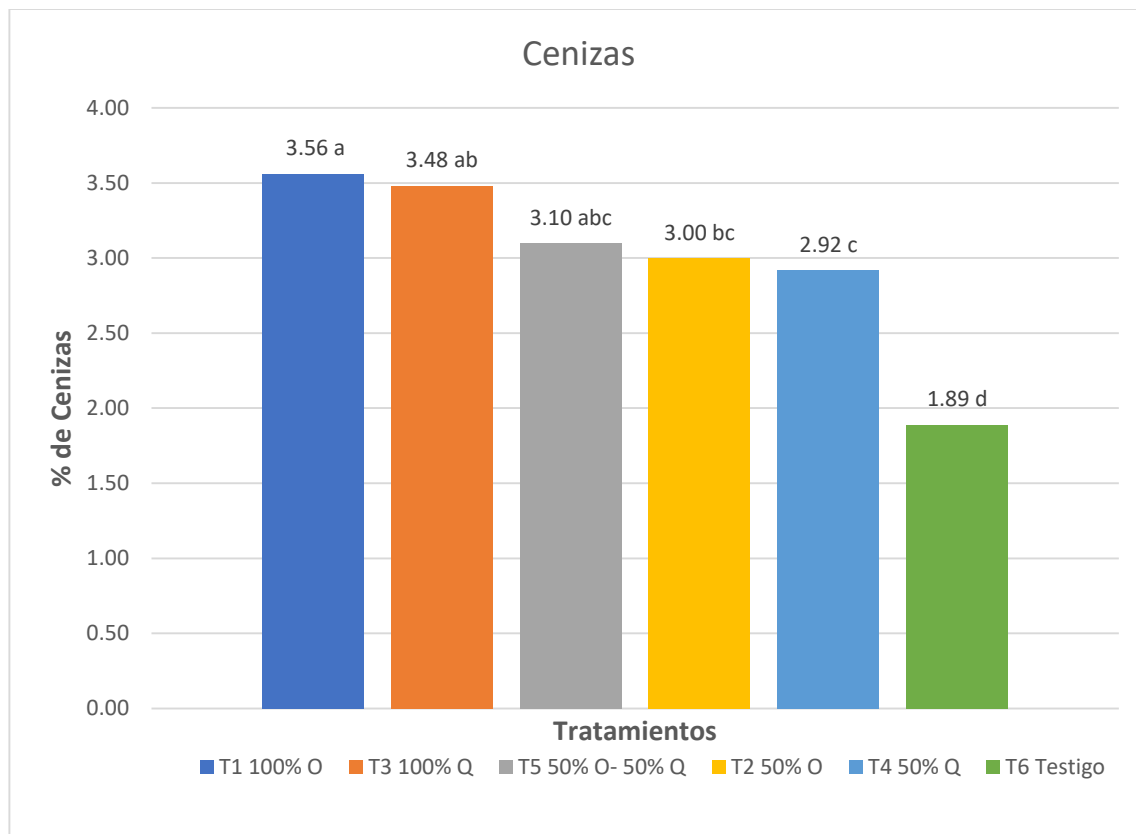


Figura 6 Comparación de medias para la variable cenizas (CN) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización.

4.2.4 Proteína Cruda

El porcentaje de Proteína Cruda (PC) del FVH de maíz, mostro altas diferencias estadísticamente ($P > 0.05$) dentro los tratamientos comparados. Podemos observar que el tratamiento T1 con 100% de fertilización orgánica, mostro los valores numéricos más altos, 11.50%, mientras que los tratamientos T2, T5 y T3,

no difirieron estadísticamente entre ellos mismos. El tratamiento que menos porcentaje de PC presento fue el T6 correspondiente al testigo.

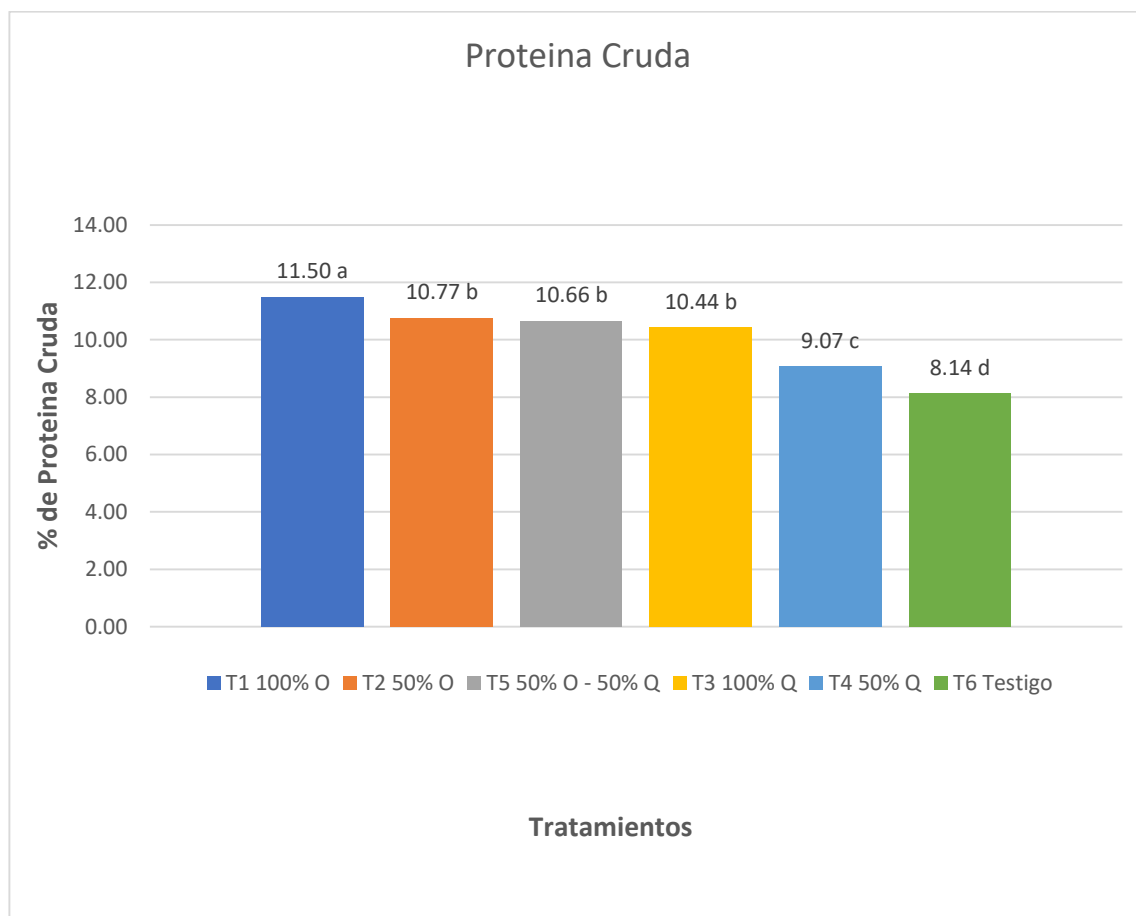


Figura 7 Comparación de medias para la variable Proteína Cruda (PC) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización.

4.2.5 Fibra Detergente Neutro

La variable Fibra Detergente Neutro (FDN) del FVH de maíz mostro diferencias estadísticas notables entre los tratamientos comparados, en la figura 7, podemos observar la comparación de medias, donde el tratamiento T1 el cual fue irrigado con 100% de fertilización orgánica, refleja el más alto porcentaje de FDN

(54.36%), al mismo tiempo observamos que muestra semejanzas estadísticas con los tratamientos T3 (51.08) y T2 (50.30). El tratamiento T6, correspondiente al testigo fue el que mayor diferencia estadística presento, ya que obtuvo el más bajo porcentaje de FDN (33.20%).

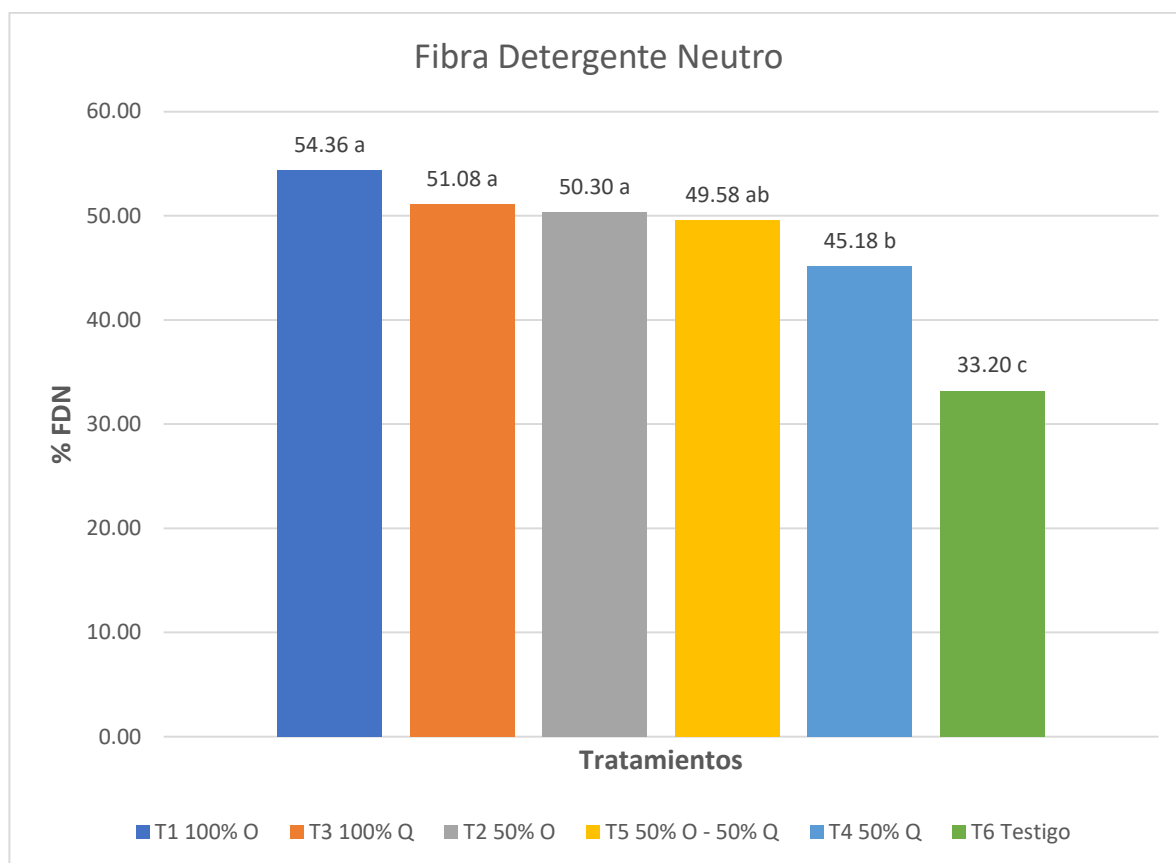


Figura 8 Comparación de medias para la variable Fibra Detergente Neutro (FDN) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización.

4.2.6 Fibra Detergente Acido

El porcentaje de Fibra Detergente Acido en el FVH de maíz, mostro diferencias estadísticas ($P > 0.05$) dentro los tratamientos comparados. En la figura 8, se aprecia que los tratamientos T1 con 100% de fertilización orgánica, y el

tratamiento T3 con 100% de fertilización Inorgánica, son estadísticamente semejantes, los cuales obtuvieron los porcentajes más altos de FDA, también se observa que el tratamiento testigo T6, es el que más difiere estadísticamente de los otros tratamientos, ya que obtuvo el porcentaje más bajo (8.42%) de FDA. Por su parte los tratamientos T5, T2 y T4 mostraron porcentajes similares y estadísticamente no mostraron diferencias estadísticas entre ellos.

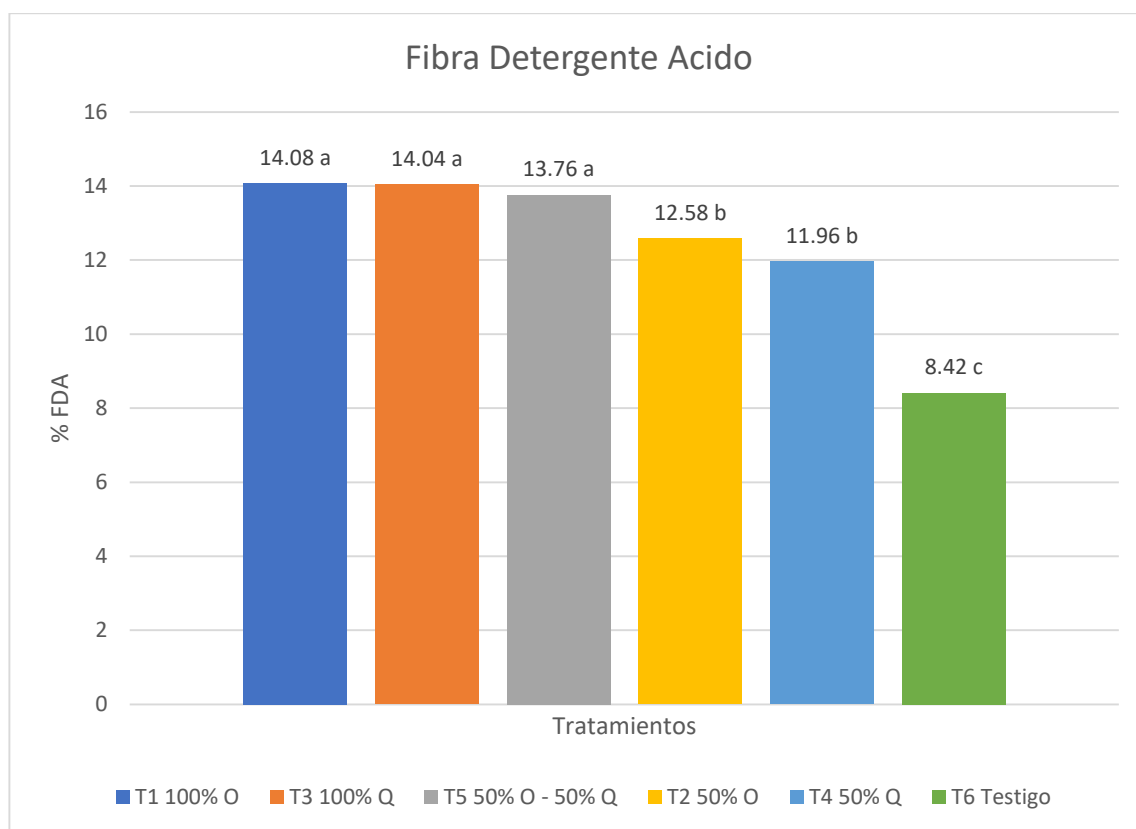


Figura 9 Comparación de medias para la variable Fibra Detergente Acido (FDA) del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz, utilizando diferentes fuentes y dosis de fertilización.

Cuadro 5 Análisis bromatológico de FVH de maíz producido con diferentes tipos y dosis de fertilización

| TRATAMIENTO | PF | PS | MS | EE | CN | PC | FDN | FDA |
|-------------|---------------|----|----|---------------|----|----|-----|-----|
| | ----- g ----- | | | ----- % ----- | | | | |

| | | | | | | | | |
|--------------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|
| T1 100% FO | 364.2 a | 114 a | 31.31 ab | 7.46 a | 3.56 a | 11.50 a | 54.36 a | 14.08a |
| T2 50% FO | 341.8 b | 101.6 c | 29.72 b | 7.04 ab | 3.0 bc | 10.76 b | 50.3 a | 12.58 b |
| T3 100% FQ | 352.6 ab | 106.4 b | 30.18 b | 6.9 ab | 3.48 ab | 10.43 b | 51.08 a | 14.04 a |
| T4 50% FI | 315.0 c | 96.6 d | 30.68 ab | 6.7 b | 2.92 c | 9.06 c | 45.18 b | 11.96 b |
| T5 50% FO-FI | 360.2 a | 115.6 a | 32.12 a | 6.48 b | 3.1 abc | 10.66 b | 49.58 ab | 13.76 a |
| T6 Testigo | 363.2 a | 82.4 e | 22.69 c | 5.12 c | 1.89 d | 8.14 d | 33.2 c | 8.42 c |

PF= Peso Fresco; PS= Peso Seco; MS= Materia Seca; EE= Extracto Etéreo; CN= Ceniza; PC= Proteína cruda; F.D.N.=Fibra Detergente Neutro; F.D.A.= Fibra Detergente Acido.

Los resultados obtenidos para las variables de rendimiento y calidad bromatológica del FVH de maíz producidos con FO y FI, así como la combinación de ambos, y en diferentes dosis, nos muestran que se pueden alcanzar altos niveles de producción y con altos valores nutraceúticos de forraje. La dosis de fertilizantes aplicados en las plantas influye sobre la producción del FVH (Salvador-Castillo et al., 2022), esto coincide con los valores alcanzados en la presente investigación, en la que las diferentes dosis de FO y FI utilizados (cuadro 5) satisficieron los requerimientos del FVH.

Para la variable de PF, el tratamiento T1 el cual fue irrigado con 100% de FO, presentó el mejor rendimiento (364.2 g), (Gutiérrez & Camacho, 2019) mencionan que el desarrollo y la creación de follaje en cultivos fertilizados orgánicamente a base de vermicomposta y lixiviado de lombricomposta se atribuyen especialmente a la forma de los elementos disueltos en este tipo de fertilizantes están en forma de iones lo que hace que sean más asimilables para los cultivos que la aprovechan. (Aliaga & Mamani, 2017) coinciden en que la alta disposición de los elementos en los fertilizantes orgánicos se atribuye a los procesos de descomposición en presencia de oxígeno que son transformados por organismos presentes en la base orgánica, por lo que la integración y la presencia de ácidos húmicos, fúlvicos y otros elementos activos los cuales funcionan de precursores del desarrollo en las plantas, aumentan la disponibilidad de nutrientes que las plantas necesitan para desarrollarse.

Podríamos considerar que a PF obtendríamos mayor PS y porcentaje MS, sin embargo, el tratamiento T6 correspondiente al testigo, presento unos de los

valores más altos en PF (363.2 g), pero después de deshidratarse mostro resultados completamente contradictorios, ya que su PS bajo hasta los 82.4 g, este elevado rendimiento en el PF del testigo puede ser atribuido a que el agua de riego utilizado contiene una mínima cantidad de nitrógeno y otros elementos como se muestra en el cuadro 3. Por otra parte investigaciones diversas sobre la calidad del agua de la llave, agua de riego y aguas tratadas obtenidas de diferentes fuentes en la comarca lagunera han demostrado contener disueltas grandes cantidades de nitratos, amonio, y otras fuentes de nitrógeno (García-Sepúlveda, Cueto-Wong, Figueroa-Viramontes, & Reta-Sánchez, 2019), (Dorjderem, Torres-Martínez, & Mahlkecht, 2020).

Los valores obtenidos y después estudiados (Cuadro 5) se mantienen entre los intervalos aceptados como alimento forrajero apto para consumo (Núñez-Torres & Guerrero-López, 2021). Valverde-Lucio, Ayón-Villao, Orlando-Indacochea, Alcívar-Cobeña, and Gabriel-Ortega (2018) en un estudio realizado encontraron que uno de los elementos necesarios para la acumulación de MS en plantas con alta densidad de siembra como es el caso del FVH, el nitrógeno juega un papel importante. Por otra parte Afzalnia and Karimi (2020) demostraron que la densidad de siembra, el agua de riego y las condiciones de crecimiento del FVH influyen sobre el contenido de MS en el cultivo de cebada.

El porcentaje de Extracto Etéreo (EE) o grasa, como lo manejan algunos investigadores, se vio fuertemente influenciado por el tipo y dosis de fertilización, siendo los tratamientos T1 con 100% de FO y el tratamiento T2 con 50% de concentración de FO los que alcanzaron los valores más altos (T1= 31.31% y T2= 29.72%), estos valores se asemejan a los que fueron obtenidos por Adeoye et al. (2024) y Gallegos-Robles et al. (2022) donde se evaluó la calidad bromatológica del cultivo de maíz, frijol, y cebada irrigados con Fertilización orgánica e inorgánica. En este sentido se puede comprobar que la poca concentración de elementos disueltos en el agua, disminuye notablemente el contenido de EE del FVH tal y como lo demuestra el tratamiento T6 correspondiente al testigo (Tabla 5).

El tipo de fertilización utilizada en la producción de FVH presento efectos significativos sobre importantes variables de calidad del forraje, tal es el caso del porcentaje de Cenizas, donde los tratamientos T1 con 100% de FO y el tratamiento T3 con 100% de FI mostraron las medias más altas (T1= 3.56%, T3=3.48%) en comparación con los demás tratamientos, podemos observar en la tabla 5, que el tratamiento testigo, mostro la media más baja, esto se debe principalmente a que fue irrigada únicamente con agua de la llave. Barquero, Nieuwenhuyse, and García-Arguedas (2019), (Zainab, Iram, Ahmad, & Gul, 2019) mencionan que la cantidad de sales fertilizantes permiten expresar un mayor desarrollo de los FVH y al mismo tiempo eleva la calidad bromatológica.

El contenido de PC del FVH está fuertemente influenciado por los nutrientes contenidos en el agua de riego (Soto-Bravo & Ramírez-Viquez, 2018), en este sentido se observa en la tabla 5, que los tratamientos T1 con 100% de FO y T3 con 100% de FI, mostraron valores muy altos en comparación con el tratamiento T6 correspondiente al testigo, el cual fue irrigado únicamente con agua, con esto observamos que los valores obtenido coinciden con los valores encontrados por Ramírez-Iglesias, Lozano-Pérez, Hernández-Hernández, and Ramírez-Iglesias (2022), donde mencionan, que el uso de fertilizantes biológicos a partir de roca fosfórica con alto contenido de fosforo, elevan el porcentaje de PC en los forrajes en comparación con la aplicación de fertilizantes de síntesis química que se utilizan convencionalmente.

Los porcentajes de FDA Y FDN obtenidos en este estudio (tabla 5) se reportan como aceptables de acuerdo a Kebede, Worku, Jifar, and Feyissa (2024), donde mencionan que la dosis adecuadas de fertilización, es indispensable para mantener altos índices de rendimiento y calidad de los forrajes. En este sentido se observa que los tratamientos T1 con 100% de FO y T2 con 100% de FI los cuales tienen mayor concentración de fertilización obtuvieron los porcentajes más altos de estas variables. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Salas-Pérez et al. (2010), Perez et al. (2012) y Medina-Vásquez et al. (2022) donde

mencionan que la fertilización orgánica de los FVH y otros cultivos, eleva notablemente el rendimiento y calidad de hojas y frutos.

Con los valores obtenidos en la presente investigación se observa que los diferentes tipos de fertilización a base de lixiviado de vermicompost, pueden contribuir a elevar los niveles de rendimiento y calidad Bromatológica del FVH (Adeyemi-Temidayo et al., 2020), que contengan altos valores nutritivos al consumo animal, y que nos ayude a reducir gastos por la compra de alimento concentrado y que sea beneficioso para los animales (Lim et al., 2022) (Farghaly, Abdullah, Youssef, Abdel-Rahim, & Abouelezz, 2019).

La versatilidad del uso de FVH de maíz ha permitido que sea utilizado como alimento fresco con grandes aportes nutricionales a los animales que lo consumen (Cisneros-Saguilán, Cruz-Bautista, & Hernández-Hernández, 2023). Esto ha permitido que sea utilizado como suplemento alimenticio, con el fin de aumentar la calidad de leche y carne de ganado vacuno (Fazaeli, Golmohammadi, & Tabatatbaei, 2021) (Agius, Pastorelli, & Attard, 2019). Núñez-Torres, Lozada-Salcedo, Rosero-Peñaherrera, Cruz-Tobar, and Aragadvay-Yungan (2017) por su parte encontraron que la alimentación de conejos con FVH ha aumentado notablemente el peso de engorde y les ha permitido reducir los costos por alimentación con concentrados.

Por otra parte se ha demostrado el uso de FVH como suplemento alimenticio en animales pequeños, ya que este tipo de forraje al ser brotes tiernos son fáciles de digerir, además de que se aprovechan todas las partes del forraje, como son las hojas, tallos y raíces, al mismo tiempo al contener elevados porcentajes de proteína cruda, grasas y fibra es muy palatable al consumo de cerdos, ovejas y becerros (Harerimana, Hatungimana, Hirwa, & Niyireba, 2023).

El rendimiento y calidad del FVH varía de acuerdo a la dosis de fertilización del tipo u origen del fertilizante, (Harwanto et al., 2022), sin embargo el uso de fertilizantes de origen orgánico ha demostrado en este estudio que puede hacer frente a la hora de ser comparado frente a un fertilizante de síntesis inorgánico. La demanda de alimentos más sanos, nutritivos y de fácil producción han hecho

que la producción de hidroponía orgánica vaya en crecimiento y sea un campo extenso de investigación (Park & Williams, 2024).

Podemos observar en el cuadro 5, que el tratamiento T1-100%FO destaco notablemente en todas las variables de rendimiento y calidad del FVH de maíz, incluso en algunas variables se presentó notable diferencia estadística en comparación con el tratamiento T3-100%FQ, esto demuestra que podemos optar al uso de fertilizantes de fuentes orgánicas ya presentan aumentos en el desarrollo del FVH y evitan la dependencia de fertilizantes de síntesis inorgánica. Por otra parte, la obtención de lixiviado de vermicompost se puede obtener fácilmente, al instalar un área de lombricomposta y al mismo tiempo estar produciendo el FVH.

V CONCLUSIÓN

La utilización de diferentes dosis de fertilización orgánica influye positivamente sobre los parámetros de calidad bromatológica del FVH. Los tratamientos irrigados con 100% y 50% de FO mostraron valores iguales o superiores sobre la calidad del forraje irrigados con 100%FI. Se concluye que, aunque la fertilización inorgánica nos permite producir FVH con altos valores nutraceuticos, se puede sustituir parcial o totalmente su uso para la producción de FVH disminuyendo así a la dependencia de fertilizantes de síntesis que contaminan el suelo y el agua.

VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

A.O.A.C. (2005). Official Methods of Analysis.

- Abdula, A. H. J. S. F. (2022). Contribution of Hydroponic Feed for Livestock Production and Productivity. *Science Frontiers*, 3(1), 1-7. doi:10.11648/j.sf.20220301.11
- Acosta Lozano, N. V., Lima Orozco, R., Castro Alegría, A., Avellaneda Cevallos, J. H., & Suárez Reyes, Y. G. (2016). Evaluación de diferentes sistemas de producción de biomasa hidropónica de maíz. [Evaluation of different biomass production systems hydroponic corn]. *Centro Agrícola*, 43(4), 57-66.
- Adeoye, S., Ojo, V., Ogunbote, O., Adeyemi, T., Ahmed, A., Idowu, O., . . . Okunlola, M. (2024). Effect of different organic nutrient solutions and day of harvest on growth, biomass yield and chemical composition of hydroponically grown sorghum. *Trends in Horticulture*, 7(2), 4063. doi:<https://doi.org/10.24294/th.v7i2.4063>
- Adeyemi-Temidayo, A., Adeoye-Samson, A., Ogunyemi-Timilehin, J., Adedeji-Elijah, A., Oluyemi, B., & aderemi-Ojo, V. O. (2020). Comparisons of nutrient solutions from organic and chemical fertilizer sources on herbage yield and quality of hydroponically produced maize fodder. *Journal of Plant Nutrition*, 44(9), 1258-1267. doi:10.1080/01904167.2020.1845382
- Afzalnia, S., & Karimi, A. (2020). Barley Cultivars and Seed Rates Effects on Energy and Water Productivity of Green Fodder Production under Hydroponic Condition. *Indian Journal of Agricultural Research*, 54(6), 792-796. doi:10.18805/IJARe.A-554
- Agius, A., Pastorelli, G., & Attard, E. (2019). Cows fed hydroponic fodder and conventional diet: effects on milk quality. *ARCHIVES ANIMAL BREEDING*, 62(2), 517-525. doi:10.5194/aab-62-517-2019
- Ahamed, M. S., Sultan, M., Shamshiri, R. R., Rahman, M. M., Aleem, M., & Balasundram, S. K. (2023). Present status and challenges of fodder production in controlled environments: A review. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100080. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100080>
- Alarcon-Camacho, J., Recharte-Pineda, D. C., Yanqui-Díaz, F., Moreno-LLacza, S. M., & Buendía Molina, -. M. A. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11, 67-73. doi:<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C., & Rodriguez, M. (2021). Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. *Revista Minerva de Investigacion Científica*, 2(4), 45-54. doi:<https://doi.org/10.47460/minerva.V2I4.26>
- Aliaga, J. T., & Mamani, A. T. J. A. (2017). Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), con cuatro tipos de abonos orgánicos bajo ambiente atemperado en la provincia Murillo del Departamento de La Paz. 3(2), 538-544.
- Ávila Sánchez, H. (2019). Agricultura urbana y periurbana: Reconfiguraciones territoriales y potencialidades en torno a los sistemas alimentarios urbanos. *Investigaciones geográficas*(98). doi:<https://doi.org/10.14350/rig.59785>

- Barquero, V., Nieuwenhuys, A., & García-Arguedas, R. (2019). Efecto de diferentes concentraciones de sales fertilizantes sobre la producción primaria de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), San Carlos, Costa Rica. *AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, 2, 12-17. doi:10.18860/rath.v2i1.4688
- Beacham, A. M., Vickers, L. H., & Monaghan, J. M. (2019). Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(3), 277-283. doi:<https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1574214>
- Bedolla-Torres, M. H., Espinosa, A. P., Palacios, O. A., Choix, F. J., Valle, F. D. A., Aguilar, D. R. L., . . . Perez, R. O. (2015). La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz. *REVISTA ARGENTINA DE MICROBIOLOGIA*, 47(3), 236-244. doi:10.1016/j.ram.2015.04.002
- Bekuma, A. (2019). Nutritional Benefit and Economic Value of Hydroponics Fodder Production Technology in Sustainable Livestock Production Against Climate Change-A Mini-Review. *Advances in Applied Sciences*, 4(1), 23-25.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Birgi, J. A., Gargaglione, V., & Utrilla, V. (2018). El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(3), 316-323.
- Blanco-Capia, L. E., Colque-Pérez, H., & Rosales-Mendoza, M. B. (2019). Producción de forraje verde hidropónico versus geopónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en ambientes controlados. [Production of green hydroponic and geoponic forage of barley (*Hordeum vulgare* L.) in controlled environments]. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(2), 109-117.
- Bonifaz, N., León, R., & Gutiérrez, F. (2018). Pastos y forrajes del Ecuador. In E. U. Abya-Yala (Ed.), (pp. 445-490).
- Canovas, F. (1993). Principios básicos de la hidroponía. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. In *Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo*. IEA/FIAPA, Almería (pp. 29-42).
- Castillo, H. J. M., & Núñez, F. S. O. (2019). Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 5(9), 1103-1120.
- Chethan, K. P., Gowda, N. K. S., Prabhu, T. M., Krishnamoorthy, P., Dey, D. K., Giridhar, K., & Anandan, S. (2022). Nutritional Evaluation of Hydroponic Maize (*Zea mays*) Grain Sprouts as a Newer Green Feed Resource in Lambs. *INDIAN JOURNAL OF ANIMAL RESEARCH*, 56(4), 434-443. doi:10.18805/IJAR.B-4780
- Cisneros-Saguilán, P., Cruz-Bautista, P., & Hernández-Hernández, M. (2023). FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO COMO ALTERNATIVA FORRAJERA EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26. doi:10.56369/tsaes.4679

- Cisneros Saguilán, P., Aniano Aguirre, H., Martínez-Martínez, R., Gómez Vázquez, A., Maldonado Peralta, M. d. I. Á., & Ayala Monter, M. A. (2020). Forraje verde hidropónico en dietas de cerdos en crecimiento en Pinotepa Nacional, Oaxaca. [Hydroponic green forage in diets of growing pigs in Pinotepa Nacional, Oaxaca]. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 11(spe24), 247-253. doi:10.29312/remexca.v0i24.2375
- Dorjderem, B., Torres-Martínez, J. A., & Mahlknecht, J. (2020). Intensive long-term pumping in the Principal-Lagunera Region aquifer (Mexico) causing heavy impact on groundwater quality. *Energy Reports*, 6, 862-867. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.020>
- Elmulthum-Nagat, A., Zeineldin-Faisal, I., Al-Khateeb-Suliman, A., Al-Barrak-Khalid, M., Mohammed-Tagelsir, A., Sattar-Muhammad, N., & Mohmand-Akbar, S. (2023). Water Use Efficiency and Economic Evaluation of the Hydroponic versus Conventional Cultivation Systems for Green Fodder Production in Saudi Arabia. *Sustainability*, 15(1), 822. doi:10.3390/su15010822
- Elmulthum, N. A., Zeineldin, F. I., Al-Khateeb, S. A., Al-Barrak, K. M., Mohammed, T. A., Sattar, M. N., & Mohmand, A. S. (2023). Water use efficiency and economic evaluation of the hydroponic versus conventional cultivation systems for green fodder production in Saudi Arabia. *Sustainability*, 15(1), 822.
- Elsallam, M. E. A., El-Moslamy, S. H., El-Al, A. A., & Zahran, H. F. (2021). Scaling-up production of cost-effective and eco-friendly bio-fertilizer and its application on Barley green fodder via IoT hydroponic system. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 97. doi:<https://doi.org/10.1186/s43141-021-00196-1>
- Espinosa-Tulio. (1994). ¿Qué es la hidroponía? *Revista del Centro de Investigación de la Universidad la Salle*, 1(3), 9-9.
- Espinosa, W. (2019). Evaluación de densidades de siembra en maíz, arroz y frijol vigna en la producción de forraje verde hidropónico. *Investigaciones agropecuarias*, 1(2), 15-27.
- FAO. (2001). Manual Técnico de Producción de Forraje Verde Hidropónico. *TCP/ECU/066 (A)*.
- Farghaly, M. M., Abdullah, M. A. M., Youssef, I. M. I., Abdel-Rahim, I. R., & Abouelezz, K. (2019). Effect of feeding hydroponic barley sprouts to sheep on feed intake, nutrient digestibility, nitrogen retention, rumen fermentation and ruminal enzymes activity. *Livestock Science*, 228, 31-37. doi:10.1016/j.livsci.2019.07.022
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H. A., & Tabatatbaei, S. N. (2021). Effect of Replacing Dietary Corn Silage with Hydroponic Barley Green Fodder on Holstein Dairy Cows Performance. *IRANIAN JOURNAL OF APPLIED ANIMAL SCIENCE*, 11(1), 47-57.
- Gallegos-Robles, M. Á., Luna-Ortega, J. G., Galindo-Guzmán, M., Cervantes-Vázquez, M. G., Sánchez-Pérez, D. M., & González-Salas, U. (2022). Calidad de forraje orgánico e inorgánico de maíz y frijol Yorimón. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 91-100.

- García-Sepúlveda, J. L., Cueto-Wong, J. A., Figueroa-Viramontes, U., & Reta-Sánchez, D. G. (2019). Inhibidor de la nitrificación DMPP en la fertilización del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1849-1861.
- González-Fuentes, J. A., Lozano-Cavazos, C. J., Preciado-Rangel, P., Troyo-Diéguez, E., Rojas-Duarte, A., & Rodríguez-Ortiz, J. C. (2021). Fertilización orgánica contra convencional en el rendimiento, atributos morfológicos y calidad de fruto de tomate uva en un sistema de subirrigación no recirculante. *Terra Latinoamericana*, 39. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.897>
- Grigas, A., Kemzuraite, A., Steponavicius, D., Steponaviciene, A., & Domeika, R. (2020). Impact of Slope of Growing Trays on Productivity of Wheat Green Fodder by a Nutrient Film Technique System. *WATER*, 12(11). doi:10.3390/w12113009
- Gutiérrez, S. F., & Camacho, E. C. J. A. (2019). Aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico, en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota. 5(1), 1430-1440.
- Harerimana, T., Hatungimana, E., Hirwa, C. d. A., & Niyireba, R. T. (2023). Effect of hydroponic wheat fodder supplementation on dry matter intake and growth performances of piglets. *Scientific African*, 19, e01507. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01507>
- Harwanto, H., Hendarto, E., Bahrin, B., Hidayat, N., Istiqomah, D., & Candrasari, D. P. (2022). Productivity and nutrient digestibility of sorghum fodder at different urine fertilizers levels and harvest times. *Animal Production*, 24(1), 23-30.
- Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Rios-Rincon, F. G., Reyes-Estrada, O., & Bernal-Barragan, H. (2010). EFECTO DEL TIEMPO DE COSECHA SOBRE EL VALOR PROTEICO Y ENERGÉTICO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO. *INTERCIENCIA*, 35(4), 284-289.
- Indira, D., Aruna, P., Kanthi, S. S., Kumar, K. J. W. J. o. A. R., & Reviews. (2020). Hydroponics as an alternative fodder for sustainable livestock production. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 5(2), 087-092. doi:10.30574/wjarr.2020.5.2.0030
- Jones Jr, J. B. (1982). Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies. *J Journal of plant Nutrition*, 5(8), 1003-1030.
- Kebede, G., Worku, W., Jifar, H., & Feyissa, F. (2024). Effects of fertilizer levels and varieties on fodder yield productivity, nutrient use efficiency, and profitability of oat (*Avena sativa* L.) in the central highlands of Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101161. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101161>
- Li, W., Lu, X., & Li, J. (2022). The effect of organic nutrient solution on flavor in ripe cherry tomato fruit—Transcriptome and metabolomic analyses. *Environmental and Experimental Botany*, 194, 104721. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104721>

- Lim, W. C., Nadzir, M., Hiew, M. W. H., Mamat, M. S., Nazli, M. H., & Shohaimi, S. (2022). Potential of Open-Air Hydroponic System in Producing Highly Nutritional Composition Maize Fodder for Goat Farming. *PERTANIKA JOURNAL OF TROPICAL AGRICULTURAL SCIENCE*, 45(1), 115-131. doi:10.47836/pjtas.45.1.07
- Liu, H., Struik, P. C., Zhang, Y., Jing, J., & Stomph, T.-J. (2023). Forage quality in cereal/legume intercropping: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 304, 109174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109174>
- Loayza-Aguilar, J., Blanco-Capia, L. E., Bernabé-Uño, A., & Ayala-Flores, G. (2020). Saberes locales sobre tecnologías y estrategias de producción agropecuaria para la resiliencia climática. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 32-41.
- Lopez Aguilar, R., Murillo Amador, B., & Rodriguez Quezada, G. (2009). HYDROPONIC GREEN FODDER (HGF): AN ALTERNATIVE FOR CATTLE FOOD PRODUCTION IN ARID ZONES. *INTERCIENCIA*, 34(2), 121-126.
- Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Chan-Cupul, W., Luna-Esquivel, G., García-Paredes, J. D., & Mancilla-Villa, O. R. (2021). Producción de plántulas de chile habanero con fertilización orgánica y biológica. *Terra Latinoamericana*, 39. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.988>
- Medina-Vásquez, K. M. E., Leiva-Cabrera, F. A., Rodríguez-Salvatierra, Á. D., Gil-Ramírez, L. A., Bardales-Vásquez, C. B., & León-Torres, C. A. (2022). Influencia de las concentraciones del bioabono "biol" en el cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* var. *longifolia* (Asteraceae). *Arnaldoa*, 29(1), 137-148. doi:10.22497/arnaldoa.291.29108
- Mejía-Kerguelén, S., Tapia-Coronado, J. J., Atencio-Solano, L. M., & Cadena-Torres, J. (2019). Producción y calidad nutricional del forraje del sorgo dulce en monocultivo e intercalado con maíz y frijol *Pastos y Forrajes*, 42, 133-142.
- Minor-Morgan. (2017). *Aerated Compost Tea: A Field Guide to Production Methods, Formulas and Application Protocols*. Retrieved from Albuquerque, New Mexico 87197: <https://projects.sare.org/wp-content/uploads/manual.pdf>
- Mohapatra, K. K., Mohapatra, S., Ekka, R., Behera, R. C., & Mohanta, R. K. (2019). Variations in Round-the-Year Fodder Production in a Low-Cost Hydroponic Shed. *NATIONAL ACADEMY SCIENCE LETTERS-INDIA*, 42(5), 383-385. doi:10.1007/s40009-018-0764-5
- Morales-Sinchire, D. B., Jiménez-Álvarez, L. S., Burneo-Valdivieso, J. I., & Capa-Mora, E. D. (2020). Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. [Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional]. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3). doi:10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386
- Murillo-Montoya, S. A., Mendoza-Mora, A., & Fadul-Vásquez, C. J. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 58-68. doi:<https://doi.org/10.23850/24220582.2503>

- Narváez-Herrera, J. P., & Guerrero-Guerrero, E. M. (2022). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del Piedemonte Amazónico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 8. doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.4535>
- Nina-Luque, E. L., & Fernández-Chávez, C. (2017). Uso de dos métodos de producción bajo tres densidades de siembra en el cultivo verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en carpa solar. [Use of two production methods under three seeding densities in the green hydroponic barley crop (*Hordeum vulgare* L.) in greenhouse]. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(2), 48-55.
- Ningoji, S. N., Thimmegowda, M. N., Boraiah, B., Anand, M. R., Murthy, R. K., & Asha, N. N. (2020). Influence of seed rate on growth, yield and economics of hydroponic fodder maize production. *RANGE MANAGEMENT AND AGROFORESTRY*, 41(1), 108-115.
- Núñez-Torres, O. P., & Guerrero-López, J. R. (2021). Forrajes hidropónicos: una alternativa para la alimentación de animales domésticos. [Hydroponic foods: an alternative for the feeding of domestic animals]. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 8(1), 44-52.
- Núñez-Torres, O. P., Lozada-Salcedo, E. E., Rosero-Peñaherrera, M. A., Cruz-Tobar, E. S., & Aragadvay-Yungan, R. G. (2017). Evaluación de avena hidropónica (*Arrenatherium elatius*) en la alimentación de conejos en la etapa de engorde. [Evaluation of hydroponic oats (*Arrenatherium elatius*) in the feeding of rabbits in the fattening stage]. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(1), 59-71.
- Ochoa-Espinosa, M. F., Armenta-Calderón, A. D., Moreno-Salazar, S. F., Fernández-Herrera, E., & Ochoa-Meza, A. (2019). Fertilización orgánica y su impacto en la calidad del suelo. *Biotecnía*, 21(1), 87-92.
- Park, Y., & Williams, K. A. (2024). Organic hydroponics: A review. *Scientia Horticulturae*, 324, 112604. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112604>
- Pedroso-Reynaldo, A., & Pentón-Fernández, G. (2019). Efecto físico-químico que ejerce la fuente de energía de soluciones nutritivas sobre el biochar enriquecido. *Cuba, Biochar*.
- Perez, L. S., Rivera, J. R. E., Rangel, P. P., Reyna, V. D. A., Velazquez, J. A. M., Martinez, J. R. V., & Ortiz, M. M. (2012). RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRICIONAL, CONTENIDO FENOLICO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE HIDROPÓNICO VERDE FORRAJE DE MAÍZ PRODUCIDO EN INVERNADERO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA. *INTERCIENCIA*, 37(3), 215-220.
- Pertierra-Lazo, R., Balmaseda-Espinosa, C., & Villacrés-Matías, J. (2020). Factibilidad técnica y económica de la suplementación del ganado caprino con *Zea mays* L. hidropónico en Santa Elena, Ecuador. [Technical and economic feasibility of goat supplementation with hydroponic *Zea mays* L. in Santa Elena, Ecuador]. *Pastos y Forrajes*, 43(4), 326-336.
- Rajan, P., Lada, R. R., & MacDonald, M. T. (2019). Advancement in Indoor Vertical Farming for Microgreen Production. *American Journal of Plant Sciences*, Vol.10No.08, 13. doi:<https://doi.org/10.4236/ajps.2019.108100>

- Ramírez-Iglesias, E., Lozano-Pérez, Z., Hernández-Hernández, R. M., & Ramírez-Iglesias, J. R. (2022). Forage quality in a neotropical savanna based on different types of fertilization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(2), 9929-9940. doi:10.15446/rfnam.v75n2.96791
- Ramírez Víquez, C., & Soto Bravo, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. [Effect of mineral nutrition on green hydroponic maize forage production]. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 79-91. doi:10.15517/rac.v41i2.31301
- Ratsiatosika, O., Trap, J., Herinasandratra, V., Razafimbelo, T., Bernard, L., & Blanchart, E. (2024). Earthworms enhance the performance of organic amendments in improving rice growth and nutrition in poor Ferralsols. *Soil Biology and Biochemistry*, 109477. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109477>
- Roberts, J. M., Bruce, T. J., Monaghan, J. M., Pope, T. W., Leather, S. R., & Beacham, A. M. (2020). Vertical farming systems bring new considerations for pest and disease management. *Annals of Applied Biology*, 176(3), 226-232. doi:<https://doi.org/10.1111/aab.12587>
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. d. P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., & Márquez-Hernández, C. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 355-360.
- Salas Pérez, L., Borroel-García, V. J., Ramírez-Aragón, M. G., & Moncayo Luján, M. d. R. (2018). Efecto de la adición de ácido ascórbico y té de composta en la producción y capacidad antioxidante de forraje hidropónico de maíz. [Effect of the addition of ascorbic acid and compost tea on the production and antioxidant capacity of corn hydroponic forage]. *Nova scientia*, 10(20), 47-63. doi:10.21640/ns.v10i20.1168
- Salvador-Castillo, J., Bolaños-González, M., Cedillo-Aviles, A., Vázquez-Chena, Y., Gante, S., & Meza Discua, J. (2022). Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de Avena sativa y Hordeum vulgare. *Terra Latinoamericana*, 40. doi:10.28940/terra.v40i0.996
- Soto-Bravo, F., & Ramírez-Víquez, C. (2018). Efecto de la nutrición mineral en el rendimiento y las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz. [Effect of mineral nutrition on the yield and bromatological characteristics of corn hydroponic green forage]. *Pastos y Forrajes*, 41(2), 106-113.
- Trevizan Rispoli, J. F., & Challapa Moscoso, G. A. (2020). Comparación del rendimiento de forraje verde hidropónico con maíz lluteño y maíz comercial, utilizando cuatro calidades de agua. Arica, Chile. [Comparison of the performance of hydroponic green forage with lluteño corn and commercial corn, using four qualities of water, Arica, Chile]. *Idesia (Arica)*, 38(3), 113-122.
- Valiente, O., Álvarez, R., Alonso, N., & Corrales, M. (2016). EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO, COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA Y DIGESTIBILIDAD IN VITRO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE

- TRIGO (*Triticum* spp) COSECHADOS A LOS 8 Y 10 DÍAS *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6, 42-46.
- Valverde-Lucio, Y., Ayón-Villao, F., Orlando-Indacochea, F., Alcívar-Cobeña, J. L., & Gabriel-Ortega, J. (2018). Producción de tres variedades de Forraje verde hidropónico con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado. *JOURNAL OF THE SELVA ANDINA RESEARCH SOCIETY*, 9(2), 120-126.
- Valverde, Y. A., Mera, A., Castro, C., & Gabriel-Ortega, J. (2017). Producción de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) utilizando fertilizantes químicos y orgánicos. [Hydroponic maize (*Zea mays* L.) forage production using chemical and organic fertilizers]. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 144-151.
- Van Gerrewey, T., Boon, N., & Geelen, D. (2022). Vertical Farming: The Only Way Is Up? *Agronomy*, 12(1), 2. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy12010002>
- Van Soest, P. J., Mertens, D. R., & Deinum, B. (1978). Preharvest Factors Influencing Quality of Conserved Forage. *Journal of Animal Science*, 47(3), 712-720. doi:10.2527/jas1978.473712x %J Journal of Animal Science
- Vargas Rodriguez, C. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19. doi:10.15517/am.v19i2.5005
- Zainab, S. M., Iram, S., Ahmad, K. S., & Gul, M. M. (2019). Nutritional composition and yield comparison between hydroponically grown and commercially available *Zea mays* L.fodder for a sustainable livestock production. *MAYDICA*, 64(3).

VII ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Varianza para la variable Peso Seco (PS) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabulada | | F Calculada | Pr>f |
|--------------|----|---------|--------|------------|------|-------------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | | |
| Tratamientos | 5 | 3791.36 | 758.27 | 3.72 | 2.54 | 135.81 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 134 | 5.58 | 2.49 | 1.90 | | |
| Total | 29 | 3925.36 | | | | | |

CV= 2.29; ** = Significativo $P \leq 0.01$

Anexo 2. Análisis de Varianza para la variable Peso Fresco (PF) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabular | | F Calculada | Pr>f |
|--------------|----|---------|---------|-----------|------|-------------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | | |
| Tratamientos | 5 | 8887.1 | 1777.42 | 3.72 | 2.54 | 30.33 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 1406.4 | 58.60 | 2.49 | 1.96 | | |
| Total | 29 | 10293.5 | | | | | |

CV= 2.19; ** = Significativo $P \leq 0.01$

Anexo 3. Análisis de Varianza para la variable Materia seca (MS) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabular | | F Calculada | Pr>f |
|--------------|----|--------|-------|-----------|------|-------------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | | |
| Tratamientos | 5 | 292.22 | 58.44 | 3.72 | 2.54 | 62.73 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 22.36 | 0.93 | 2.49 | 1.9 | | |
| Total | 29 | 314.58 | | | | | |

CV= 3.27; ** = Significativo $P \leq 0.01$

Anexo 4. Análisis de Varianza para la variable Extracto Etéreo (PF) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabular | | F Calculada | Pr>f |
|--------------|----|-------|-------|-----------|------|----------------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | | |
| Tratamientos | 5 | 16.18 | 3.23 | 3.72 | 2.54 | 22.07 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 3.52 | 0.146 | 2.49 | 1.9 | | |
| Total | 29 | 19.7 | | | | | |

CV= 5.78; ** = Significativo $P \leq 0.01$

Anexo 5. Análisis de Varianza para la variable Ceniza (CN) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabular | | F Calculada | Pr>f |
|--------------|----|------|-------|-----------|------|----------------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | | |
| Tratamientos | 5 | 8.96 | 1.79 | 3.72 | 2.54 | 27.93 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 1.54 | 0.064 | 2.49 | 1.9 | | |

| | | |
|-------|----|------|
| Total | 29 | 10.5 |
|-------|----|------|

CV= 8.46; ** = Significativo $P \leq 0.01$

Anexo 6. Análisis de Varianza para la variable Proteína Cruda (PC) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabular | | F Calculada | Pr>f |
|--------------|----|-------|-------|-----------|------|----------------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | | |
| Tratamientos | 5 | 38.80 | 7.76 | 3.72 | 2.54 | 62.28 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 2.99 | 0.124 | 2.49 | 1.9 | | |
| Total | 29 | 41.79 | | | | | |

CV= 3.49; ** = Significativo $P \leq 0.01$

Anexo 7. Análisis de Varianza para la variable Fibra Detergente Neutro (FDN) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabular | Pr>f |
|----|----|----|----|-----------|------|
|----|----|----|----|-----------|------|

| | | | | F | | | |
|--------------|----|---------|--------|------|------|-----------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | Calculada | |
| Tratamientos | 5 | 1408.16 | 281.63 | 3.72 | 2.54 | 44.49 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 151.93 | 6.33 | 2.49 | 1.9 | | |
| Total | 29 | 1560.10 | | | | | |

CV= 5.32; ** = Significativo $P \leq 0.01$

Anexo 8. Análisis de Varianza para la variable Fibra Detergente Acido (FDA) en el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, producido con fertilización Orgánica y Química. UAAAN UL 2023.

| FV | GL | SC | CM | F Tabular | | F Calculada | Pr>f |
|--------------|----|--------|-------|-----------|------|----------------|----------|
| | | | | 0.01 | 0.05 | | |
| Tratamientos | 5 | 116.97 | 23.39 | 3.72 | 2.54 | 85.08 | <.0001** |
| Error Exp. | 24 | 6.60 | 0.275 | 2.49 | 1.9 | | |
| Total | 29 | 123.57 | | | | | |

CV= 4.20; ** = Significativo $P \leq 0.01$