

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE SALUBRIDAD E HIGIENE



Evaluación bromatológica de forraje verde hidropónico enriquecido con Zinc y Cobalto

POR

José Ricardo Vela Popo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México

Septiembre 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE SALUBRIDAD E HIGIENE

Evaluación bromatológica de forraje verde hidropónico enriquecido con Zinc y Cobalto

Por:

José Ricardo Vela Popo

TESIS

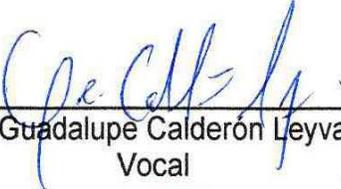
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Presidente



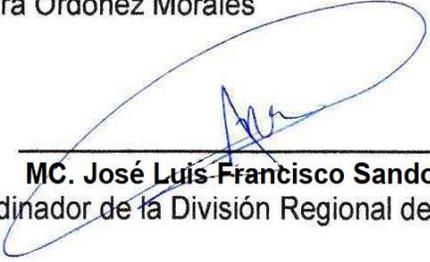
Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva
Vocal



MC. Julieta Ziomara Ordoñez Morales
Vocal



Dr. Rubén López Salazar
Vocal Suplente



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México

Septiembre 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE SALUBRIDAD E HIGIENE

Evaluación bromatológica de forraje verde hidropónico enriquecido con Zinc y Cobalto

Por:

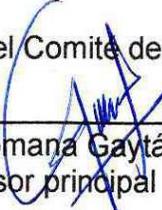
José Ricardo Vela Popo

TESIS

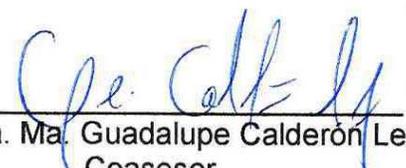
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Asesor principal



Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva
Coasesor



MC. Julieta Ziomara Ordoñez Morales
Coasesor



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México

Septiembre, 2023

DEDICATORIAS.

A, mi madre.

Beatriz Popo García

Por darme la vida, por enseñarme los valores para ser un hombre de bien y guiarme desde el primer momento, así como apoyarme en los momentos difíciles y felicitarme en los felices.

A, mi padre.

José Segundo Vela Colorado.

Por enseñarme a trabajar y que las cosas buenas se logran con esfuerzo, dedicación y paciencia.

A, mis hermanos.

Rey Fernando Vela Popo y Darío Segundo Vela Popo.

Que gracias a ellos siempre lograron mantener el orden del rancho en mi ausencia durante esta etapa en mi vida universitaria ayudando en la familia y dándome ánimos para que no abandonara el estudio.

A, Katia Lizeth Juárez Mireles.

Por su grata compañía, cariño y apoyo mutuo como pareja ha sabido sobrellevar las diferentes situaciones que a lo largo de esta etapa se enfrentan.

AGRADECIMIENTOS.

A, Dios.

Por darme la suficiente capacidad e inteligencia para seguir adelante en los obstáculos día a día.

Al, Dr. Rubén López Salazar.

Por disponer de su tiempo como asesor y ser pionero en este trabajo de investigación.

A la, MC. Julieta Ziomara Ordoñez Morales y la Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán.

Quienes me han abierto las puertas al laboratorio de Bromatología donde se logró desarrollar el experimento, como también han tenido la paciencia de enseñarme y guiarme con este proyecto con la única finalidad de ser mejor cada día.

A, mis tíos.

Antonio de Jesús Vela Colorado y Silvia Popo García que como personas mayores siempre brindaron su apoyo y experiencia ante mí.

A, mis amigos. Juan José Anzures Aguilar, David Inocencio Velázquez Moctezuma, Isaid Basilio Hernández y Valdemar Basilio Hernández.

Quienes han demostrado que en las buenas y en las malas debemos de seguir adelante.

Índice

Cuadro de símbolos y abreviaturas.....	v
Índice de figuras.....	vii
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis	3
1.2 Objetivo.....	3
1.2.3 Objetivos específicos	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Definición de forraje hidropónico.....	4
2.2 Producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH).....	6
2.3 Valor nutricional del Forraje Verde Hidropónico (FVH)	9
2.4 Importancia de requerimiento de Zinc en las plantas.....	9
2.5 Cobalto.....	11
3. MATERIALES Y METODOS	12
3.1 Lugar experimental de estudio.....	12
3.2 Material genético.....	12
3.3 Tratamientos y metodología.....	12
3.3.2 Análisis bromatológico.	15
3.3.3 Determinación de materia seca.....	15
3.3.4 Determinación de Proteína cruda por el método Kjeldahl.	16
3.3.5 Fibra Detergente Neutra (FDN; Método Van Soest).	17
3.3.6 Fibra Detergente Ácida (FDA; Método Van Soest).	18
3.3.7 EE (grasa bruta).....	18

3.3.8	Determinación de cenizas totales.	19
3.3.9	Análisis estadísticos.....	20
4	RESULTADOS	20
5	DISCUSIÓN	26
6	CONCLUSIÓN	29
7	LITERATURA CITADA	30

Cuadro de símbolos y abreviaturas.

Símbolo/Abreviatura	Español	Inglés
Zn	Zinc.	Zinc.
Co	Cobalto.	Cobalt.
PC	Proteína Cruda.	Crude Protein.
FDN	Fibra Detergente Neutra.	Neutral detergent fiber.
FDA	Fibra Detergente Ácida.	Acid detergent fiber.
EE	Extracto Etéreo.	Ethereal Extract.
FVH	Forraje verde hidróponico.	Hidroponic green fodder.
MS	Materia Seca.	Dry material
Co2	Dioxido de carbono.	Carbon dioxide.
GC	Grupo control.	Control group.
T1	Tratamiento 1.	Treatment 1.
T2	Tratamiento 2.	Treatment 2.
T3	Tratamiento 3.	Treatment 3.
TND	Total de Nutriente Digerible.	Total digestible nutrient.
EB	Energía Bruta.	Gross energy.
EM	Energía Metabolizable.	Metabolizable energy.

SOD	Supéroxido Dismutasa.	Superoxide Dismutase.
ELN	Estracto Libre de Nitrogeno.	Nitrogen Free Extract.

Índice de figuras.

Figura	Descripción	Página
1	Estantería para la producción de forraje verde hidropónico con el equipo de riego y el dosificador de nutrientes.	5
2	Estructura delo ovulo de una flor, fases de formación de una semilla y sus componentes en angiospermas.	7
3	Cronología de actividades para germinación de la semilla.	14

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue realizar una composición bromatológica en Forraje Verde Hidropónico de maíz híbrido en condiciones de ambiente controlado, el cual fue enriquecido con diferentes concentraciones de Sulfato de Zn y Sulfato de Cobalto. El estudio se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Se realizó un arreglo factorial completamente al azar de 4 X 3 X 3. Para la germinación y crecimiento se colocaron 100 semillas de maíz por charola (Cada charola representó una unidad experimental: n=10). Al Tratamiento control (**TC**): Solamente se le agregó agua. Tratamiento 1 (**T1**): Se le agregó una mezcla de Sulfato de Zinc al 5% y Sulfato de Cobalto al 5% en partes iguales. Tratamiento 2 (**T2**): Se le agregó una mezcla de Sulfato de Zinc al 6% y Sulfato de Cobalto al 6% en partes iguales y por último al Tratamiento 3 (**T3**): Se le agregó una mezcla de Sulfato de Zinc al 7% y Sulfato de Cobalto al 7% en partes iguales. Una vez que surgió el crecimiento a partir del día 17 se seleccionaron únicamente 9 charolas por cada tratamiento, descartando la de menor tamaño y conformando tres bloques de 3 repeticiones. Las variables evaluadas fueron Materia seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Ácido (FDA), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Cenizas (C). Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA y las medias se sometieron a la prueba de test de Tukey ($p > 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS. Los resultados mostraron diferencia significativa en el contenido de ceniza de los grupos tratados con minerales con respecto al tratamiento control, lo que sugieren una mayor absorción de minerales por parte del FVH de maíz, posiblemente debido a las diferentes concentraciones de minerales Co y Zn.

Palabras clave: *Bromatológicos, Ambiente controlado, Forraje verde hidropónico, Sulfato de zinc, Sulfato de cobalto*

INTRODUCCIÓN

El forraje verde es un componente importante en la alimentación del ganado, por lo que se están haciendo intentos para mitigar la brecha del déficit que implica la alimentación (Chethan *et al.* 2022), ya que con el aumento de la producción ganadera exige un incremento para alimentar de los animales. Hoy en día el cambio climático llega a afectar a los ganaderos y agricultores en cualquier parte o región del mundo por que aún se sigue trabajando de manera clásica y convencional esperando los tiempos de lluvia para sembrar la tierra, esto conlleva a buscar estrategias para solventar la alimentación con ayuda de nuevas tecnologías, ya que trabajando de manera convencional sería bastante difícil llegar a los resultados esperados para el sector agrícola y ganadero.

Una de las alternativas para obtener mayor eficiencia y rendimiento de material vegetal en las dietas de ganado es la técnica de forrajes cultivados en hidroponía, ya que permite un alto rendimiento de material vegetal y mayor disposición de nutrientes en las dietas que ayudan en el crecimiento y desarrollo de los corderos, además mejoran el desempeño reproductivo de ovejas adultas y permite una mejora en la ganancia de peso (Guerrero-Cervantes *et al.*, 2016).

El forraje verde hidropónico (FVH) representa una oportunidad bastante funcional y sostenible para anticipar los tiempos difíciles de sequía o cambios climáticos, además sirve para mejorar la calidad de vida y sanidad del ganado por consumir alimentos con todo su aporte nutricional y no contaminados por el suelo (Salas *et al.*, 2010). El cambio climático que es cada vez más impredecible ocasiona que el ser humano busque opciones innovadoras en la cuestión de alimentación para los animales herbívoros domésticos. En un sistema hidropónico, una planta se desarrolla en una solución compuesta de nutrientes solubles y agua en lugar de tierra, dada la creciente demanda de producción ganadera y la cada vez más delimitación de terrenos productivos, esta puede ser una buena alternativa para la producción de forrajes.

Para obtener un FVH con éxito, es necesario que las semillas tengan ciertas condiciones especiales para germinar de manera correcta y que puedan expresar su máximo potencial de vigor híbrido, solo así se logrará el mejor rendimiento posible. Es por esto que se deben controlar las variables de humedad en el ambiente, la luz, principalmente cuando se encuentran los embriones en la etapa de germinación, la limpieza, para no tener problemas con agentes patógenos como hongos, además de conocer el tipo de semilla para su germinación porque cada especie distinta requiere de diferentes parámetros de evaluación (Vargas, 2008). Los minerales en las plantas sirven para complementar sus funciones biológicas de manera correcta. Algunos son llamados macroelementos y otros por su parte son llamados microelementos, sin embargo, todos cumplen funciones específicas como ayudar en el proceso de la fotosíntesis, el transporte de proteínas, carbohidratos y agua convertidos en iones, el cual ayudará a fortalecer las estructuras celulares externas uniendo fibras de las plántulas (Pérez, 2017). Por lo que es indispensable conocer a grandes rasgos cómo se comportan los minerales y que sucede si hay deficiencia o si hay exceso de estos. Además, los minerales en el FVH, específicamente en el crecimiento de las raíces ayuda a la absorción de minerales, lo que a su vez cambia rápidamente el contenido de cenizas y proteínas a partir del cuarto día, esta absorción también facilita el metabolismo de los compuestos nitrogenados y, por lo tanto, aumenta el nivel de Proteína Cruda. El tipo de agua de riego para el forraje hidropónico también cambia el contenido mineral. Sin embargo, a través del proceso de quelación, la germinación hace que los minerales estén más disponibles (Girma y Gebremariam 2018).

Como se ha mencionado, los minerales son importantes para múltiples funciones en las plantas, por lo que se realizó un experimento aplicando diferentes concentraciones de sulfato de Zinc y Sulfato de Cobalto en Forraje Verde Hidropónico para determinar su composición Bromatológica.

1.1 Hipótesis

La mezcla de Sulfato de Zinc y Sulfato de Cobalto en diferentes concentraciones influirán sobre las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz.

1.2 Objetivo

Evaluar las características bromatológicas de forraje verde hidropónico en maíz híbrido enriquecido con diferentes porcentajes de concentración de Sulfato de Zinc (Zn) y Sulfato de Cobalto (Co).

1.2.3 Objetivos específicos

- Evaluar las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz con una solución enriquecido con una solución de Sulfato de Zinc al 5% y Sulfato de Cobalto al 5%.
- Evaluar las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz enriquecido con una solución de Sulfato de Zinc al 6% y Sulfato de Cobalto al 6%.
- Evaluar las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz enriquecido con una solución de Sulfato de Zinc al 7% y Sulfato de Cobalto al 7%.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición de forraje hidropónico.

Hoy en día, la germinación de semillas y la producción de pasto hidropónico se utilizan cada vez más no solo para una nutrición saludable sino también para la alimentación animal (Grigas *et al.*, 2020).

La definición de hidroponía proviene de dos griegas palabras '*hydro*' y '*ponics*' que significan agua y trabajo respectivamente. Este es el crecimiento de una planta sin tierra. Es también conocido como grano germinado o pienso. Solo requiere un poco tiempo para crecer y madurar en un ambiente controlado, como un invernadero. El término "invernadero" se refiere a un cultivo hábitat en el que las condiciones ambientales son al menos parcialmente regulado(Hassen y Abdula 2022).

Esta alternativa de siembra se puede mejorar bastante con la utilización de buenas semillas como los son las mejoradas genéticamente. Al iniciar el proyecto de producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) con semillas híbridas por consecuencia se obtiene una mayor densidad poblacional en las plantas y el rendimiento es mejor en la conversión de materia fresca a materia seca por ser una biomasa más consistente (Meza, 2005).

El forraje verde hidropónico tiende a presentar ciertos fitopatógenos, así como hongos que ponen en riesgo la calidad de la biomasa y del producto como tal se le da un correcto control fúngico durante la etapa de producción (Nava, *et al.* 2009).

Debido a un reciente estudio de mercado en las tierras agrícolas de producción se determinó que el hecho de tener explotaciones ganaderas es cada vez más complicado al igual que producir forraje para las mismas, por lo que el desplazamiento de las unidades pecuarias a lugares alejados de la población es cada vez más notorio reduciendo a gran medida su potencial económico. Es ahí donde entra la hidroponía como solución alternativa para estos problemas con la escasez de tierra (Vargas, 2008).

La producción de forrajes hidropónicos es una opción, especialmente el maíz, porque su ciclo es rápido, el desarrollo es independiente de varios factores como las condiciones ambientales, agroclimáticas o topográficas, y finalmente, este cultivo presenta bajo costo y alta producción de masa verde. La hidroponía es el cultivo de plantas con solución nutritiva, en ausencia o presencia de sustratos naturales o artificiales (Silva *et al.* 2020).

La biomasa de maíz también llamado Forraje Verde Hidropónico (FVH) es especialmente producida en lugares controlados donde las semillas deben de tener oscuridad para poder germinar y más adelante similar el ambiente natural en las cuales ellas puedan crecer de forma continua sin problemas en su organismo. La clave de una buena producción del forraje es a partir de la correcta irrigación de las semillas y una correcta desinfección de las bandejas en donde se produce esta biomasa para que más adelante no haya problemas de hongos, bacterias o paracitos que alteren las características nutricionales de este forraje, ya dependiendo de la variedad de semilla a trabajar es el tiempo de brote y el crecimiento de la biomasa (Acosta *et al.*, 2016).



Fig. 1, Estantería para la producción de forraje verde hidropónico con el equipo de riego y el dosificador de nutrientes (Vargas, 2008).

2.2 Producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH).

En la producción de FVH, se han utilizado diferentes especies, entre ellas gramíneas y leguminosas (Soto-Bravo y Ramírez-Viquez, 2018).

La germinación de granos específicos o algunas leguminosas como lo son: la cebada, el trigo, el maíz, la avena, entre muchos otros es aprovechada en los primeros días de brote (10 a 12 días máximo) para ser consumidas por los animales domésticos en las que su dieta es involucrada el forraje, este caso FVH. Depende del tipo de gramínea que se trate es el tiempo en el que será el momento oportuno para ser consumida pero siempre es relativamente corto a comparación de siembras tradicionales, más sin embargo es de reconocer que con una buena técnica de cultivo se obtendrá una excelente cantidad de biomasa con suficientes requerimientos nutricionales lista para alimentar a las diferentes especies de ganado (Cerrillo, 2012).

El brote de los granos se lleva a cabo cuando el “óvulo” en este caso es fecundado y madurado. Esto hace la embriogénesis cigótica expresando todo su potencial genético, desde prácticamente el cigoto hasta el embrión maduro, las semillas se conforman prácticamente por; embrión, cubierta seminal y una reserva alimenticia haciendo una gran variedad compleja en la diversidad genética (Courtis, 2013).

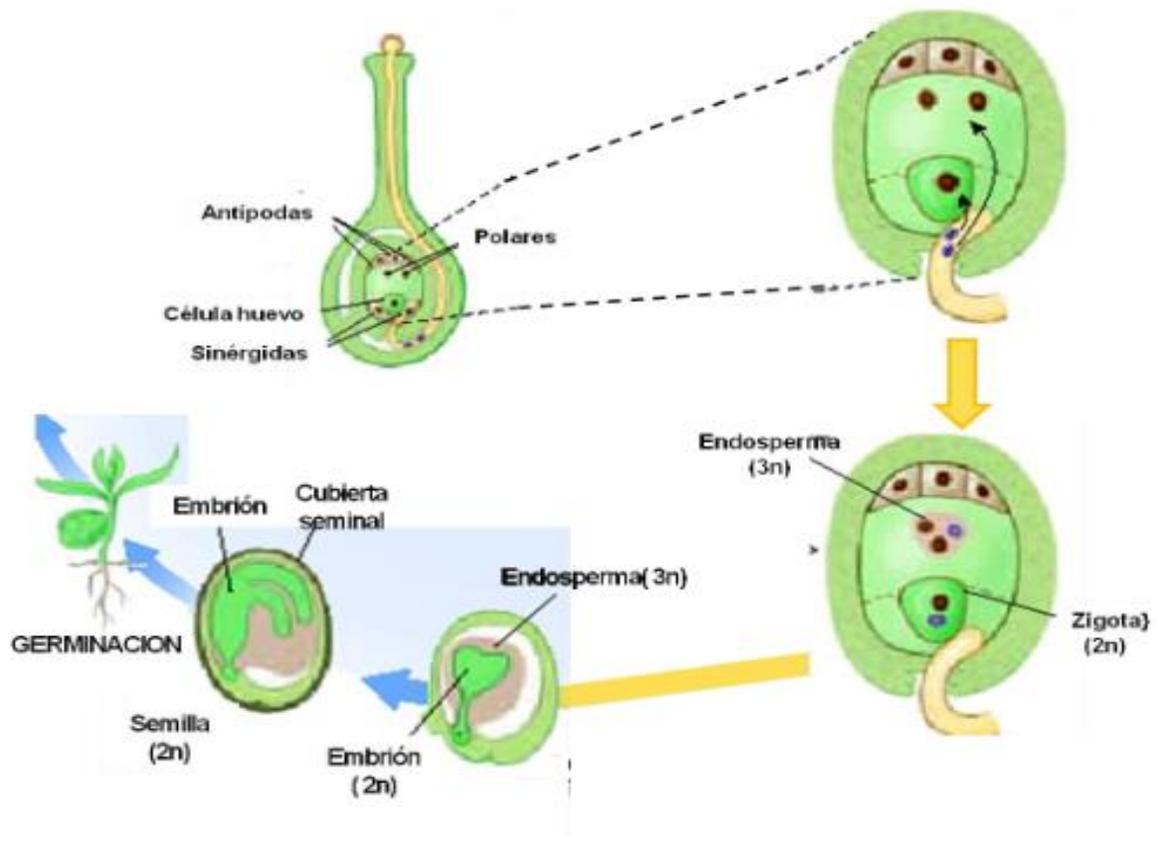


Fig. 2, Estructura delo ovulo de una flor, fases de formación de una semilla y sus componentes en angiospermas (Courtis. 2013).

No es conveniente que un forraje que se produce con ambientes controlados alejado del suelo crezca con problemas como deficiencias nutricionales o con falta de diferentes sales en la irrigación que a final de la cosecha solo se verá reflejado en el ganado. Es por eso que se han implementado diversos sistemas manuales y computacionales con el fin del monitoreo de las plantas debido a que se sabe con anterioridad que las necesidades del cultivo varia conforme se van estructurando la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plántulas (Torres *et al.*, 2015).

El método hidropónico consiste en una alternativa favorable para campesinos y propietarios en la producción de forraje para la alimentación de animales, con la finalidad de aprovechar los espacios con la mayor cantidad posible de materia

orgánica fabricada, la poca implementación de sintéticos y estar en un ambiente aislado y controlado de los factores climáticos (Flores y Chilón, 2019).

Cuando la planta se encuentra en miniatura se le conoce aún como embrión formando sus primeras dos hojas llamadas cotiledones que son literalmente partes unidas entre sí. Mas tarde la planta va creciendo y el tallo en su centro libre dará lugar a las raíces y en la zona superior a el tallo. Por lo que la germinación consiste en abrir paso y donde empieza a crecer hasta que es capaz de vivir por sí misma independientemente si conserva o no alimentos de reserva principal estableciéndose en un lugar dejando atrás los vestigios de lo que alguna vez fue una semilla (De la Cuadra, 2008).

Existe una gran variedad de opciones al pensar en forraje verde hidropónico, como por ejemplo se puede hacer de cebada, maíz, avena, sorgo y alfalfa resultando provechoso para el animal siendo cultivados en medios artificiales controlados alejados del suelo donde al tener también raíces limpias se aprovecha todo como alimentación en el ganado (Rivera *et al.*, 2010).

Para tener una buena producción de FVH es necesario cumplir con cuatro factores; buenas semillas, buenos sustratos, molde adecuado y una equilibrada solución nutritiva que esto nos ayudará a una buena explotación del elemento hidropónico donde la clave es tener una buena aireación para una correcta oxigenación en la germinación y crecimiento de las semillas (Osorno y González, 2012).

Para trasplantar una siembra de FVH se debe tener en cuenta varios factores como, por ejemplo; el tamaño de la planta, cuantas hojas verdaderas tiene, la coloración de la planta, su altura y una vez que cumple con las condiciones se considera apta para su traslado que también se debe tener en cuenta el material en donde se aloja, ya que puede ser de cualquier tipo, solo evitar que sea de un metal oxidable que pueda perjudicar el cultivo con sus alteraciones químicas (Zárata, 2014).

2.3 Valor nutricional del Forraje Verde Hidropónico (FVH)

Los piensos hidropónicos a partir de cereales desvían su contenido de nutrientes, es decir, cuando el contenido de almidón disminuye, tanto la materia orgánica como el contenido de materia seca disminuyen. La germinación cataboliza el almidón en azúcares solubles con fines bioquímicos de la planta (Hassen y Abdula 2022).

Sin embargo, el extracto de éter de la alimentación hidropónica aumenta debido al incremento de lípidos estructurales y clorofila a medida que crece la planta. El desarrollo de carbohidratos estructurales aumenta, fibra cruda, fibra detergente neutra y fibras detergentes ácidas, pero disminuye el extracto libre de nitrógeno (Hassen y Abdula 2022).

Sin embargo, durante la brotación la energía bruta (EB), la energía metabolizable (EM) y el total del nutriente digerible (TND) en el contenido disminuye. Esto se debe a la energía absorbida durante respiración de la planta (Fazaeli *et al.*, 2011) Hay cambios en el contenido de nutriente. de los granos de cereal e hidroponía. El contenido de Materia Seca (MS) disminuye lo que puede deberse a la disminución del almidón contenido. Durante la germinación, el almidón se cataboliza a azúcares solubles para apoyar el metabolismo y el requerimiento de energía de las plantas en crecimiento para la respiración y la síntesis de la pared celular, por lo que cualquier disminución en la cantidad de almidón provocando una disminución en la M.S.(Hassen y Abdula 2022).

2.4 Importancia de requerimiento de Zinc en las plantas.

La deficiencia de zinc (Zn) es un micronutriente común en plantas que crecen en diferentes climas regiones del mundo, particularmente en zonas áridas y semiáridas regiones donde predominan los suelos alcalinos (Cakmak, 2000). El zinc es considerado el micronutriente más demandado por plantas, animales y seres humanos debido a su papel en diversos procesos fisiológicos y bioquímicos. Entra principalmente en la cadena alimentaria a través de las plantas del suelo. Los suelos

calcáreos, arenosos, de humedales, alcalinos, con alto contenido de fósforo suelen ser deficientes en Zn. En suelos no fertilizados, la concentración de Zn varía de 10 a 300 mg Zn/kg y un promedio de 50 a 55 mg Zn/kg de suelo. Es el micronutriente deficiente más extendido a nivel mundial, que puede causar pérdidas de rendimiento de hasta un 40%, pero su toxicidad se debe únicamente a su origen mineralógico o bien a actividades antrópicas (Saboor *et al.*, 2021).

Las plantas requieren varios macro y micronutrientes esenciales para su correcto funcionamiento y completar su ciclo de vida. Entre los micronutrientes, el Zn se considera el nutriente más requerido (Saboor *et al.*, 2021). Participa en la estructura y el funcionamiento de más de 300 enzimas, por ejemplo, anhidrasa carbónica, deshidrogenasa alcohólica, fosfato alcalino, carboxi pepsidasa, fosfolipasa, superóxido dismutasa (SOD) y ARN polimerasa, que intervienen en la regulación de diversos procesos bioquímicos y procesos fisiológicos como la división celular, la síntesis de proteínas, la fotosíntesis, la transcripción de genes, el metabolismo de los ácidos nucleicos. El superóxido dismutasa (SOD) se utiliza en el sistema de defensa antioxidante para catalizar la desintegración del peróxido de hidrógeno y el superóxido. Zn es el componente estructural de CuZn-SOD (Cakmak, 2000). El zinc en la enzima CuZn-SOD controla la producción de radicales O₂ tóxicos y su eliminación (Saboor *et al.*, 2021).

Por su parte el Zinc después de tener múltiples funciones en el organismo vegetal como ayudar en la fijación del carbono en las estructuras de las plantas, encargado en la fotosíntesis y captación de luz también tiene dentro de sus bondades una característica similar a la del cobalto es indispensable para que ocurra la fotosíntesis y se lleve a cabo el metabolismo de los carbohidratos en las plantas, debido a que este elemento estabiliza o activa las proteínas involucradas en dichos procesos (Amezcuza y Lara, 2017).

2.5 Cobalto

El Cobalto en la vida de las plantas es un interventor en el metabolismo de los carbohidratos y de las proteínas por su considerable participación en diversos sistemas enzimáticos (Ortega y Malavolta, 2012).

También es el responsable de tener la molécula cianocobalamina que será sintetizada por algas y bacterias para formar más adelante la vitamina B12 que será utilizada directamente en la sangre por los animales que consuman este forraje con Co (Pérez, 2017)

2. MATERIALES Y METODOS

3.1 Lugar experimental de estudio.

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UAAAN Unidad-Laguna, ubicada en la ciudad de Torreón, Coahuila, México con las coordenadas de 26° 23" de latitud Norte y los 104° 47" de longitud Oeste. Dirección periférico Raúl López Sánchez, s/n y colonia Valle Verde, con una altura media sobre el nivel del mar de 1139 metros (INEGI, 2000).

El experimento fue realizado en dos fases principales: la primera fase fue la germinación y propagación del Forraje Verde Hidropónico, el cual se trabajó en el laboratorio de Horticultura localizado en las instalaciones de la misma universidad. La segunda fase se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología que pertenece a la Universidad en donde se realizó el traslado de la biomasa con la finalidad de iniciar los análisis correspondientes.

3.2 Material genético.

El forraje verde hidropónico con el que se trabajó en este experimento fue obtenido a partir de la semilla de maíz híbrido seleccionado minuciosamente dentro de la gran variedad de semillas que existen en el mercado con la finalidad de tener cierta resistencia a las enfermedades consecuentes de la germinación de la semilla y con el propósito de obtener forraje verde hidropónico. El nombre de la semilla comercial fue "TORNADO" del lote M18ND406FK06, esta semilla está certificada con una pureza física del 99 %, materia inerte de máximo 1% y avalada por la misma empresa de una germinación del 90 % mínimo.

3.3 Tratamientos y metodología.

Para realizar el experimento se buscó un ambiente controlado libre de plagas y de agentes externos que puedan alterar la germinación y así obtener resultados finales del experimento. El laboratorio de horticultura fue la opción para trabajar la primera etapa, ya que cuenta con aire acondicionado para controlar el clima y cortinas para

impedir la entrada de rayos solares, de esta manera se puede manipular a voluntad para garantizar los el crecimiento de los brotes de maíz.

Primeramente, se realizó el conteo de las semillas, las cuales fueron seleccionadas de manera homogénea en cuanto a peso y tamaño. Para formar los tratamientos se dividieron en 4 grupos de 10 charolas cada una y las charolas contenían 100 semillas. Para su organización y manejo posterior fueron utilizadas charolas desechables de unicele de 20 x 15 cm.

Tratamiento Control (TC) n= 10 charolas divididas en tres bloques a las cuales solo se les agregó agua hasta su crecimiento.

Tratamiento 1 (T1) n=10 charolas divididas en tres bloques se les agregó una mezcla de Sulfato de Zinc al 5% y Sulfato de Cobalto al 5% en partes iguales hasta su crecimiento.

Tratamiento 2 (T2) n=10 charolas divididas en tres bloques se les agregó una mezcla de Sulfato de Zinc al 6% y Sulfato de Cobalto al 6% en partes iguales hasta su crecimiento.

Tratamiento 3 (T3) n=10 charolas divididas en tres bloques se les agregó una mezcla de Sulfato de Zinc al 7% y Sulfato de Cobalto al 7% en partes iguales hasta su crecimiento.

Al momento de aplicar los tratamientos se utilizó un fungicida en spray con el ingrediente activo cobre sistémico 0.4%, extractos orgánicos 0.45%, activadores de resistencia patógena, así como ingredientes inertes aplicando cinco veces por charola.

3.3.1 Cronología de actividades para germinación de la semilla:

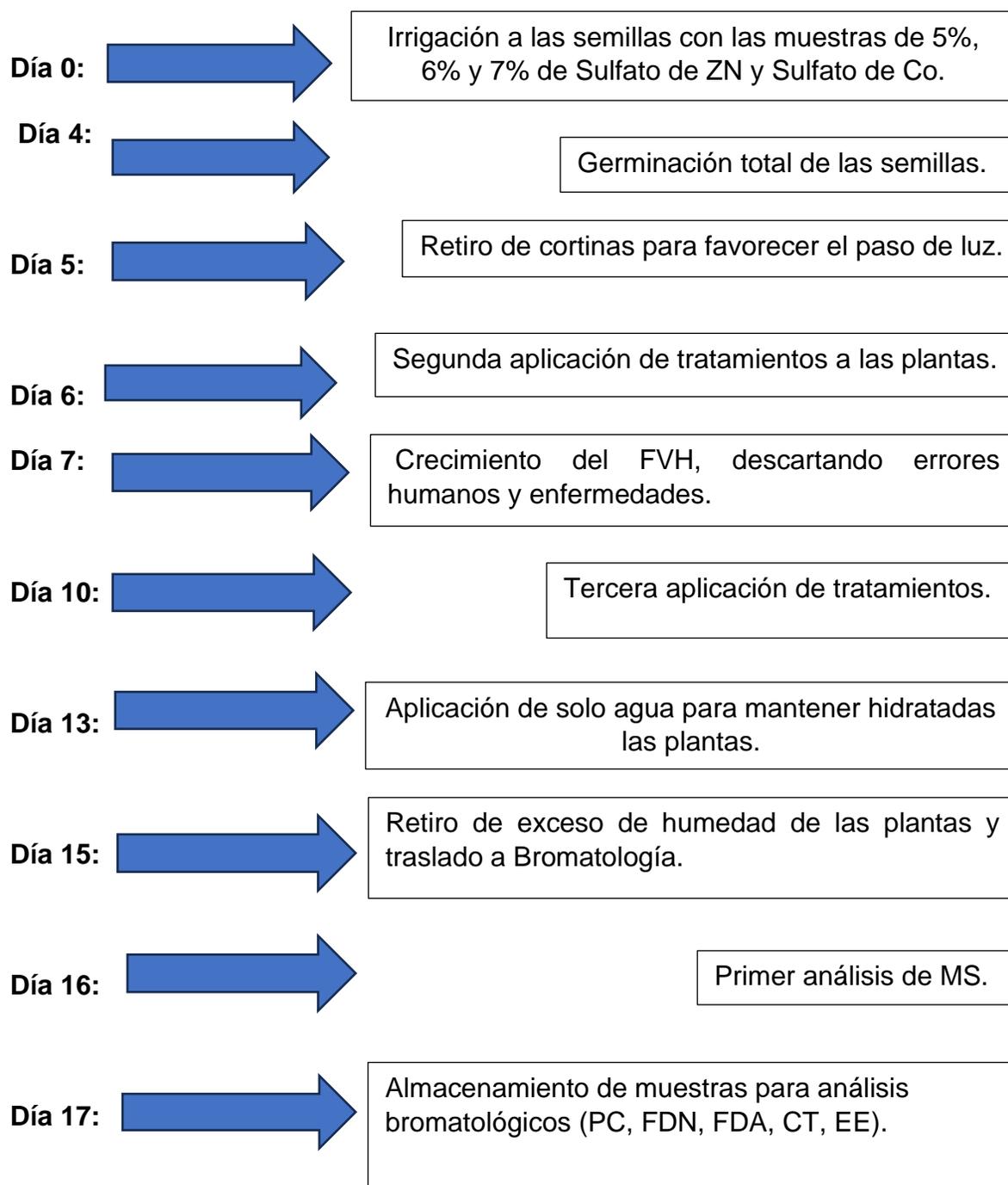


Figura 3, cronología exacta del curso que siguieron las plantas en cuestión de aplicación de tratamientos, germinación y traslado entre laboratorios.

3.3.2 Análisis bromatológico.

Los análisis bromatológicos se realizaron mediante las técnicas descritas por la (AOAC, 1990) en el laboratorio de Bromatología de la UAAAN unidad Laguna.

Después de la germinación de los brotes de las semillas y el crecimiento del forraje verde hidropónico (FVH) a partir del día 17, de las 10 charolas que, por tratamiento, solo fueron seleccionadas las nueve mejores fenotípicamente para establecer tres bloques con 3 repeticiones cada bloque, descartando en cada tratamiento una charola.

3.3.3 Determinación de materia seca.

Para determinar materia seca del material vegetativo, se mezclaron tres charolas formando 3 grupos por cada tratamiento. Las mezclas se pesaron en fresco en una balanza semianalítica de la marca comercial "Explorer OHAUS" en bolsas de papel previamente tarado (peso constante). Se llevaron a la estufa a una temperatura de 65° C durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo, las bolsas se llevaron al desecador por una hora aproximadamente para dejar enfriar y evitar que absorbieran humedad del ambiente. Transcurrido ese tiempo se volvieron a pesar, para obtener el % de materia seca por diferencia de peso, utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ Materia Seca} = \frac{\text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso total de la muestra verde}} \times 100$$

Peso total de la muestra verde

Una vez se obtuvieron los primeros datos se continua con la molienda de las muestras en el molino tipo wiler limpiando con la brocha las superficies del molino para que no queden remanentes entre una muestra y otra. Posteriormente se almacenan para continuar con los análisis bromatológicos.

3.3.4 Determinación de Proteína cruda por el método Kjeldahl.

Para el análisis de proteína bruta se pesa un gramo de muestra y se vierte el contenido de la materia orgánica en el tubo digestor micro-Kjeldahl y se le agregan 12 ml de Ácido Sulfúrico al 10% con ayuda de una pipeta. Después se le agregan 4 gramos de pastillas catalizadoras ($K_2SO_4 \cdot XH_2O$) se mezcla cuidadosamente y se lleva al Micro Kjeldahl para la digestión gradual a $150^\circ C$ hasta $420^\circ C$ por un periodo total de una hora y 30 minutos, se dejaron enfriar por lo menos 30 minutos.

Una vez transcurrido el tiempo se llevan los tubos con la ayuda de las pinzas al destilador KJELTECTM 8100 para el proceso final de nitrógeno total. Se coloca el matraz de 250 ml con 50 ml de ácido bórico al 20% en la compuerta principal del destilador para recuperar el destilado, en donde por composición química los elementos orgánicos se desnaturalizan cambiando su tonalidad a color verde. Posteriormente el Nitrógeno amoniacal se determinó por titulación con ácido clorhídrico al 0.1 N Hasta el punto de equivalencia indicado por el cambio de color cuando se tornó a un color rosado.

Se debe tomar en cuenta que el peso molecular del nitrógeno dentro de los elementos químicos de la tabla periódica es de 14.007 para posteriormente realizar los cálculos exactos de Proteína Cruda con la siguiente formula:

$$\% N = \frac{(V. Muestra - V. Blanco \text{ ml}) (N \text{ ácido HCl}) (14.007)}{\text{mg de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ de proteína} = \% N (6.25)$$

Muestra ml= Volumen de titulación de la muestra.

Blanco ml= Volumen de titulación blanco (muestra con solo 0.3 de titulación de ácido clorhídrico).

N= Normalidad del ácido clorhídrico.

Peso molecular del Nitrógeno= 14.007.

F= 6.25 (Factor de conversión relacionado con la cantidad de Nitrógeno contenido en los aminoácidos de las proteínas).

3.3.5 Fibra Detergente Neutra (FDN; Método Van Soest).

Este análisis de fibras detergente neutra se encarga de dividir los componentes y contenidos celulares en fracciones tan pequeñas al grado de ser semejantes a la digestión total del animal, que en este caso al ser digeridas las fibras con una solución de pH neutro se degradan los lípidos, azúcares, ácidos orgánicos, sustancias hidrosolubles, pectina, almidón, nitrógeno no proteico y proteína soluble.

Se pesan en la báscula analítica muestras de 0.500 g y se colocan a los vasos de Berzelius, después se agregan 100 ml de la solución detergente neutra (pH 7), para colocarlos de manera cuidadosa en el aparato digestor de fibra, se enciende el aparato y justo cuando han pasado alrededor de 15 minutos se agregan 0.5 ml de la solución alfa amilasa con la finalidad de degradar los elementos orgánicos como lípidos, azúcares, y proteínas de las células vegetales durante la digestión. Se mantiene la digestión por 60 minutos. Se dejó enfriar y se procedió a filtrar la muestra en un papel filtro previamente tarado (peso constante) a través de un embudo de porcelana Buchner en un matraz quita zato con la ayuda con la ayuda de una bomba de vacío. Al finalizar se sellan las muestras con 20 ml de acetona y se trasladan a la estufa donde permanecerán durante 24 horas a 100° C. Transcurrido el tiempo se retiran de la estufa con ayuda de las pinzas metálicas y se colocan en el desecador de vidrio durante un tiempo aproximado de 1 hora, donde por último se pesarán los filtros para realizar los cálculos correspondientes de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{FDN (\%)} = \frac{\text{Peso final de la muestra y filtro} - \text{Peso inicial del filtro}}{\text{gramos de la muestra}} \times 100$$

3.3.6 Fibra Detergente Ácida (FDA; Método Van Soest).

El análisis de fibra detergente ácida (FDA) se refiere a los constituyentes menos solubles de la pared celular, representados básicamente por celulosa y lignina, insolubles en detergente ácido.

Se pesan en báscula analítica muestras de 0.500 y se colocan en los vasos de Berzelius, después se agregan 100 ml de la solución detergente ácida para colocarlos de manera cuidadosa en el aparato digestor de fibra, se enciende el aparato y se mantiene la digestión por 60 minutos. Se dejó enfriar y se procedió a filtrar la muestra en un papel filtro previamente tarado (peso constante) a través de un embudo de porcelana Buchner en un matraz quitazato con la ayuda de una bomba de vacío. Al finalizar se sellan las muestras con 20 ml de acetona y se trasladan a la estufa donde permanecerán durante 24 horas a 100° C. Transcurrido el tiempo se retiran de la estufa con ayuda de las pinzas metálicas y se colocan en el desecador de vidrio durante un tiempo aproximado de una hora, donde por último se pesarán los filtros para realizar los cálculos correspondientes de acuerdo a la siguiente formula;

$$\text{FDA (\%)} = \frac{\text{Peso final de la muestra y papel} - \text{Peso inicial del papel}}{\text{Gramos de la muestra}} * 100$$

3.3.7 EE (grasa bruta).

El extracto etéreo, como se le conoce se utiliza para determinar la cantidad de grasa total que se encuentra proveniente de una muestra orgánica, está formada principalmente por lípidos y otras sustancias que no lo son, pero que son solubles en ciertos solventes orgánicos.

Para determinar el EE se pesan con la ayuda de pinzas metálicas (a peso constante) los vasos con borde esmerilado. Se colocan dos gramos de la muestra previamente secada y molida del FVH en un papel filtro, se debe doblar el papel de tal forma que no se salga nada de la muestra para ser introducidos dentro de un dedal de asbesto, este a su vez será introducido a un porta dedal de vidrio que serán insertados de manera uniforme en el aparato de Goldfish, mientras tanto al vaso de borde

esmerilado se le vierten 40 ml de éter de petróleo y se sujeta herméticamente con la ayuda del empaque de un caucho al aparato para formar un vacío, quedando los porta dedales justo al centro del vaso. Se encienden las parrillas del aparato para calentar el éter y que recircule en el vaso por un tiempo aproximado de 4-5 horas, de esta manera el éter en contacto con la muestra extrae las sustancias grasosas.

Pasando el tiempo, se apaga el aparato y se deja evaporar el éter, para que la grasa se quede adherida a las paredes del vaso.

Se retiran los vasos con las pinzas y se llevan al desecador para dejar enfriar por 1 hora, finalmente serán pesados para realizar los cálculos correspondientes mediante la siguiente fórmula:

$$EE (\%) = \frac{\text{Peso final del vaso esmerilado} - \text{peso inicial del vaso esmerilado}}{\text{Gramos de la muestra}} * 100$$

3.3.8 Determinación de cenizas totales.

Las cenizas fueron obtenidas mediante la calcinación de la materia orgánica, ya este es el material inorgánico de la muestra.

Para la determinación de cenizas, se utilizaron crisoles y pinzas metálicas para su manipulación. Una vez que las muestras fueron secadas y molidas se pesaron aproximadamente 2 gramos de muestra en un crisol seco y previamente tarado (peso constante), posteriormente los crisoles fueron colocados en una mufla a 550 °C para su combustión durante 4 horas con la finalidad de obtener unas cenizas blancas sin la presencia de partículas carbonosas. Transcurrido el tiempo, se debe enfriar la mufla gradualmente a 150° C para contrarrestar las altas temperaturas y que los crisoles puedan ser colocados a un desecador de vidrio por unas horas hasta que se enfríe completamente y finalmente fueron pesados para realizar los cálculos correspondientes mediante la siguiente formula:

$$CENIZAS (\%) = \frac{\text{Peso final del crisol} - \text{Peso inicial del crisol}}{\text{Gramos de la muestra.}} * 100$$

3.3.9 Análisis estadísticos

Se utilizó un arreglo factorial completamente al azar de 4 grupos con 3 repeticiones, los cuales fueron sometidos a un análisis de varianza y se realizaron separación de medias mediante la prueba de test de Tukey ($p < 0.05$). Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico SAS (García *et al.*, 2001)

4 RESULTADOS

Los resultados bromatológicos en la materia seca no mostró cambios significativos en el grupo control y en los demás tratamientos de los grupos experimentales ($p > 0.05$).

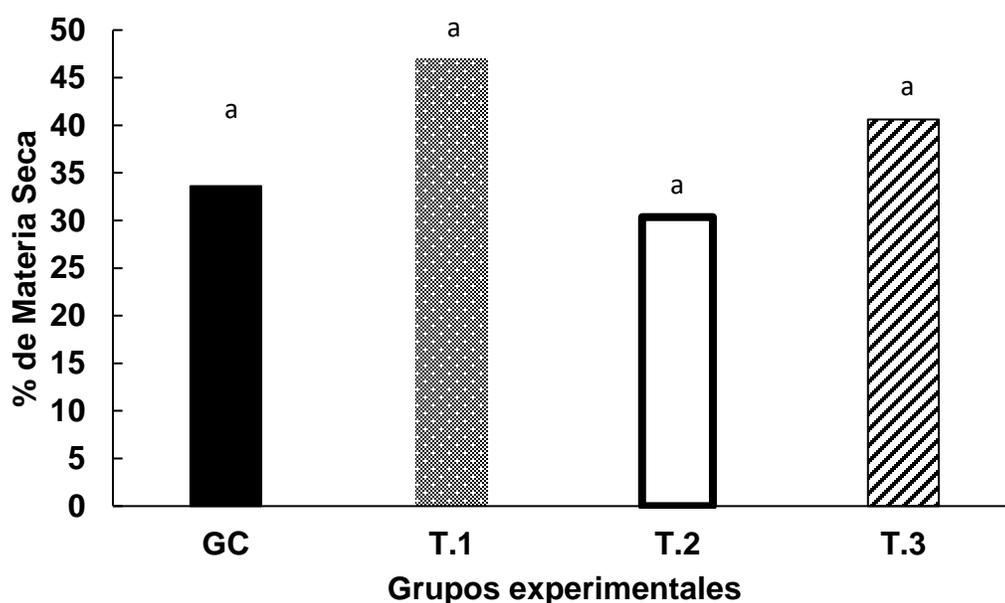


Fig. 1. Gráfica de medias de resultados de MS del FVH de maíz (*Zea may*) de los 4 grupos (GC: agua; T1: ZnSO₄ 5% + CoSO₄ 5%; T2: ZnSO₄ 6% + CoSO₄ 6%; T3: ZnSO₄ 7% + CoSO₄ 7%)

Los resultados en la PC no mostrarán diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto al grupo control y los grupos de tratamientos enriquecidos con Zinc y Cobalto. Se puede observar en los resultados que en el **T1** existe un 9.6%, el **T2** un 8.3% y en el **T3** un 9.4%. Resultados muy similares al **GC** 9.6% en el que solo fueron alimentadas las plantas con agua convencional, por lo que no hubo tampoco cambios significativos en donde $P = 0.46$ según la prueba de Tukey.

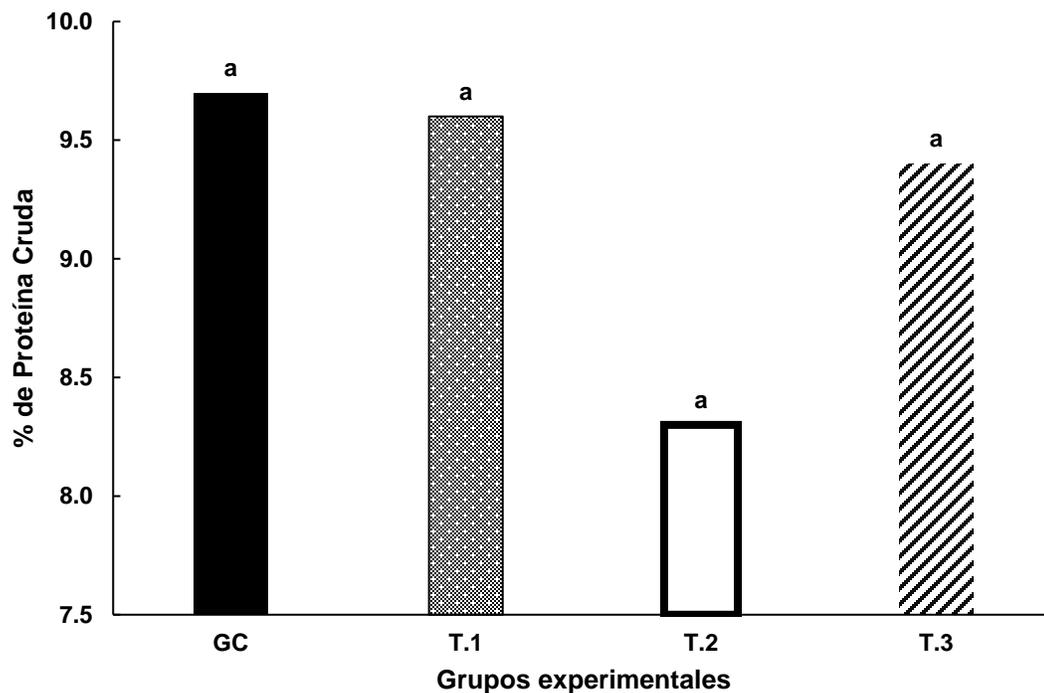


Fig. 2. Gráfica de medias resultados de PC del FVH de maíz (*Zea mays*) de los 4 grupos (**GC**: agua; **T1**: ZnSO_4 5% + CoSO_4 5%; **T2**: ZnSO_4 6% + CoSO_4 6%; **T3**: ZnSO_4 7% + CoSO_4 7%)

Respecto a los resultados de Fibra Detergente ácido, se registró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los grupos, donde el **GC** (14.5%), **T1** (23%) y **T3** (16.8%) fueron estadísticamente iguales. Sin embargo el **T1** y **T2** también se compararon de manera similar con un 23 y 27% de FDA, respectivamente.

En el tratamiento testigo como ya se ha comentado anteriormente solo se aplicó agua convencional para su posterior análisis, sin embargo, en el T1 se aplicaron 5 ml de Zinc y 5 ml de Cobalto por cada 100 ml de agua absorbida por las plantas, es decir mineral al 5%, posteriormente en el T2 mineral al 6% y en el T3 mineral al 7%.

Los cambios significativos según la prueba de Tukey son; ($p < 0.05$), esto significa que los tratamientos realizados en el experimento surtieron efecto sobre las estructuras de la planta.

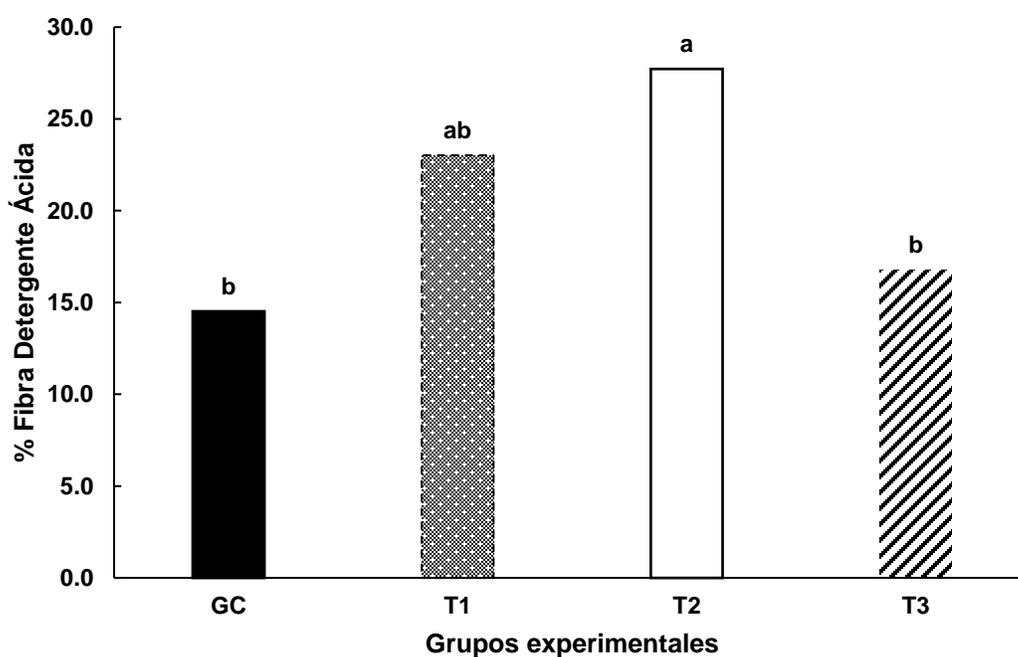


Fig. 3. Grafica de medias de resultados de FDA del FVH de maiz (*Zea mays*) de los 4 grupos (**GC**: agua; **T1**: ZnSO₄ 5% + CoSO₄ 5%; **T2**: ZnSO₄ 6% + CoSO₄ 6%; **T3**: ZnSO₄ 7% + CoSO₄ 7%)

En esta parte del estudio con la FDN no se obtuvieron diferencias significativas en ningún grupo experimental, como en comparación con la FDA. Donde el **GC** fue de 28.1%, **T1** 23.9%, **T2** 28.2% y **T3**: 24.9% de FDN respectivamente.

Esto nos indica que no hay cambios significativos en la FDN, según la prueba de Tukey ya que se obtuvo una $p (> 0.05)$ y en relación los rangos por variable estuvieron oscilando entre 20-30%.

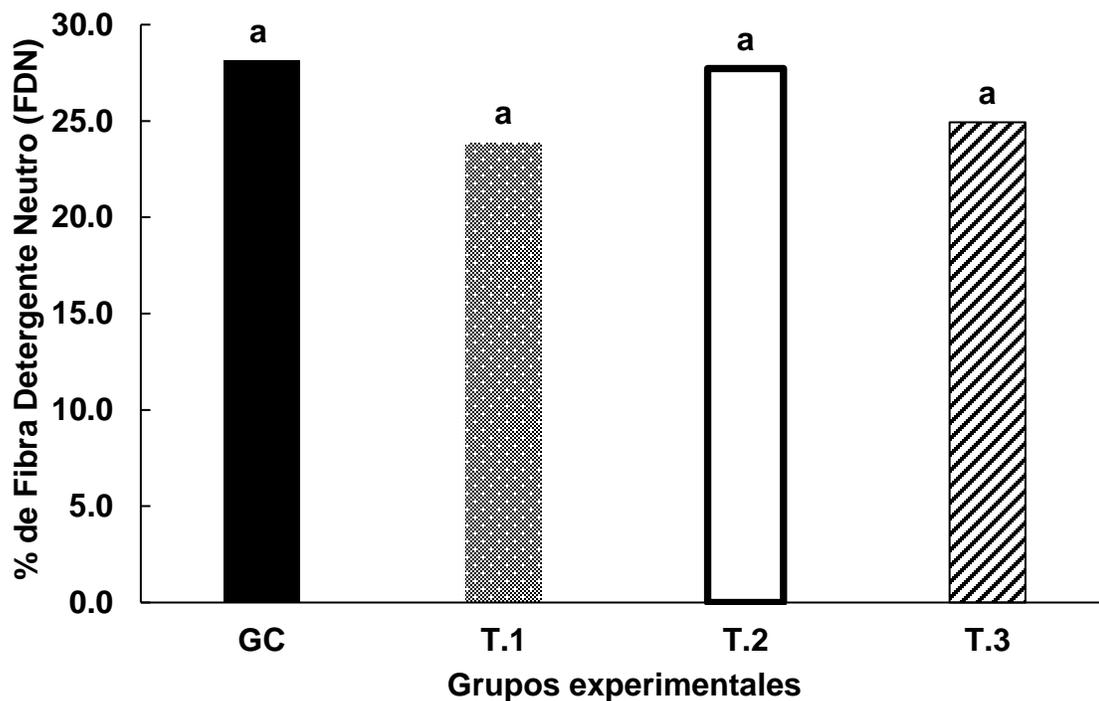


Fig. 4. Grafica de medias de resultados de FDN del FVH de maiz (*Zea mays*) de los 4 grupos (**GC**: agua; **T1**: ZnSO₄ 5% + CoSO₄ 5%; **T2**: ZnSO₄ 6% + CoSO₄ 6%; **T3**: ZnSO₄ 7% + CoSO₄ 7%)

Se registraron diferencias significativas respecto al contenido de cenizas en los Grupos experimentales **T1** (1.8%), **T2** (2.2%) y **T3** (2.2%) en relación con el GC (1.3%) donde se observo un incremento importante de cenizas.

Los resultados anteriores explican que las cenizas aumentaron considerablemente después de llevar a cabo el experimento se obtuvieron cambios significativos documentados con la prueba de Tukey $P= 0.009$, considerando que todas las muestras tuvieron un peso inicial de 2 gramos.

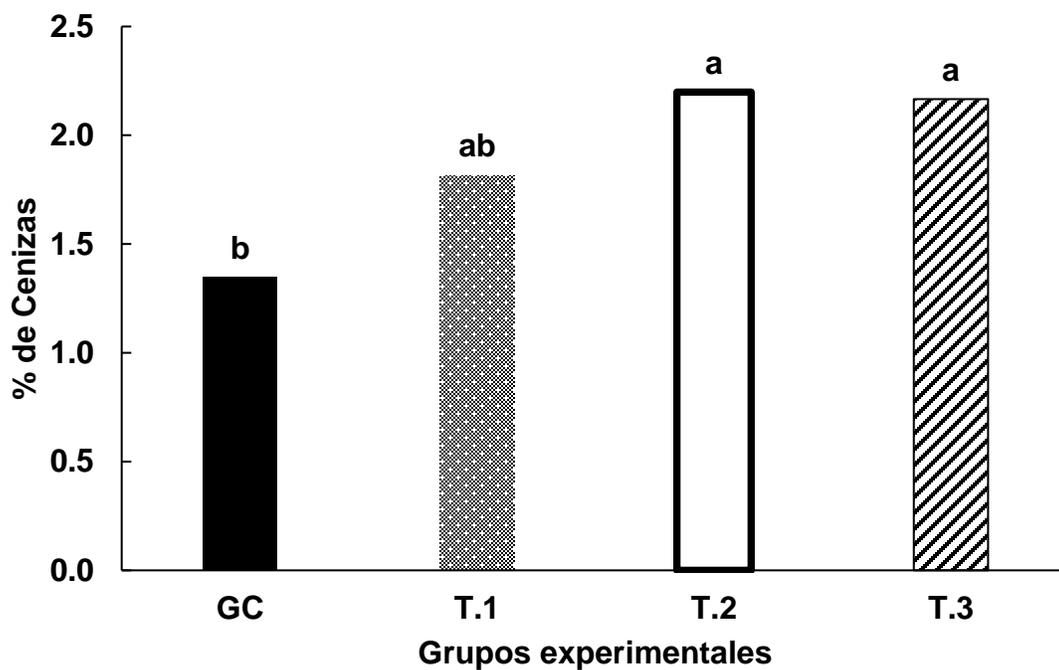


Fig. 5. Grafica de medias de resultados de cenizas del FVH de maiz (*Zea mays*) de los 4 grupos (**GC**: agua; **T1**: $ZnSO_4$ 5% + $CoSO_4$ 5%; **T2**: $ZnSO_4$ 6% + $CoSO_4$ 6%; **T3**: $ZnSO_4$ 7% + $CoSO_4$ 7%)

La grasa o el extracto etéreo disminuyó considerablemente en los tres grupos experimentales por el aditamento mineral en relación con el grupo control.

Como **GC** (solo agua) se obtuvo: 8%, **T1** (5% Zn y 5% Co): 4.6%, **T2** (6% Zn y 6% Co): 4.4% y **T3** (7% Zn y 7% Co): 6.5%

En esta variable también se obtuvieron de manera conjunta cambios significativos según la prueba de Tukey con una ($P < 0.05$).

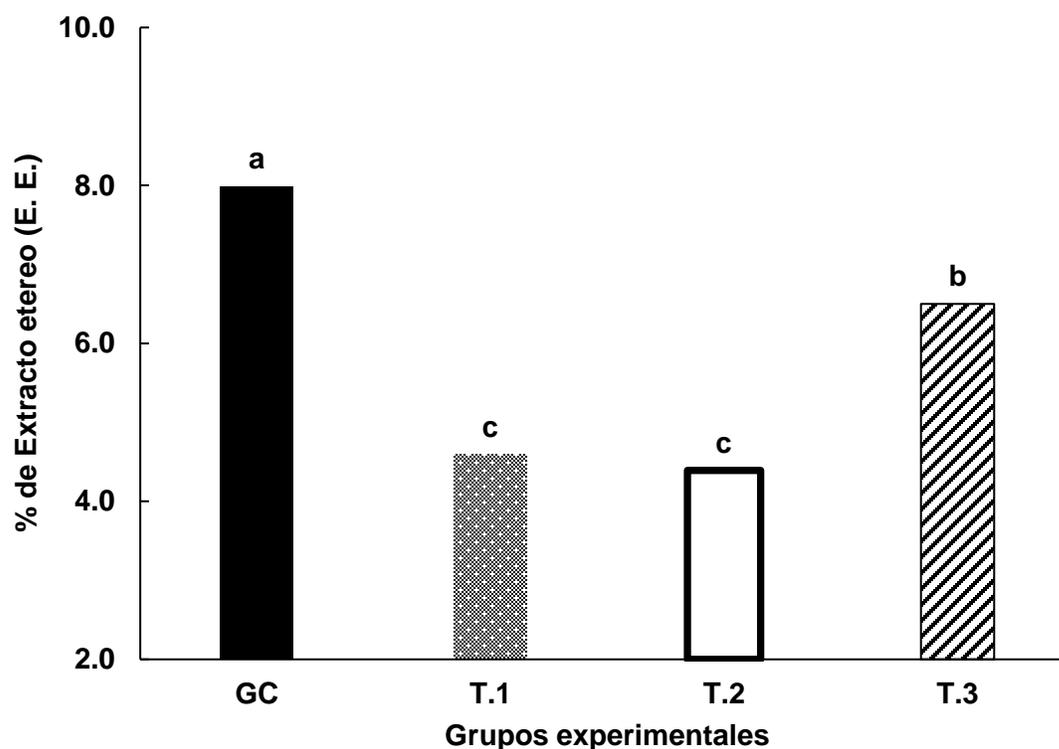


Fig. 6. Grafica de medias de resultados de EE del FVH de maiz (*Zea mays*) de los 4 grupos (**GC**: agua; **T1**: ZnSO₄ 5% + CoSO₄ 5%; **T2**: ZnSO₄ 6% + CoSO₄ 6%; **T3**: ZnSO₄ 7% + CoSO₄ 7%)

5 DISCUSIÓN

La aplicación de las soluciones de Sulfato de Cobalto y Sulfato de Zinc en diferentes concentraciones al FVH, mediante el riego, no afectó de manera significativa ($p>0.05$) la materia seca del forraje de maíz en este experimento, coincidiendo con el estudio realizado por Vargas (2008). Sin embargo, el trabajo con diferentes tipos de semillas, mientras que en esta investigación solo se trabajó con maíz híbrido.

Los forrajes hidropónicos de granos de cereales se desvían en su contenido de nutrientes una vez que el contenido de almidón disminuye, por lo tanto, el contenido de materia orgánica como el de materia seca disminuyen, lo que coincide con este trabajo de investigación. varios estudios informaron que la germinación resultó en una pérdida de 7 a 47 % de materia seca (MS) de la semilla original en un periodo de 6 a 7 días, principalmente debido a la respiración durante el proceso de germinación (Nonigopal, 2019). Respecto a la proteína cruda en este experimento se puede apreciar que los resultados no muestran diferencia significativa ($p>0.05$) en todos los tratamientos, el GC alcanzó un 9.7%, cifra muy parecida a la encontrada por Vargas (2008), el cual encontró un 9.61% de PC en el forraje verde hidropónico de maíz a los 14 días de siembra. En otro estudio de Moyano y Sánchez (2012), concluyeron que el FVH de maíz presenta su pico máximo proteico el día 10, mientras que comienza a descender gradualmente el día 12, para posteriormente presentar un descenso vertiginoso cayendo en los rangos documentados por este trabajo, donde el FVH finalizó a los quince días de su germinación total. Candia (2014) señala que el contenido de proteína cruda mínimo que debe tener un FVH es de 7%, ya que con un valor menor a este se tiene un efecto negativo en ganancia de peso, crecimiento, reproducción o lactancia de los animales. La Fibra Detergente Ácida (FDA) se refiere a los constituyentes menos solubles de la pared celular, representados básicamente por celulosa y lignina, insolubles en detergente ácido, es decir las fibras indigestibles de un forraje. en relación a este parámetro se puede observar que durante el desarrollo del FVH hay un aumento en la concentración de germinación de la semilla, lo que explica que el desarrollo de carbohidratos estructurales aumenta, la concentración de fibra cruda

(FC), fibras Detergentes Ácidas (FDA) y ácido linoleico, pero disminuye el extracto libre de nitrógeno (ELN) (Nonigopal 2019). En relación a la Fibra Detergente Ácida (FDA) los minerales utilizados en este estudio como el Zn y el Co pudieron haber influido en el FVH fortaleciendo las fibras de las plantas como la celulosa y lignina que es lo que se encarga de fraccionar en este análisis, por ello, se pudo ver reflejado en los tratamientos 1 y 2 en relación con el GC ($p > 0.05$). Estos resultados obtenidos difieren en comparación con lo encontrado en un estudio realizado por Torres *et al.*, 2015, ya que en su trabajo reporta una FDA con 30% de fibras totales, mientras que en este trabajo el tratamiento control fue diferente ($p > 0.05$; 14.5%), con respecto a los tratamientos 1 y 2 ($p > 0.05$; 23 y 27% respectivamente) llegando casi a las cifras de Maldonado *et al.*, 2013, para disminuir el porcentaje de FDA a un 16.8%, con el tratamiento 4 que era el que tenía mayor concentración de estos microelementos, esto puede explicarse debido a que si bien el Zinc es un microelemento esencial que sirve como cofactor enzimático para la producción de semillas y ayuda al correcto establecimiento de las membranas celulares, además de mantener estables a los ribosomas para que lleven a cabo su correcta funcionalidad con el ADN (Pérez, 2017), este elemento resulta tóxico en grandes cantidades para las plantas porque ocasiona un desbalance metabólico generalizado en sus células, ya que los síntomas visibles asociados a niveles excesivos de Zinc en los tejidos y órganos de las plantas son: la disminución de frutos y semillas, un crecimiento atrofiado y el amarillamiento de las hojas (Amezcu y Lara, 2007). En cambio, la Fibra Detergente Neutra (FDN) más digerible será esta para los animales, en realidad no hay nada más novedoso para optimizar la digestibilidad del FDN, entre más madura un forraje decrece el contenido de energía y digestibilidad (Hoffman *et al.*, 2007), similar a los resultados obtenidos, donde se alcanza a observar que la FDN es más elevada a la FDA porque al tratarse en este caso de un forraje relativamente joven la digestibilidad es mayor.

Existen elementos minerales que pueden estimular el crecimiento de las plantas pero que no están comprendidos dentro de los criterios de esencialidad mencionados anteriormente. Algunos de ellos resultan esenciales solamente para algunas especies o bajo ciertas condiciones muy especiales. Estos elementos

usualmente son definidos como elementos benéficos y aplica a elementos como: sodio, cloro, silicio, cobalto, vanadio, etc. (Pérez, 2017)

Los resultados de cenizas fueron diferentes ($p > 0.05$) en los tratamientos T2 y T3 con respecto a GC y T1, coincidiendo con lo establecido por Medina *et al.*, 2022, donde los resultados de cenizas totales se expresan de manera negativa por el aumento de estos elementos cuando fueron fertilizados los forrajes hidropónicos con minerales no convencionales, debido a que durante el proceso de brotación aumenta el contenido total de cenizas, este puede ser asociado con la disminución de materia orgánica, en efecto, en este estudio se utilizó una solución de minerales mas concentrados en los tratamientos 2 y 3 comparados con el GC y T1. (Dung *et al.*, 2010). Los métodos más comúnmente usados para la extracción y cuantificación de grasas de los alimentos consisten en la extracción directa con uno o varios disolventes, utilizando un equipo de extracción (Murrieta, 2017). La germinación cataboliza el almidón en azúcar soluble durante el procesamiento bioquímico de las plantas. Con esto se puede explicar porque se tienen cambios significativos entre el grupo control (CG) y los tratamientos ($P > 0.05$) debido a que los minerales aplicados ($ZnSO_4$ y $CoSO_4$) de manera directa influyeron metabolizando carbohidratos de manera mas demandante para así ser expresado en una menor cantidad de grasa en el análisis del extracto etéreo. Esto se le atribuye a que el extracto etéreo del forraje hidropónico aumenta debido al incremento de lípidos estructurales y clorofila a medida que la planta crece, además el remojo de semillas activa las enzimas que convierten el almidón almacenado en el endospermo en un azúcar simple que produce energía y emite dióxido de carbono y agua que conduce a la pérdida de MS con un cambio de almidón en la semilla a fibra y pectina en las raíces y los brotes verdes (Cakmak, 2000; Nonigopal, 2019).

6 CONCLUSIÓN

En este estudio se encontró evidencia que la irrigación con diferentes concentraciones de $ZnSO_4$ y $CoSO_4$ influyen en la composición bomatológica del forraje verde hidropónico, sobre todo en el contenido de extracto etéreo, Fibra Detergente Ácida y Cenizas totales, en este último se observó mayor cantidad de minerales conforme incrementaba la concentración en los tratamientos, por lo que se sugiere una mayor absorción de minerales por parte de las raíces del forraje que posiblemente fué debido a las combinaciones de minerales de Zn y Co, además el EE también mostró un comportamiento similar. Estos resultados indican que la tecnología de FVH puede ser una alternativa para el suministro de forraje de calidad para la producción ganadera sostenible, sin embargo es imprescindible continuar con estudios que muestren un panorama de mayor alcance para esta tecnología.

7 LITERATURA CITADA

- Acosta, L., Néstor, V., Lima, O. R., Castro, A. A., Avellaneda, C. J. H. y Suárez, R. Y. G., 2016, Evaluación de diferentes sistemas de producción de biomasa hidropónica de maíz, *Centro Agrícola*, 43 (4), 57-66.
- Amezcuca, R. J. C. y Lara, F. M., 2017, El Zinc en las plantas, *Ciencia*, 68 (3), 28-36 pp.
- AOAC, 1990, Official Methods of analysis, agricultural chemicals; contaminants drugs, 15th edition, 1, 771 pp.
- Candia, L., 2014, Evaluación de la calidad nutritiva de forraje verde de cebada *Hordeum Vulgare* Hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de *Cuy Cavia porcellus* a dos concentraciones, *Salud Tecnología*, 2, 55-62 pp.
- Cakmak, I., 2000, Possible roles of Zinc in protecting plant cell from Damage by reactive Oxygen Species, *Journal New Phytologist*, 146, 185-205 pp.
- Cerrillo, S. M. A., Juárez, R. A. S., Rivera, A. J. A., Guerrero, C. M., Ramírez, L. R. G. y Bernal, B. H., 2012, Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena, *Interciencia*, 37, 906-913 pp.
- Chethan, K. P., Gowda, N. K. S., Prabhu, T. M., Krishnamoorthy, P., Dey, D. K., Giridhar, K. y Anandan, S., 2022, Nutritional evaluation of hydroponic Maize (*Zea mays*) Grain Sprouts a newer green feed resource in lambs, *Indian Journal of Animal Research*, 56 (4), 434-443 pp.
- Courtis, A. C, 2013, Germinación de semillas, Catedra de fisiología vegetal, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de Agrimensura, 1-22 pp.
- De la Cuadra, C., 2008, Germinación, latencia y dormición de las semillas, *Secretaría General de Estructuras Agrarias*, 3 (92), 1-24 pp.
- Dung, D., Godwin I. R. y Nolan, J., 2010, Nutrient Content and in sacco Degradation of Hydroponic Barley sprouts Grown using Nutrient Solution or Tap Water, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, 2432-2436 pp.
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H. A., Shoayee, A. A., Montajebi, N. y Mosharraf, S., 2011, Performance of Feedlot Calves Fed Hydroponics Fodder Barley, *Journal Agrosience Technology*, 13, 367-375 pp.

Flores, G. S. y Chilón, C. E., 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, Revista de la carrera de Ingeniería Agronómica-UMSA, 5 (1), 1430-1440 pp.

García, V. J.A., Morales, A. C., Ramírez, G. M. E., Rendon, S. G. y Larque, S. M. U., 2001, Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para la selección de medias, Agrociencia, 35 (1), 1-9 pp.

Girma, F. y Gebremariam, 2018, Review on Hydroponic Feed Value to Livestock Production, Journal of Scientific and Innovate Research, 7 (4), 106-109 pp.

Grigas, A., Kemzuraite A. y Steponavicius, D., 2020, Hydroponic devices for green fodder production, Development Rural, 1, 21-27 pp.

Guerrero-Cervantes, M., Cerrillo-Soto, M. A., Plascencia, A., Salem, A. Z. M., Estrada-Angulo, A., Ríos-Rincón, F. G., Luginbuhl, J. M., Bernal-Barragán, H. y Abdalia, A. L., 2016, Productive and reproductive performance and metabolic profiles of ewes supplemented with hydroponically grown green wheat (*Triticum aestivum* L.), Animal Feed Science and Technology, 22 (1), 206-214 pp.

Hassen, A. y Abdula, A. H., 2022, Contribution of Hydroponic Feed for Livestock Production and Productivity, Frontiers Science, 3 (1), 1-7 pp.

Hoffman, P. C., Lundberg, K. M., Bauman, L. M., Randy, D. y Contreras, G. F. E., 2007, El efecto de la madurez en la digestibilidad del FDN (Fibra Detergente Neutro), Focus on Forage, 5, 1-2 pp.

Maldonado, T. R., Álvarez, S. E., Acevedo, D. C. y Ríos, S. E., 2013, Nutrición mineral de forraje verde hidropónico, Revista Chapingo, 19 (2), 211-223 pp.

Medina, A. A., Gaytán, A. L., Camberos, U. N., Mendoza, P. S. I., Veliz, D. F. G. y Arellano R. G., 2022, Biofortificación con cobre en el forraje verde de trigo, Ecosistemas y recursos agropecuarios, 8 (2), 1-10 pp.

Meza, C. Z., 2005, Evaluación de variedades de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico, 1-105 pp.

Moyano, H. L. F. y Sánchez, M. H. V., 2012, Comportamiento de la proteína de forraje verde hidropónico en función del tiempo de cosecha, Revista en Sistemas de Producción Agroecología, 3 (2), 36-46 pp.

Murrieta, L. K. G., 2017, Manual de prácticas de la EE de: "Análisis de alimentos", Universidad Veracruzana, 1-54 pp.

Nava, R., Lliná, A., Ramírez, E. G., Segura, C. E. P. y Martínez, H. J. L., 2009, Efectos de extracto de origen natural sobre el sistema de producción de forraje verde hidropónico, SIPAL, 1-2 pp.

Nonigopal, S., 2019, Hydroponic fodder production: an alternative technology for sustainable livestock production in India, Exploratory Animal and Medical Research, 9 (2), 1-9 pp.

Ortega, E. A. y Malavolta, E., 2012, Los más recientes micronutrientes vegetales, IAH, 7, 1-10 pp.

Osorno, R. R. A. y Gonzales, M. L. M., 2012, Producción y calidad de la biomasa de *Zea mays*, sorghum bicolor, *Orizaba sativa* en alfombra forrajera hidropónica, Universidad Nacional Agraria, Managua Nicaragua, 1-39 pp.

Pérez, L. F., 2017, Fisiología vegetal, Universidad Nacional de Ucayali, Perú, 1.175 pp.

Rivera, A., Moronta, M., González, E. M., González, D., Perdomo, D., García, E. D. y Hernández, G., 2010, Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente, Zootecnia Tropical, 28, 33-41 pp.

Saboor, A., Arif, A. M., Hussain, S., Enshasy, H. A., Ahmed, N. y Gafur, A., 2021, Zinc nutrition and arbuscular mycorrhizal symbiosis effects on maize (*Zea mays* L.) growth and productivity, Saudi Journal of Biological Sciences, 28 (11), 6339-6351 pp.

Salas, P. L., Preciado, R. P., Esparza, R. J. R., Álvarez, R. V. P., Palomo, G. A., Rodríguez, D. N. y Márquez, H. C., 2010, Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica, Terra Latinoamericana, 28, 355-360 pp.

Silva, A. J. C., Kaique, V. J., Faria, D. J. G., Noronha, C. M. S., Velarde, J. M. S., Mendes, J. P., Pietramale, R. T. R. y Momo, Z. H., 2020, Bromatological composition and dry matter production of corn hydroponic fodder, Animal Sciences, 43 (1), 1-8 pp.

Soto-Bravo, F. y Ramírez-Viquez, C., 2018, Efecto de la nutrición mineral sobre el rendimiento y características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz, Pastos y forrajes, 41 (2), 98-104 pp.

Torres, B., Martha, H., Palacios, E. A., Palacios, O. A., Choix, F. J., Valle, A. F. J., López, A. D. R. y Espinosa, V. J. L., 2015, La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz, *Revista Argentina de Microbiología*, 47 (3), 236-244 pp.

Vargas, R. C. F., 2008, Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero, *Agronomía Mesoamericana*, 19 (2), 233-240 pp.

Zárate, A. M. A., 2014, *Manual de Hidroponía*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1-42 pp.