



Producción de biomasa y valor nutricional de forraje verde hidropónico en semillas de maíz, trigo y cebada

Tesis profesional para obtener el título de:
**Ingeniero en Innovación Agrícola
Sustentable**

Presentan:

Dulce Melani Aide Pérez Patiño

Ulises Jesus López Ledesma

Director de Tesis:

Dra. Patricia González Granados

Codirector de Tesis:

Dr. Oscar Jesús Ortiz Arrazola



Autorización de presentación de trabajo de titulación

Se autoriza a los estudiantes **Dulce Melani Aide Pérez Patiño y Ulises Jesus López Ledesma** inscritos en la Ingeniería “Innovación Agrícola Sustentable” del Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, con los números de control **AS19110012 y AS19110078**, a defender su proyecto de trabajo de titulación “**Producción de biomasa y valor nutricional de Forraje Verde Hidropónico en semillas de maíz, trigo y cebada**” ante el comité sinodal asignado.

La presente se expide en Abasolo, Guanajuato al 26 de enero del 2024.

Dra. Patricia González Granados
Presidente del sínodo

Dr. Oscar Jesús Ortiz Arrazola
Secretario del sínodo

Ing. Francisco Solórzano Godínez
Vocal del sínodo

Dedicatorias

Quiero dedicar este proyecto principalmente a Dios por darme fuerzas para sacar este logro adelante, por brindarme sabiduría, salud y entendimiento, por esta etapa y todas las anteriores.

A mis padres Mauro Antonio Pérez Rosales y Ma. Guadalupe Patiño Miranda, por estar en cada etapa forjándome como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes incluyendo este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final con un mismo objetivo, me motivaron día a día para no abandonar este sueño, me ayudaron a creer que los sueños si se cumplen y no durmiendo si no despierto luchando, siendo constante y perseverante. Gracias por ser quien son, por su superación, esfuerzo, sacrificio y humildad por no quedarse donde estaban y darnos todo lo que estuviera a su alcance, estoy muy orgullosa de ustedes, sé que no soy la mejor hija, pero siempre me he esforzado para que se sientan orgullosos de mí y sé que lo están y lo estarán siempre.

Por ser una de las más chicas de sus hijos aquí está lo que ustedes me brindaron, solamente les estoy devolviendo un poco de lo que ustedes me dieron en un principio.

Los amo mucho y siempre les agradeceré el brindarme los recursos necesarios para estar donde estoy, sin más que decir este logro es para ustedes. También le dedico este logro a toda mi familia, hermanos, hermanas, sobrinos y sobrinas que de una u otra forma estuvieron ahí, ah mi compañero de tesis que aparte de ser mi compañero de tesis es mi mejor amigo y confidente por aguantarme mis malos humores, por estar ahí compartiendo conmigo cada aventura y locura. Por animarme en los días malos y siempre recalcar me que podríamos con este proyecto. Y no me iré sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto.

ATTE: *Dulce Melani Aide Pérez Patiño*

Dedico este proyecto principalmente a dios por haberme dado la oportunidad de estar en esta vida y poder seguir cumpliendo cada uno de mis sueños que me faltan por cumplir.

De igual manera se la dedico a mis padres ya que desde un principio que inicio esta etapa creyeron en mí, y todos los días me motivan a seguir cumpliendo todas esas metas que tengo propuestas y gracias a dios se van cumpliendo, por siempre estar cuando más los necesito y enseñarme que en esta vida hay que ser siempre humilde con todas las personas y no creerse más que otros porque eso no nos hace mejor persona. También se la dedico a una persona que fue muy especial para mí que fue mi abuelita que está en el cielo, y que siempre me está cuidando desde allá y todas las cosas que le prometí se van cumpliendo poco a poco. A mis hermanas porque siempre me estuvieron apoyando en cualquier cosa y me brindaron mucho cariño. A mis amigos que estuvieron en muchas ocasiones y en especialmente a mi compañera Melani por estar conmigo en cualquier momento apoyándome en todas las cosas y por haber formado esta grande amistad que se formó entre los dos.

ATTE: Ulises Jesus López Ledesma

Agradecimientos

Quiero agradecer al Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de formar parte de él.

A todos y cada uno de los profesores que me brindaron un poco de su conocimiento y paciencia durante toda esta etapa.

Pero sobre todo a mi directora de tesis la Dra. Patricia González Granados, a mi coasesor el Dr. Oscar Jesús Ortiz Arrazola y asesor el Ing. Francisco Solórzano Godínez por brindarme su apoyo y confianza para la realización de esta investigación.

En especial a un profesor de la preparatoria Cárdenas quien me dio la confianza en mí misma y siempre creyó en mí, por alentarme y darme las bases para seguir por el buen camino.

Al coordinador de carrera por sus consejos y regaños porque sé que lo hizo con el fin de formar una persona exitosa. A todos mis compañeros porque de una u otra forma contribuyeron en mi formación.

A mis amigos por estar en todo momento de alegría porque en días que estaba mal sin ellos saberlo me sacaban una sonrisa.

En especial a Ulises y Martín, por ser mis compañeros de equipo, pero sobre todo mis más íntimos amigos por cada aventura y locura juntos, por cada viernes, pero sobre todo por alentarme y creer en mí, por no dejarme caer cuando me sentía pérdida.

A mis amigos y compañeros de equipo que se quedaron a mitad del camino también formaron parte de mi crecimiento y de aventuras que nunca olvidaré.

Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero mucho y nunca los olvidaré.

ATTE: *Dulce Melani Aide Pérez Patiño*

A Dios por haberme puesto en este camino que apenas está por comenzar, por la sabiduría, por ayudarme a poder superar cada uno de los obstáculos que se presentaron.

Al Instituto Tecnológico Superior de Abasolo por permitirme ser parte de él y por la enseñanza que cada día aprendí.

A mi asesora la doctora Patricia González Granados, por haber aceptado ser nuestra asesora y apoyarnos en todo momento y formar parte de esta tesis.

A nuestro Coasesor por haber formado parte de este proyecto y apoyarnos en todo el trascurso de la tesis, por apoyarnos siempre en las clases y por formarnos como unos grandes ingenieros.

A mis demás profesores que de alguna manera me apoyaron en mejoras algunos aspectos del proyecto.

Quiero agradecer a mi compañera de tesis por haberme elegido en formar parte de este maravilloso trabajo, y en especial porque es mi mejor amiga y llegaremos a triunfar mucho en esta vida.

A mis compañeros de clase que siempre estuvieron apoyándome y brindándome aportaciones para que mi trabajo estuviera muy bien hecho, por cada una de las veces que nos divertimos y no la pasábamos muy bien.

Agradecer a mis hermanas por apoyarme en cualquier proyecto que quiero hacer y por formar parte de mi familia.

ATTE: Ulises Jesus López Ledesma

Resumen

Producción de biomasa y valor nutricional de Forraje Verde Hidropónico en semillas de maíz, trigo y cebada

Dulce Melani Aide Pérez Patiño

Ulises Jesus López Ledesma

En la actualidad en el Estado de Guanajuato existe demanda de forraje verde sin cubrir, ésta es afectada por distintos factores climáticos entre ellos las fuertes lluvias y sequías. Por tal razón, el presente proyecto de investigación está dirigido a utilizar como alternativa la producción forraje verde en hidroponía, donde se evaluó la biomasa, valor nutricional y anti nutricional del forraje proveniente de Maíz (*Zea mays*), Trigo (*Triticum*) y Cebada (*Hordeum vulgare*). En el estudio se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, se conformaron nueve tratamientos los cuales fueron maíz en agua, maíz en agua con hidróxido de calcio, maíz en agua con hipoclorito de sodio, trigo en agua, trigo en agua con hidróxido de calcio, trigo en agua con hipoclorito de sodio, cebada con agua, cebada en agua con hidróxido de calcio, cebada en agua con hipoclorito de sodio, se midieron las variables de peso húmedo, peso seco, altura, valor nutricional y anti nutricional. Para obtener el análisis estadístico se utilizó el software estadístico Infostat. Los tratamientos evaluados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) sobre el peso húmedo del forraje, no siendo así para el peso seco. El tratamiento de trigo con hidróxido de calcio (TC) obtuvo el mayor promedio en peso húmedo (1.43 kg). Por otro lado, se encontró variación entre el valor nutricional y valor antinutricional, siendo el tratamiento maíz en agua con hipoclorito de sodio el que presentó mayor cantidad de grasa, el tratamiento de maíz en agua con hidróxido de calcio contaba con mayor cantidad de ceniza y el trigo en agua con hidróxido de calcio obtuvo mayor cantidad de fibra, y en proteína la cebada presentó mayor proporción.

Palabras Clave: nutrición, anti nutrientes, hidroponía, alimento para ganado, proteínas.

Biomass production and nutritional value of Hydroponic Green Forage in corn, wheat and barley seeds

Dulce Melani Aide Pérez Patiño

Ulises Jesus López Ledesma

Abstract (Summary)

Currently in the State of Guanajuato there is a demand for uncovered green forage, this is affected by different climatic factors including heavy rains and droughts. For this reason, this research project is aimed at studying as an alternative for forage production in hydroponics, where the biomass, nutritional and anti-nutritional value of forage from Corn (*Zea mays*), Wheat (*Triticum*) and Barley (*Hordeum vulgare*) were evaluate. In the study, a completely randomized block design was used, nine treatments were formed which were corn in water, Corn in water with calcium hydroxide, corn in water with sodium hypochlorite, wheat in water, wheat in water with calcium hydroxide, wheat in water with sodium hypochlorite, barley with water, barley in water with calcium hydroxide, barley in water with sodium hypochlorite, the variables of wet weight, dry weight, height, nutritional and anti-nutritional value were measured. To obtain the statistical analysis, the Infostat statistical software was used. The evaluated treatments presented significant differences ($p \leq 0.05$) on the wet weight of the forage, but this was not the case for the dry weight. The treatment of wheat with calcium hydroxide (TC) obtained the highest average wet weight (1.43 kg). On the other hand, variation was found between the nutritional value and anti-nutritional value, with the treatment of corn in water with sodium hypochlorite being the one that presented the greatest amount of fat, the treatment of corn in water with calcium hydroxide had the greatest amount of ash and wheat in water with calcium hydroxide obtained a greater amount of fiber. Protein was obtained by type of grain, with a higher proportion in barley.

Keywords: nutrition, ant nutrients, hydroponics, cattle feed, proteins.

Índice

Dedicatorias	iii
Agradecimientos.....	v
Resumen	vii
Abstract (Summary)	viii
Índice de figuras	xvi
SÍMBOLOS Y/O ABREVIATURAS	xix
Glosario	xx
INTRODUCCIÓN	1
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 HIPÓTESIS.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA.....	6
2.1.1 PAÍSES PRODUCTORES	6
2.2 ORIGEN DE LAS ESPECIES	6
2.2.1 Maíz	6
2.2.2 Cebada	7
2.2.3 Trigo.....	7
2.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	7

2.3.1 Maíz	7
2.3.2 Cebada	8
2.3.3 Trigo.....	9
2.4 IMPORTANCIA DEL FORRAJE	9
2.4.1 Cebada	10
2.4.2 Maíz	10
2.4.3 Trigo.....	10
2.5 PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO	11
2.5.1 Definición de Forraje Verde Hidropónico (FVH).....	11
2.5.2 Definición de Hidroponía.....	11
2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE FVH	11
2.6.1 Utilización de nutrientes.....	11
2.6.2 Calidad del agua.....	12
2.6.3 pH	12
2.6.4 Conductividad eléctrica.....	13
2.6.5 Humedad relativa.....	13
2.6.6 Calidad de la Semilla	13
2.6.7 Iluminación.....	13
2.6.8 Temperatura	14
2.6.9 Estantería	14
2.6.10 Charolas o bandejas	14
2.6.11 Sistema de riego	15
2.6.12 Ventilación	15
2.7 PRINCIPALES ESPECIES UTILIZADAS.....	15
2.8 PROBLEMAS FITOSANITARIOS DE LAS SEMILLAS.....	15
2.8.1 Inocuidad	16
2.8.2 Patógenos frecuentes	16
2.9 PRODUCTOS DE DESINFECCIÓN	16
2.9.1 Hidróxido de calcio (CaOH ₂).....	16
2.9.2 Hipoclorito de sodio (NaCl)	16

2.10 VALOR NUTRICIONAL	17
2.10.1 Fibra Cruda.....	17
2.10.2 Grasas	17
2.10.3 Ceniza.....	17
2.10.4 Proteínas	18
2.11 VALOR ANTI NUTRICIONAL	18
2.11.1 Fenoles	18
2.11.2 Saponinas.....	18
2.11.3 Citotoxicidad	19
2.12 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS (MÉTODO DE CINCO DE OROS).....	19
2.13 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL FVH.....	20
III. METODOLOGÍA.....	24
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO O EXPERIMENTO	24
3.2 MATERIAL VEGETAL	25
3.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	26
3.4 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO	27
3.4.1 Acondicionamiento del área.....	28
3.4.2 Charolas utilizadas.....	28
3.4.3 Instalación del sistema de riego.....	29
3.4.4 Selección de la semilla utilizada y granos en mal estado	29
3.5 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS (DESINFECCIÓN DE LA SEMILLA)	30
3.5.1 Imbibición de semillas en agua (testigo)	31
3.5.2 Desinfección de semillas con hipoclorito de sodio.....	32
3.5.3 Desinfección con hidróxido de calcio	32
3.6 DESINFECCIÓN DE LOS MATERIALES	33
3.7 COLOCACIÓN DE LA SEMILLA EN CHAROLAS (SIEMBRA)	34
3.8 RECUBRIMIENTO DE LA SEMILLA	35

3.9 RIEGOS APLICADOS	35
3.10 TEMPERATURA.....	36
3.11 COSECHA DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO.....	37
3.12 VARIABLES EVALUADAS.....	37
3.12.1 Altura	37
3.12.2 Peso húmedo.....	38
3.12.3 Peso seco	39
3.12.4 Valor nutricional	39
3.12.4.1 Fibra cruda	40
3.12.4.2 Cenizas	42
3.12.4.3 Grasas.....	43
3.12.4.4 Proteínas	45
3.12.4.5 Valor Anti Nutricional	45
3.12.4.6 Fenoles.....	45
3.12.4.7 Saponinas	46
3.12.4.8 Citotoxicidad.....	47
3.13 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	50
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1 ALTURA DE LAS PLANTAS.....	52
4.2 PESO HÚMEDO	53
4.3 PESO SECO.....	55
4.4 VALOR NUTRICIONAL	57
4.4.1 Grasa, ceniza y fibra	57
4.4.2 Obtención de proteínas.....	59
4.5 VALOR ANTI NUTRICIONAL	60
4.5.1 Fenoles y saponinas	60
4.5.2 Citotoxicidad	62
V. CONCLUSIÓN.....	64
VI. REFERENCIAS.....	66

VII. ANEXOS	78
7.6 CRONOGRAMA Y PRESUPUESTOS	83

Índice de tablas

Tabla 2.1 - Taxonomía del maíz.....	8
Tabla 2.2 - Taxonomía de la cebada.....	8
Tabla 2.3 - Taxonomía del trigo.....	9
Tabla 3.1 - Tratamientos con base al FVH.....	26
Tabla 3.2 - Riegos aplicados cada 2 horas.	36
Tabla 4.1 - Aportación del valor nutricional de los granos (Porcentaje (%) de grasa, ceniza y fibra que aporta cada tratamiento).	59
Tabla 4.2 - Porcentaje obtenido de proteínas, por cada 200g de biomasa.	60
Tabla 4.3 - Análisis de metabolitos secundarios de diferentes granos.	61
Tabla 4.4 - Grados de toxicidad encontrada en las especies evaluadas.....	63
Tabla 7.1 – Análisis de varianza de la altura a los 4 días.....	79
Tabla 7.2 - Media de los tres bloques de la altura a los 4 días.....	79
Tabla 7.3 – Medias de los 9 tratamientos de altura a los 4 días.....	79
Tabla 7.4 – Análisis de varianza de altura a los 8 días	80
Tabla 7.5 - Media de los bloques de la altura a los 8 días	80
Tabla 7.6 - Media de todos los tratamientos en altura a los 8 días	80
Tabla 7.7 - Análisis de varianza de la altura a los 12 días	80
Tabla 7.8 - Media de los bloques de la altura a los 12 días	81
Tabla 7.9 – Media de todos los tratamientos de altura a los 12 días.....	81
Tabla 7.10 – Análisis de varianza de la altura de todos los tratamiento a los 4, 8 y 12 días	81
Tabla 7.11 – Análisis de varianza del peso húmedo	81
Tabla 7.12 – Media de todos los tratamientos para peso húmedo	82

Tabla 7.13 - Análisis de varianza del peso seco	82
Tabla 7.14 – Medias de todos los tratamientos del peso seco	82
Tabla 7.15 - Presupuesto del proyecto.....	83

Índice de figuras

Figura 3.1 - Localización del área de trabajo (Google Earth, 2022).	25
Figura 3.2 - Semillas evaluadas: A) Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>), B) Trigo (<i>Triticum aestivum</i>) y C) Maíz (<i>Zea mays</i>).	26
Figura 3.3 - Diseño experimental establecido en estructura.	27
Figura 3.4 - Preparación del área.	28
Figura 3.5 - Charolas empleadas para la producción de FVH.	29
Figura 3.6 - A) Maíz (<i>Zea mayz</i>), B) Trigo (<i>Triticum aestivum</i>), C) Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y D) Eliminación de semillas en mal estado.	30
Figura 3.7 - A) Desinfección de las semillas con hipoclorito de sodio y B) Desinfección de las semillas con hidróxido de calcio.	31
Figura 3.8 - A) Imbibición de la semilla de Maíz y B) Imbibición de la semilla de Trigo.	31
Figura 3.9 - A) Medición de hipoclorito de sodio para el tratamiento, B) Semilla con el tratamiento y C) Cambio del color de la semilla con el tratamiento.	32
Figura 3.10 - A) Recipiente con agua y tratamiento de hidróxido de calcio y B) Semillas con el tratamiento.	33
Figura 3.11 - Desinfección de: A) Charolas, B) Estructura y C) Sistema de riego.	34
Figura 3.12 - Siembra de semillas.	34
Figura 3.13 – Recubrimiento de la semilla.	35
Figura 3.14 - A) Termo higrómetro utilizado y B) Termo higrómetro establecido en la estructura.	36
Figura 3.15 - Forraje de A) Maíz, B) Trigo y C) Cebada.	37
Figura 3.16 - A) Altura del forraje a los 8 días y B) Altura del forraje a los 15 días.	38

Figura 3.17 - A) Obtención de peso húmedo del FVH de cebada y B) Obtención de peso húmedo del FVH de trigo.....	38
Figura 3.18 - A) Aeración de los tratamientos y B) Tratamientos sin presencia de clorofila.	39
Figura 3.19 - A) Proceso de obtención de valores nutricional y B) Procesos de obtención de valores anti nutricional.	40
Figura 3.20 - A) Preparación de solución, B) Muestras en ebullición, C) Filtración de muestra, D) Lavado de muestra, E) Precalentado de crisoles, F) Crisol en el disecador, G) Pesado de los crisoles sin muestra, H) Fibra obtenida, H) Colocación de fibra en el crisol y J) Pesado del crisol con muestra.....	42
Figura 3.21 - A) Pesado de la muestra de maíz, B) Pesado de la muestra de trigo y C) Pesado de muestra de cebada, D) Calcinación de muestra, E) Colocación en la mufla, F) Muestra en disecador y G) Pesado de las cenizas.	43
Figura 3.22 - A) Triturado de las muestras de forraje, B) Obtención de polvo fino, C) Peso del cartucho con muestra y algodón, D) Pesado del balón antes y después, E) Aplicación del éter de petróleo al balón, F) Muestras colocadas en el extractor Soxhlet, G) Muestras a las 3 horas y H) Grasas obtenidas.....	44
Figura 3.23 - A) Peso de la muestra, B) Colocación de muestra al balón, C) Aplicación de agua destilada, D) Muestra colocada en el roto vapor, E) Temperatura y RPM adecuado y F) No hubo presencia de fenoles en ningún tratamiento.....	46
Figura 3.24 - A), B) y C) Selección de la muestra, Peso de la muestra y Colocación en mortero, D) Trituración de la muestra y E) Agitación de la muestra para determinar si presenta saponinas.	47
Figura 3.25 - A), B) Preparación de solución, C) Cambio de color de los nauplios, D) Eclosión durante 48 horas, E) y F) Observación de la eficiencia de eclosión, G) y H) Extracción de nauplios y colocación en caja Petri, I) y J) Nauplios muertos y vivos, K) Control negativo y positivo de nauplios, y L) Nauplios vivos después de agregar el extracto de muestra del FVH.	49

Figura 4.1 - Varianza de altura durante el proceso de producción del forraje. Letras diferentes muestran diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). 53	
Figura 4.2 - Varianza de peso de forraje verde hidropónico a los 16 días después de la siembra. Letras diferentes muestran diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).	55
Figura 4.3 - Variación del peso seco durante el proceso de la producción de forraje verde hidropónico. Letras iguales por tratamiento no muestran diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).	57
Figura 7.1 - Cronograma de actividades.	83

SÍMBOLOS Y/O ABREVIATURAS

cm	Centímetros
DBCA	Diseño de bloques completamente al azar
C₆H₆O	Ácido fénico
FVH	Forraje verde hidropónico
°C	Grados centígrados
CaOH₂	Hidróxido de calcio
NaCl	Hipoclorito de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
m	Metros
mL	Mililitros
kg	Kilogramo
g	Gramos
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno

Glosario

Artemias: larvas de peses y crustáceos marinos utilizadas comúnmente para identificar el contenido de un alimento, si presenta citotoxicidad la larva lo rechaza, debido a que no contiene las características adecuadas con los requerimientos de la especie (Amat, 1985).

Biomasa: es la suma total de los seres vivos (plantas y animales) estando presente encima y debajo del suelo. Así mismo se puede referir a cualquier fuente orgánica de energía o productos químicos renovables, por ejemplo: árboles, productos agrícolas (Barioglio, 2006).

Fenoles: son compuestos orgánicos los cuales poseen propiedades ácidas debido a la influencia del anillo bencénico (Editorial Complutense, 2003).

Proteínas: son macromoléculas las cuales desempeñan un gran número de funciones las más comunes en las células de los seres vivos que forman parte de la estructura básica de los tejidos (tendones, músculos, piel, etc.) (González et al., 2007).

Saponinas: metabolito que es producido por la vía metabólica, el cual es considerado uno de los nutrientes secundarios para hacer su función en las células (Díaz, 2009).

Vitaminas: son sustancias orgánicas las cuales contienen las células vivas actuando en cantidades pequeñas, facilitan la utilización y liberación de energía proporcionada a través de los alimentos (Editorial Complutense, 2004).

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de obtención de biomasa vegetal a partir de los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas (principalmente de cereales) provenientes de semillas viables. El forraje se produce en ausencia de suelo y con las condiciones protegidas donde se deben de controlar algunas de las variables climáticas como: luz, temperatura y humedad (Juárez et al., 2013).

El rendimiento y la calidad del FVH dependen de la calidad de la semilla, la variedad, el tiempo de remojo, la temperatura, la humedad, el suministro de nutrientes, la profundidad, la densidad de siembra. Las semillas utilizadas para la producción de FVH pueden ser maíz, trigo, avena, cebada (Carballo, 2000).

Las personas que se dedican a la engorda de ganado en la región, presentan una alta demanda de forraje fresco sin embargo, la producción de este alimento se ve afectada por la escases de agua y mal aprovechamiento de suelo (Sánchez et al., 2013).

En la actualidad existen distintas modalidades para llegar a producir FVH, la forma más utilizada se basa en germinar semillas de cereales en grandes cantidades de siembra, las cuales tienen el propósito de llegar a obtener un forraje de 20 a 30 cm en un lapso de entre 8 a 12 días (Sánchez et al., 2013).

El FVH es un alimento apto para cabras, terneros, vacas de ordeño, caballos, se utiliza principalmente en tiempos de escasez de los forrajes verdes (Cuesta y Machado, 2009). Es uno de los complementos alimenticios y nutricional que se puede utilizar para las dietas de animales de granja (Chavarría y Castillo, 2018).

Este tipo de forrajes presentan un alto nivel de valor nutricional, un alto nivel proteico y una buena digestibilidad la cual permite a los animales una buena circulación por el tracto digestivo (Ramírez y Soto, 2017). En este estudio se evaluó la biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico con distintas especies de granos.

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disponibilidad de forraje verde es uno de los principales problemas en el estado de Guanajuato, por las condiciones climáticas (sequías, lluvias tardías y heladas). Una opción es producir forraje a través de técnicas hidropónicas para lograr obtener un alto valor nutricional, ya que cumple con las necesidades fundamentales para el ganado y es producido a bajo costo y en menor tiempo en comparación del que es producido de forma tradicional. Esta producción puede aprovecharse todo el año, obteniendo mayor calidad nutricional y cantidad satisfaciendo las necesidades del productor.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El forraje verde hidropónico ofrece una disponibilidad de forrajes verdes todo el año, independientemente de los problemas climáticos que sucedan. Los forrajes hidropónicos constituyen uno de los sistemas para cultivar vegetales sin utilizar suelo esto a su vez beneficiando las necesidades del productor, aportándole grandes cantidades de nutrientes al ganado.

1.3 HIPÓTESIS

De los forrajes verdes hidropónicos al menos uno aportará mayor biomasa y valor nutricional.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la biomasa y el valor nutricional de forraje verde hidropónico de maíz, trigo y cebada obtenida de la germinación de semillas tratadas con agua, hidróxido de calcio e hipoclorito de sodio.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estimar el peso seco y fresco de forraje verde hidropónico obteniendo de la germinación de semillas tratadas con agua, hidróxido de calcio e hipoclorito de sodio.
- Comparar la composición nutricional del forraje verde hidropónico de diferentes especies de grano.
- Obtener el contenido de fenoles, saponinas y citotoxicidad del forraje verde hidropónico.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA

Según Turriago (2005), es necesario incentivar algunas alternativas que permitan producciones para reducir el impacto ambiental logrando más eficiencia de los recursos como son: el agua, suelo y algunos insumos tales como agroquímicos. Se aprecia una alta demanda de precio en los insumos del sector agrícola, provocando aumentos en los costos de la producción, menor disponibilidad de tierras y poca eficiencia en la producción a pequeñas escalas, es por ello que se analiza la factibilidad para utilizar la técnica de producir forraje verde hidropónico con el objetivo de lograr disminuir los costos de la producción para los productores, aumentando su ganancia y proponer alternativas ambientales a la producción agrícola.

2.1.1 PAÍSES PRODUCTORES

Los principales países que producen Forraje Verde Hidropónico (FVH) son los siguientes: Argentina, Estados Unidos, China, México, Brasil (Jaume y Pereira, 2014).

2.2 ORIGEN DE LAS ESPECIES

2.2.1 Maíz

En la actualidad hay discrepancias respecto al origen del maíz (*Zea mays*) generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas hace 7 000 y 10 000 años. El maíz proviene de algunas zonas arqueológicas de

México donde algunas mazorcas fueron encontradas en cuevas de habitantes primitivos (Paliwal, 2001). De acuerdo con Serratos (2009), el maíz es un cereal de los pueblos y culturas del continente americano, el cual proviene de las más antiguas civilizaciones de América desde los olmecas, teotihuacanos hasta los incas de la región andina de Sudamérica.

2.2.2 Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*) es uno de los quintos cereales que tienen una mayor producción a un nivel mundial, donde el 50% del área y 63% de volumen de producción se encuentran concentrados en su origen de procedencia, el cual fue Europa donde usan principalmente el 40 % de su producción para producir cerveza, mientras que el resto se distribuye en los centros comerciales (García et al., 2022).

2.2.3 Trigo

El trigo (*Triticum aestivum*) es una planta la cual era silvestre, y creció principalmente en Mesopotamia, entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates, después se comenzó a extender a toda la región conocida como Creciente Fértil (Ramos, 2013).

2.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

2.3.1 Maíz (*Zea mays*)

En la Tabla 2.1 se presenta la taxonomía del maíz.

Tabla 2.1 - Taxonomía del maíz (*Zea mays*).

Categoría	Descripción
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta Cronquist
Clase:	Liliopsida
Orden:	Poales Small
Familia:	Poaceae Barnhart
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Zea mays</i>

Fuente: Paliwal (2001).

2.3.2 Cebada (*Hordeum vulgare*)

En la siguiente Tabla se presenta la taxonomía de la cebada.

Tabla 2.2 - Taxonomía de la cebada (*Hordeum vulgare*).

Categoría	Descripción
Reino:	Vegetal
División:	Tracheophyta
Subdivisión:	Pterodidae
Clase:	Angiosperma
Subclase:	Monocotyledonia
Grupo:	Glumiflora
Orden:	Graminales
Familia:	Gramineae
Género:	<i>Hordeum</i>
Especie:	<i>Hordeum vulgare</i>

Fuente: Capurro et al. (2010).

2.3.3 Trigo (*Triticum aestivum*)

En la Tabla 2.3 se presenta la taxonomía del trigo.

Tabla 2.3 - Taxonomía del trigo (*Triticum aestivum*).

Categoría	Descripción
Reino:	Vegetal
División:	Tracheophyta
Subdivisión:	Pteropsiade
Clase:	Angiosperma
Subclase:	Monocotiledónea
Grupo:	Glumiflora
Orden:	Graminales
Familia:	Poaceas
Tribu:	Triticae
Género:	<i>Triticum</i>
Especie:	<i>Triticum aestivum</i>

Fuente: Navarro (2006).

2.4 IMPORTANCIA DEL FORRAJE

El forraje verde bajo hidroponía ofrece principalmente una alternativa para una producción rápida y simple de forraje de gran valor en las épocas secas o cuando las condiciones climáticas no permiten la producción de forrajes. La producción animal se ve afectada por diferentes factores como son la genética, el ambiente, la reproducción, la sanidad, y la alimentación, este tipo de forraje lo puede consumir

cualquier tipo de ganado, y es a un costo más bajo a lo de un forraje común (Elizondo, 2015).

2.4.1 Cebada

La cebada es uno de los cereales invernales con mayor importancia en el mundo, los cuales son de mayor relevancia durante el ciclo invernal. Es una planta gramínea anual, proveniente de Asia occidental, representada por dos especies *Hordeum distichum* es conocida por cervecera y *Hordeum hexastichon* que se utiliza como forraje, con gran importancia para el consumo animal y humano (Cruz, 2019).

2.4.2 Maíz

El maíz, principalmente el blanco es uno de los granos más importante para el consumo humano, especialmente en África y América Latina. Se clasifica en uno de los productos con alta demanda, se estima que para el año 2030 será necesario abastecer el suministro de maíz con 60 millones de toneladas (Ripusudan y Paliwal, 2000).

2.4.3 Trigo

Sin embargo, Moreno et al. (2001), el trigo es un componente indispensable en la dieta humana, se emplea también como alimento verde para el animal en forma de forraje, es un alimento energético el cual aporta vitaminas a los organismos humano y animal, en los últimos años el contenido de nutrientes y su valor se ha conocido como fuente proteica.

2.5 PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

2.5.1 Definición de Forraje Verde Hidropónico (FVH)

El Forraje Verde Hidropónico (FVH) consiste principalmente en la germinación de semillas gramíneas o leguminosas, bajo condiciones ambientales controladas tales como luz, temperatura y humedad produciéndose en ausencia del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2002).

2.5.2 Definición de Hidroponía

El cultivo en hidroponía es una modalidad que se utiliza en diferentes plantas, la cual permite producir cultivos en ausencia de suelo, aprovechando los sitios o áreas no convencionales, sin perder de vista todas las necesidades que ocupan las plantas, por ejemplo, la luz, la temperatura, el agua y los nutrientes (Beltrano y Jiménez, 2015).

2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE FVH

2.6.1 Utilización de nutrientes

De acuerdo con Stewart (2007), la utilización de nutrientes ha presentado un incremento en los costos de fertilizantes y el impacto ambiental, el uso eficiente de nutrientes describe que tan bien está la planta, que tanto rendimiento llega a obtener

el ganado del alimento. Cerillo et al. (2012) mencionan que los cultivos forrajeros necesitan nutrientes, ya que las plantas los toman del suelo. En el caso del forraje es adecuado el uso de soluciones nutritivas, ya sean orgánicas o inorgánicas siendo ligeramente los valores de la solución orgánica superiores a la inorgánica.

2.6.2 Calidad del agua

La calidad del agua de riego es uno de los principales factores que se pueden presentar. Las condiciones básicas del agua para poder ser utilizada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia o de corrientes de cañería siempre y cuando sea potable. Si el agua disponible no es potable, se tendrán problemas sanitarios y nutricionales con el FVH (Ramos, 1999).

2.6.3 pH

El pH del agua controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes estarán o no disponibles para su absorción, los problemas nutritivos más comunes se presentan cuando el pH se encuentra muy bajo (Bárbaro et al., 2014). El pH del agua de riego para el forraje debe oscilar entre los 5.5 y 6.0, excepto en las leguminosas ya que estas pueden desarrollarse con un pH cercano a 7.5, el resto de las semillas que se utilizan para forraje no soportan un pH arriba de 7 (Juárez et al., 2013).

2.6.4 Conductividad eléctrica

Bárbaro et al. (2014) indican que la conductividad eléctrica permite conocer el grado de sales solubles presentes en sustratos, cuando se presenta una alta concentración de sales se recomienda que la CE (conductividad eléctrica) de un sustrato sea menor.

2.6.5 Humedad relativa

El área donde se plantea establecer algún tipo de producción de forraje debe estar nivelado ya que con la aplicación constante de riegos se puede presentar una alta humedad relativa por encharcamientos, previniendo la proliferación de hongos y enfermedades (Sánchez, 1991). Para el forraje de cebada, maíz, trigo y avena la humedad relativa adecuada es de entre 70% y 75% (Jiménez, 2021).

2.6.6 Calidad de la semilla

Es recomendable que la semilla no presente más del 12% de humedad, debe estar libre de impurezas o semillas rotas y principalmente que no se encuentren contaminadas con hongos, ni contengan la presencia de contaminantes como insecticidas o fungicidas (Rodríguez, 2006).

2.6.7 Iluminación

En ausencia de la buena iluminación, la fotosíntesis se ve afectada negativamente para el crecimiento vegetal, puesto que el forraje no alcanzara una buena producción. Una manera adecuada para obtener buena iluminación es que el

invernadero con cubierta plástica, proporcione un 50% de sombreado lo cual, es suficiente para el desarrollo de FVH (Juárez et al., 2013).

2.6.8 Temperatura

La temperatura es muy importante en la producción del forraje ya que los cultivos tienen un rango de temperatura óptima para la germinación y crecimiento, para el caso de los granos de avena, trigo y cebada se requieren una temperatura adecuada de 18°C a 21°C, en el caso del grano del maíz tiene un rango de 25°C a 28°C. La temperatura ideal para el maíz es de 15°C, y para la etapa de crecimiento la temperatura ideal debe de encontrarse entre los 24°C a 30°C, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2001).

2.6.9 Estantería

El buen uso de una estructura ayuda a proteger el forraje de los factores tales como son la luz directa del sol, viento, lluvia y ataque de roedores. Salas (2017) comenta que para la producción de FVH comúnmente se utilizan estanterías de madera. Por otro lado (Romero et al., 2009) mencionan que se utilizan estructuras metálicas en forma de prisma rectangular, con una inclinación vertical conformadas por 5 niveles separados a 45 cm cada uno de ellos.

2.6.10 Charolas o bandejas

Torres, (2018) sugiere que para producir FVH se utilizan bandejas de plástico con medidas de 60 x 40 cm, cubiertas en el fondo con plástico negro para retener el agua por más tiempo. De acuerdo con Zagal-Tranquilino (2016), las charolas pueden ser recicladas de cartón de huevo con medidas de 30 x 30 cm.

2.6.11 Sistema de riego

Principalmente se puede implementar un tipo de sistema de riego por aspersión para que le proporcione al forraje el agua en tipo neblina y así poder abarcar una mayor cantidad de espacio (Martínez, 2005).

2.6.12 Ventilación

Una ventilación inadecuada puede causar contaminación en el FVH, para esto es importante que exista un flujo constante de aire a través del invernadero (Ovando, 2009).

2.7 PRINCIPALES ESPECIES UTILIZADAS

Álvarez (2018) indica que la semilla más recomendable para el Forraje verde hidropónico (FVH) es la de cebada ya que proporciona mayor producción, la semilla de avena presenta una susceptibilidad a la presencia de hongos debido a su alto contenido de almidón por ello es recomendable la utilización de cebada ya que en ella no es tan fácil la presencia de hongos.

2.8 PROBLEMAS FITOSANITARIOS DE LAS SEMILLAS

2.8.1 Inocuidad

Para obtener un forraje de buena calidad con baja presencia de hongos e insectos, se tiene que comprar semilla de buena calidad y tener un buen control ambiental en el área del invernadero (García, 2013).

2.8.2 Patógenos frecuentes

En el proceso de crecimiento de las plantas forrajeras son susceptibles a contraer infecciones por diferentes hongos, de los cuales pueden producir mico toxinas entre ellos se encuentra *Fusarium*, *Alternaría*, *Clodosporium* (González, 2019).

2.9 PRODUCTOS DE DESINFECCIÓN

2.9.1 Hidróxido de calcio (CaOH_2)

El uso de hidróxido de calcio en forrajes principalmente es utilizado en el pre germinado de las semillas, este le ayuda para poder prevenir la formación de hongos nocivos durante la producción del forraje, el tiempo de uso de cal debe de ser menor durante el proceso de pre germinación ya que este es un compuesto muy agresivo y dejarlo por mucho tiempo puede causar la muerte de las semillas (Moreno, 2014).

2.9.2 Hipoclorito de sodio (NaCl)

El uso del hipoclorito de sodio comercial (2%) es recomendado para realizar una buena desinfección de cualquier semilla (Romero et al., 2009).

2.10 VALOR NUTRICIONAL

2.10.1 Fibra Cruda

El concepto se usó ampliamente hace poco tiempo, específicamente en la nutrición animal y en los análisis de alimentos humanos, la fibra cruda (FC) son todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas, materia derivada de la pared celular vegetal de los alimentos (García, 2008).

2.10.2 Grasas

Los lípidos son constituidos por el carbono, hidrógeno y oxígeno los que son encargados de integrar las cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, de igual manera alguna tienen la presencia del fósforo y nitrógeno. Estas aportan muchas funciones en los tejidos, además de que son la fuente energética más importante en los alimentos, ya que cada gramo genera 9 kcal, su estructura presenta más átomos de carbono a comparación de las que aportan las proteínas y los hidratos de carbono los cuales producen 4 kcal/g cada uno (Badui, 2006).

2.10.3 Ceniza

La ceniza que puede llegar a presentar algún alimento es el residuo que queda después de que se quema la materia orgánica. El valor que presenta de cenizas se puede llegar a considerar como un criterio útil en la autenticidad del alimento ya que así se puede detectar si el alimento tiene alguna presencia de adulterantes. La determinación de las cenizas consiste en llevar la muestra recaudada a una

carbonización para después realizar la incineración en la mufla. El total de cenizas se obtiene dependiendo del peso que se coloque en la muestra (Alba, 2006).

2.10.4 Proteínas

Las proteínas son el principal componente fundamental que presentan las células las cuales presentan una gran variedad de funciones dentro del organismo que van desde su papel catalítico (enzimas) pasando hasta su función en la motilidad corporal (actina, miosina), transportándose mediante su papel mecánico (elastina, colágeno), almacenándose en la (hemoglobina, mioglobina, citocromos), y ayudar en la protección de los anticuerpos (Salas et al., 2010).

2.11 VALOR ANTI NUTRICIONAL

2.11.1 Fenoles

Los compuestos fenólicos son moléculas con uno o más grupos hidroxilos unidos. Las vitaminas y los compuestos fenólicos que se consideran importantes antioxidantes en la dieta, se encuentran presentes en frutas, hortalizas, raíces y cereales, miles de compuestos fenólicos se encuentran en las plantas, estos tienen una serie de funciones metabólicas en las plantas, el crecimiento, reproducción contra patógenos externos y el estrés (Peñarrieta et al., 2014).

2.11.2 Saponinas

Actúan principalmente en los sistemas cardiovasculares y nerviosos así de igual manera en el sistema digestivo, las dosis grandes de los jugos de las legumbres

que presentan saponinas causan una buena digestión del estómago. Las saponinas contienen aglicona esteriodical y aglicona triterpenica, estas se encuentran principalmente en las plantas, estas afectan el comportamiento y metabolismo del animal a través de: hemólisis de eritrocitos, reducción de colesterol sanguíneo y hepático, depresión en el crecimiento, inhibición de la actividad muscular, reducción de la absorción de nutrientes. Con un abundante lavado en agua se puede disminuir este efecto, aunque se pueden llegar a perder una gran cantidad de nutrientes (Kumar y D´Mello, 1995).

2.11.3 Citotoxicidad

Citado de Robles et al. (2016) constituye en uno de los mecanismos de diferentes poblaciones celulares especializadas en el sistema inmunitario, consiste en la capacidad para poder interaccionar con diferentes células y destruirlas. Especialmente se utiliza el método de larvas de *Artemia salina* (crustáceos pequeños de agua salada) esto se basa en la premisa de que los compuestos bioactivos son tóxicos a altas dosis y determinar la letalidad que puede presentar el extracto.

2.12 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS (MÉTODO DE CINCO DE OROS)

Muestreo cinco de oros: este es un método muy empleado en el estudio de campos de cultivo, aunque no es el único lugar donde se emplea, en este se considera el campo de cultivo y se indican las cuatro esquinas que son consideradas para el muestreo, además se toma en cuenta que el centro también debe de ser muestreado. De esta manera se considera que las muestras o datos obtenidos cubren casi el total del espacio para que los datos sean más representativos, esto

cuando se conoce la forma de la superficie de donde se tomaran las muestras (Werner y Otto, 1992).

2.13 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL FVH

2.13.1 Días de producción del forraje

Maldonado et al. (2013) mencionan que el forraje verde hidropónico es un proceso que se obtiene mediante la germinación de granos de cereales, que se puede cosechar después de los 12 días. De acuerdo con Juárez et al. (2013), el FVH puede durar un periodo 10 y 14 días obteniendo buenos resultados en la altura.

2.13.2 Humedad relativa del forraje

Jiménez (2021) menciona que en la producción de FVH la humedad relativa que se debe de presentar en el área donde se estableció el experimento debe mantenerse entre 70 % al 75%. Juárez (2013) indica que para obtener buena producción de forraje con granos de cereales la humedad relativa debe de presentarse al 90%.

2.13.3 Altura adecuada del forraje

Juárez (2013) explica que el forraje verde hidropónico es un alimento para ganado, el cual se debe de cosechar con una altura aproximadamente de 20 a 30 cm de altura. De acuerdo con Romero et al. (2009), la altura promedio del forraje para la cosecha debe de presentarse entre los 15 a 20 cm, siendo una altura adecuada para almacenar un gran contenido de nutrientes.

2.13.4 Costos adecuados del forraje

Soto (2012) menciona que el forraje verde hidropónico fresco de maíz se encuentra alrededor de los \$4,50 por kg, sin embargo, el costo de producción del forraje verde hidropónico de maíz por kg se encuentra en \$3,20 pesos.

2.13.5 Aportación de proteínas

Herrera et al. (2010) señalan que el forraje verde hidropónico de trigo a los 10 días de germinado aporta un alto nivel de proteínas y energía a diferencia si se toma antes de esos días.

2.13.6 Biomasa

Las semillas que presenta una alta producción de biomasa fresca es el sorgo (21.65 kg / 720 cm) y una alta concentración de proteína cruda (10.47 %) en comparación con arroz presentando un contenido de materia seca de 15.82 % y ceniza (9.17 %), mientras que el maíz presenta una alta calidad en la fibra. En la producción de forraje verde hidropónico se obtuvo un rendimiento de 3.5 a 6.0 veces de 7 a 8 días con un contenido de masa de 10,3 a 18,5% presente en el forraje de maíz (Naik et al., 2003), de la misma manera Sneath (2003) obtuvo un rendimiento de maíz fresco de 4.6 veces mayor durante el experimento.

2.13.7 Riegos adecuados

Zagal (2016) menciona que los riegos adecuados en el forraje verde hidropónico son de 1.5 a 2 litros de agua suficiente para llegar a producir 1 kg de forraje verde, a diferencia con los forrajes verdes de cebada, alfalfa, y pastos los cuales son establecidos en condiciones de campo convencional, esto es de suma importancia en áreas que sufren escases crónica de agua. Zagal et al. (2016), en una aplicación de riegos cada 24h con un litro de agua por cada kilo de maíz, se observa una diferencia a los 13.14 y 15 días obteniendo valores mayores al día 13 con una altura media de 30.45 ± 4.5 cm, un rendimiento de 2.5335 ± 0.3 kg y presentando un 80.5% de germinación con solo riegos cada 24 horas.

2.13.8 Eclosión de nauplios

Molina-Salinas et al. (2006) indica que la eclosión de los nauplios se comienza aproximadamente a las 16 horas, obteniendo la variabilidad de los nauplios no tratados donde se presentó un 100% y no se observó ninguna alteración especialmente mortalidad, esta fue proporcional a la concentración de dicromato de potasio CL50 la cual fue 12,60 ml presentando un intervalo de mortalidad del 95%. Gaspar et al. (2021) revela que muchas de las veces los nauplios se utilizan como pruebas para determinar la citotoxicidad de algún alimento, por ejemplo, en su experimento se utilizó para determinar la citotoxicidad del forraje para alimento del ganado vacuno.

2.13.9 Forraje Hidropónico

Sánchez (2013) define el FVH como producción de biomasa vegetal el cual contiene, una alta sanidad y buena calidad nutricional el cual, se llega a producir de 9 a 15 días, estableciéndose en cualquier época de año siempre y cuando se cumplan los factores climáticos. Según Roel (1997), la época en que se estableció la producción del forraje son factores muy importantes que se deben de tomar en cuenta para saber cómo será la producción que presentará el forraje. Es de suma importancia saber su característica agronómica y si fisiología que presenta el grano ya que tanto en las leguminosas como en las gramíneas varía demasiado.

III. METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO O EXPERIMENTO

La investigación se estableció en el Instituto Tecnológico Superior de Abasolo (Figura 3.1), ubicado en el municipio de Abasolo, Guanajuato, México. A una altura de 1705 msnm, con las coordenadas 20°26' 24" latitud Norte y 101°3' 52" longitud

Oeste. Presenta un clima semicálido con lluvias en verano presentando un porcentaje de humedad de 96.42% en periodo de lluvias y 3.58 % en periodo de sequía. Se presenta una temperatura entre 16 a 22°C (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2022). Se utilizó un invernadero, de tipo capilla el cual presenta medidas de 17 metros con 75 cm de largo, cinco metros con 25 cm de ancho y tres metros de altura, donde solo se utilizó un área de tres metros de largo y cinco metros con 25 cm de ancho, el cual tiene malla de acero a sus alrededores para prevenir la entrada de roedores, y está cubierto de plástico blanco translúcido al 65% de luz. Durante el proceso de la investigación el área presentó una temperatura promedio de 35.8°C, con una temperatura máxima de 46.6°C y mínima de 25.6°C, mientras que la humedad relativa promedio fue de 45%, con un valor máximo de 90% y un mínimo de 30%.



Figura 3.1 - Localización del área de trabajo (Google Earth, 2022).

3.2 MATERIAL VEGETAL

Para la elaboración de este experimento se utilizaron semillas de trigo (Figura 3.2B), maíz (Figura 3.2C) y cebada (Figura 3.2A), adecuadas para la producción de forraje verde hidropónico.



Figura 3.2 - Semillas evaluadas: A) Cebada (*Hordeum vulgare*), B) Trigo (*Triticum aestivum*) y C) Maíz (*Zea mays*).

3.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se establecieron nueve tratamientos, los cuales fueron Hipoclorito de sodio **H**, Hidróxido de calcio **C** y Agua **A**. Con tres repeticiones distribuyéndolos como Trigo en agua (**TA**), Trigo en agua con hipoclorito de sodio (**TH**), Trigo en agua con hidróxido de calcio (**TC**), Cebada en agua (**CA**), Cebada en agua con hipoclorito de sodio (**CH**), Cebada en agua con hidróxido de calcio (**CC**), Maíz en agua (**MA**), Maíz en agua con hipoclorito de sodio (**MH**) y Maíz en agua con hidróxido de calcio (**MC**). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar ya que los diferentes tipos de granos fueron distribuidos en la estructura (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 – Tratamiento con base al FVH.

No. Tratamientos	Descripción de los tratamientos
------------------	---------------------------------

1.-TA	Trigo en agua
2.-TH	Trigo en agua con hipoclorito de sodio
3.-TC	Trigo en agua con hidróxido de calcio
4.-CA	Cebada en agua
5.-CH	Cebada en agua con hipoclorito de sodio
6.-CC	Cebada en agua con hidróxido de calcio
7.-MA	Maíz en agua
8.-MH	Maíz en agua con hipoclorito de sodio
9.-MC	Maíz en agua con hidróxido de calcio

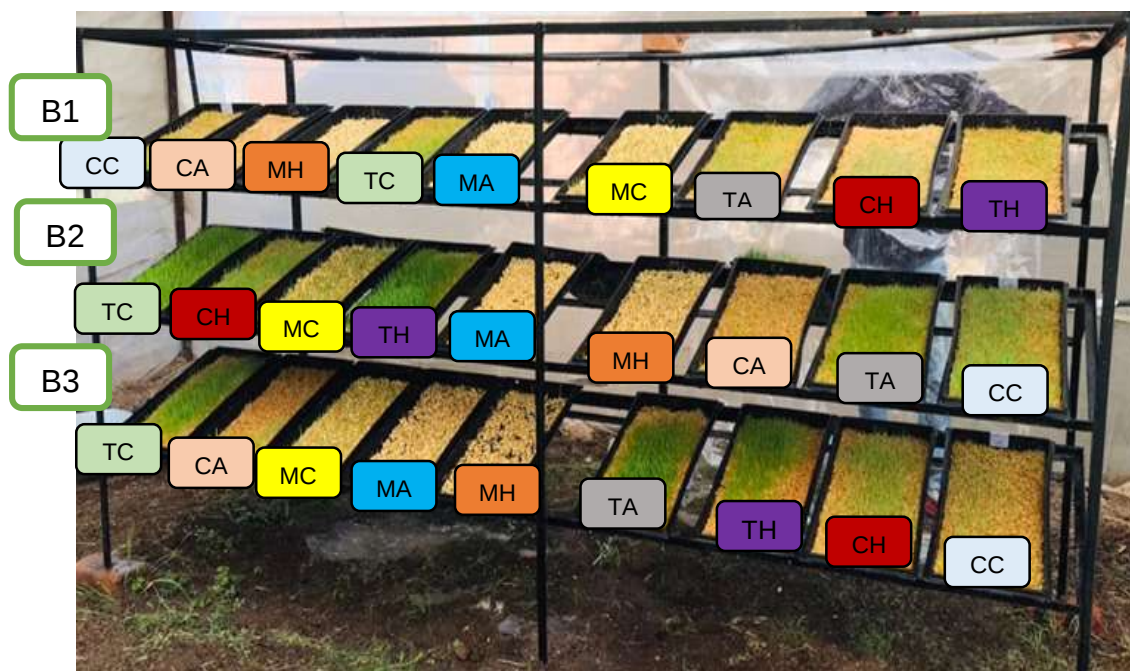


Figura 3.3 - Diseño experimental establecido en estructura.

3.4 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO

3.4.1 Acondicionamiento del área

Se comenzó por limpiar el área donde se estableció el experimento, se realizó deshierbe, nivelación del área, acondicionamiento del invernadero y colocación de malla de acero para prevenir la entrada de roedores (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Preparación del área.

3.4.2 Charolas utilizadas

Se utilizaron 27 charolas de plástico negro para la producción de FVH, con medidas de 25 cm de ancho por 60 cm de largo, estas cuentan con orificios en la parte inferior para evitar la acumulación de agua debajo de la semilla y lograr tener una humedad adecuada.



Figura 3.5 - Charolas empleadas para la producción de FVH.

3.4.3 Instalación del sistema de riego

Se instaló un sistema de riego por aspersión, el cual se conectó con el tinaco y la bomba, colocando un Timer (Temporizador de riegos) de la marca VOLTECK, el cual se programó para la aplicación de riegos de forma automatizada.

3.4.4 Selección de la semilla utilizada y granos en mal estado

Se eligieron los tipos de semilla que se utilizaron para el FVH, se sumergieron en agua para poder eliminar los granos que estuvieran en mal estado (quebrados, podridos, etc.) y separar los residuos que se llegaron a presentar (Figura 3.6) (Juárez et al., 2013).



Figura 3.6 - A) Maíz (*Zea mays*), **B)** Trigo (*Triticum aestivum*), **C)** Cebada (*Hordeum vulgare*) y **D)** Eliminación de semillas en mal estado.

3.5 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS (DESINFECCIÓN DE LA SEMILLA)

Los tratamientos fueron maíz en agua, maíz en agua e hidróxido de calcio (cal), maíz con hipoclorito y agua, trigo en agua, trigo con agua e hidróxido de calcio (cal), trigo con agua e hipoclorito, cebada con agua, cebada con agua e hidróxido de calcio (cal), cebada con agua e hipoclorito. Para la aplicación de los dos tratamientos primero se pesaron los tres tipos de granos donde se utilizaron cinco kilogramos de cada uno, se pasó cada grano a un recipiente de 20 litros, donde se realizó el lavado de la semilla, después se colocó cada grano en un recipiente para la aplicación de los tratamientos, se le agregaron 7.5 mililitros de hipoclorito por litro de agua (Figura 3.7A), 20 gramos de hidróxido de calcio para ocho litros de agua (Figura 3.7B), y al testigo ocho litros de agua.



A



B

Figura 3.7 - A) Desinfección de las semillas con hipoclorito de sodio y B) Desinfección de las semillas con hidróxido de calcio.

3.5.1 Imbibición de semillas en agua (testigo)

Una vez seleccionados los tres tipos de semillas, se colocó cada tipo de grano en un recipiente con ocho litros de agua, se cubrió con hule negro para no permitir la entrada de luz y así acelerar la germinación, durante un periodo de 24 horas (Figuras 3.8).



A



B

Figura 3.8 - A) Imbibición de la semilla de Maíz y B) Imbibición de la semilla de Trigo.

3.5.2 Desinfección de semillas con hipoclorito de sodio

Las semillas se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito (7.5 mL por cada litro de agua). Esto tuvo por objetivo eliminar hongos, bacterias contaminantes y liberar las semillas de residuos. Pasado el tiempo del lavado y desinfección se hizo el pre-germinado de las semillas, esto consiste en sumergir completamente las semillas por un periodo no mayor a 24 horas. Para lograr una imbibición se cubrieron con hule negro y los recipientes se colocaron en un lugar oscuro, este tiempo se divide en dos periodos de 12 horas, una vez cumplidas las 12 horas, se sacaron para hacer el escurrimiento durante una hora, pasando la hora se repitió el proceso, una vez terminado el tiempo se hizo la siembra en las charolas (Figura 3.9).



Figura 3.9 - A) Medición de hipoclorito de sodio para el tratamiento, B) Semilla con el tratamiento y C) Cambio del color de la semilla con el tratamiento.

3.5.3 Desinfección con hidróxido de calcio

Con base en la metodología de Juárez et al. (2013), la desinfección se realizó con hidróxido de calcio y se agregaron 2.5 g por litro de agua, se dejaron ocho horas en un periodo de dos tiempos, a las primeras cuatro horas se sacaron una hora para realizar el escurrimiento, de ahí se repitió el proceso para las siguientes cuatro horas, una vez cumplido el lapso de ocho horas se realizó la siembra en las charolas. Cambiar el agua y poner una hora a escurrir facilita la germinación de las

semillas y ayuda a una mejor oxigenación de ellas (Figura 3.10). De acuerdo con Ramírez (2017), las semillas se sumergen en una solución de 100 g de hidróxido de calcio con una duración de ocho horas.

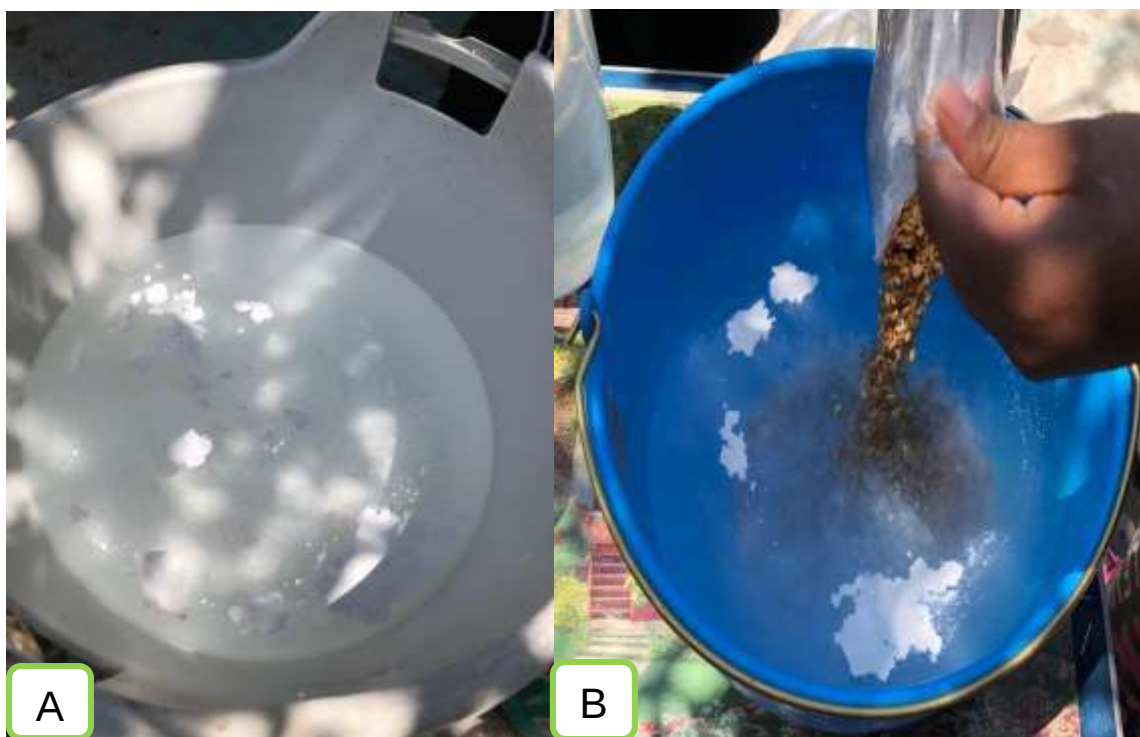


Figura 3.10 - A) Recipiente con agua y tratamiento de hidróxido de calcio y B) Semillas con el tratamiento.

3.6 DESINFECCIÓN DE LOS MATERIALES

Se desinfectaron los materiales como estructura, charolas, sistema de riego, tinaco, plástico y área asignada con agua y cloro antes de iniciar la colocación de los granos (Figura 3.11).



Figura 3.11 - Desinfección de: A) Charolas, B) Estructura y C) Sistema de riego.

3.7 COLOCACIÓN DE LA SEMILLA EN CHAROLAS (SIEMBRA)

Se agregaron los tres tipos de granos a las charolas según el diseño experimental adecuado, después de cuatro días de estar en la oscuridad se realizó la siembra según lo recomendado por López et al. (2009) (Figura 3.12).



Figura 3.12 - Siembra de semillas.

3.8 RECUBRIMIENTO DE LA SEMILLA

Se cubrieron todas las charolas con plástico negro para prevenir la entrada de luz a las semillas en un periodo de dos días y así germinó en un lapso más corto (Figura 3.13).



Figura 3.13 – Recubrimiento de la semilla.

3.9 RIEGOS APLICADOS

Los riegos se aplicaron con la finalidad de alcanzar la humedad adecuada para el desarrollo de la semilla, donde se le colocaron estratégicamente ocho riegos con una duración de cuatro minutos cada uno, pasado el tiempo cuando la planta llegó a una altura adecuada los riegos fueron disminuyendo hasta que solo fueran cuatro riegos (Soto et al., 2012).

Tabla 3.2 - Riegos aplicados cada 2 horas.

Tiempo de aplicación (horas)
7:00 am
9:00 am
11:00 am
1:00 pm
3:00 pm
5:00 pm
7:00 pm
9:00 pm

3.10 TEMPERATURA

La temperatura se tomó durante todo el proceso de la producción del forraje, se monitoreó con un termo higrómetro digital de la marca HANNA, obteniendo su medida en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), se comenzó a medir al primer día que se colocaron las semillas en la estructura y a partir de esa fecha se tomaron todos los días, obteniendo la temperatura más baja de 25.6°C y la más alta de 46.6°C (Figura 3.14 A, B).

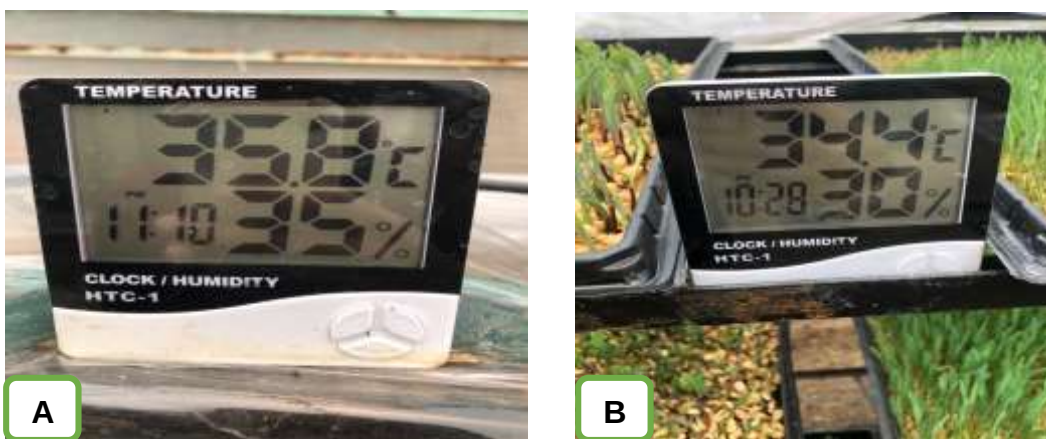


Figura 3.14 - A) Termo higrómetro utilizado y B) Termo higrómetro establecido en la estructura.

3.11 COSECHA DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

Se cosechó el forraje verde hidropónico de maíz (Figura 3.15A), trigo (Figura 3.15B) y cebada (Figura 3.15C) a los 15 días después de la germinación, con una altura aproximada de 10 a 15 cm.



Figura 3.15 - Forraje de A) Maíz, B) Trigo y C) Cebada.

3.12 VARIABLES EVALUADAS

3.12.1 Altura

La altura del forraje se tomó cada cuatro días después de la siembra, utilizando una regla para medir en cm desde el tallo hasta el nudo de la planta, se tomó una planta al azar de cada esquina y del centro de la charola (Figura 3.16).



Figura 3.16 - A) Altura del forraje a los 8 días y B) Altura del forraje a los 15 días.

3.12.2 Peso húmedo

Una vez concluido el ciclo de producción se tomó el peso húmedo (kg) con una balanza analítica de la marca TORREY, pesando por separado cada forraje (Figura 3.17).

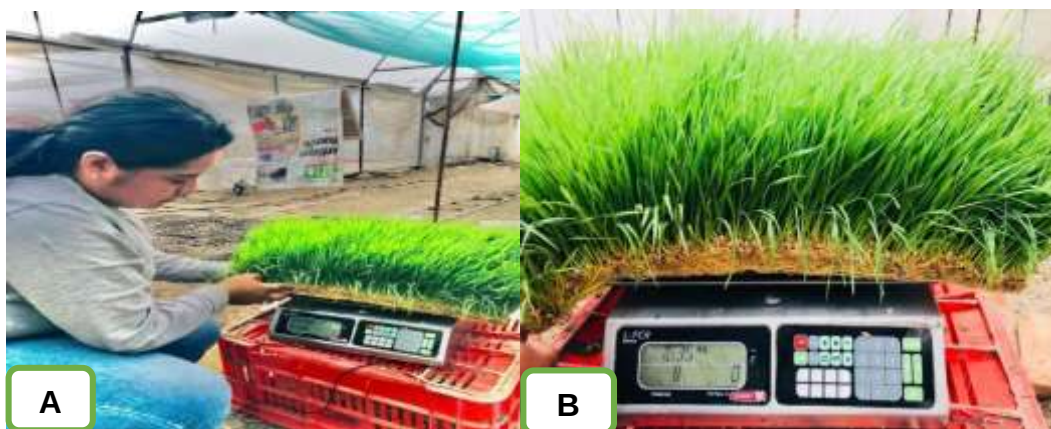


Figura 3.17 - A) Obtención de peso húmedo del FVH de cebada y B) Obtención de peso húmedo del FVH de trigo.

3.12.3 Peso seco

Para el peso seco se colgaron todos los tratamientos sobre la estructura, logrando obtener aeración y acelerar el secado de forma natural, ya que no se pudieron colocar dentro del horno de secado debido a que las muestras eran de gran tamaño y no cabían dentro del horno (Figura 3.18A), cuando los tratamientos ya no contaran con presencia de clorofila se pesaron con ayuda de una balanza analítica (TORREY) (Figura 3.18B).



Figura 3.18 - A) Aeración de los tratamientos y B) Tratamientos sin presencia de clorofila.

3.12.4 Valor nutricional

Se realizaron los métodos para la obtención del valor nutricional en el laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, para el caso de las proteínas se levantó una muestra para el análisis en un laboratorio externo (Figura 3.19).

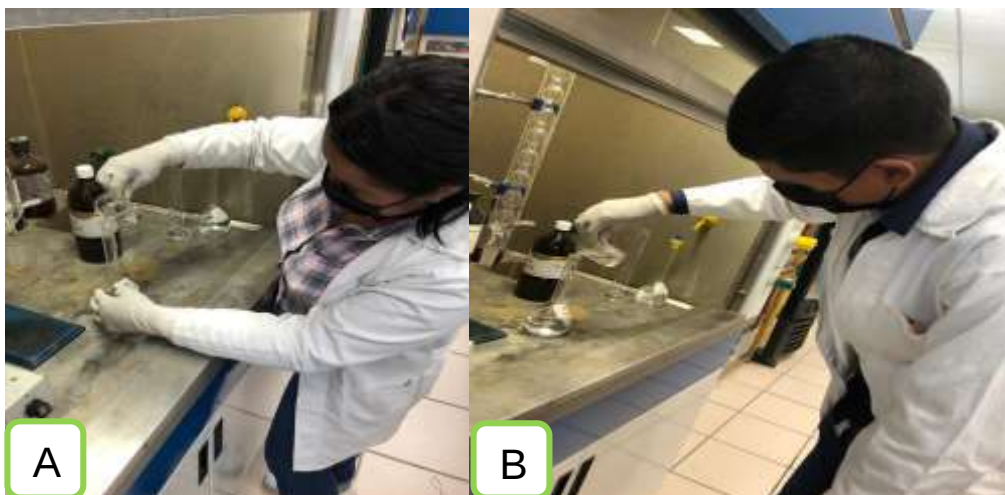


Figura 3.19 - A) Proceso de obtención de valores nutricional y B) Procesos de obtención de valores anti nutricional.

3.12.4.1 Fibra cruda

La obtención de fibra cruda se basó en el protocolo descrito por Novoa et al. (1993), el cual comenzó por pesar las muestras tomando de dos a tres gramos por muestra desengrasada y seca, se prosiguió por colocar en el matraz adicionándole 200 mL de ácido sulfúrico en ebullición, se instaló el condensador para llevarlo a ebullición durante un minuto. Se dejó hervir exactamente 30 minutos, manteniendo constantemente el volumen de agua destilada, moviendo periódicamente el matraz para ir removiendo las partículas adheridas en las paredes. Después se instaló el embudo Buchner con el papel filtro, precalentándolo con agua hirviendo, al término de ebullición se retiró el matraz dejándolo reposar durante un minuto y filtrándolo usando succión; la filtración se realiza por lo menos siete minutos, donde se añade agua destilada hirviendo para quitar los residuos de la solución. El residuo se debe pasar a un matraz añadiendo 200 ml de solución de NaOH en ebullición dejándolo hervir durante 30 minutos, se precalienta el crisol de filtración con agua hirviendo para filtrar y dejar reposar el hidrolizado por un minuto. Antes de finalizar se lava el residuo de fibra con agua hirviendo, así mismo se realizaron varios lavados con solución de HCL y nuevamente con agua hasta asegurar que está completamente

limpia, terminando por hacer tres lavados con éter de petróleo. Pasando los lavados se colocó el crisol con la muestra lista al horno a una temperatura de 105°C por un periodo de 12 horas transcurridas las horas se lleva al desecador. Una vez precalentados los crisoles y secos se pesan para colocarlos en la mufla ya con la muestra (se manipularon con guante para no dejar grasa), se llevan a la mufla a 550°C por tres horas, finalmente se dejan enfriar en un desecador para concluir con el pesado obteniendo los resultados.





Figura 3.20 - A) Preparación de solución, B) Muestras en ebullición, C) Filtración de muestra, D) Lavado de muestra, E) Precalentado de crisoles, F) Crisol en el desecador, G) Pesado de los crisoles sin muestra, H) Fibra obtenida, H) Colocación de fibra en el crisol y J) Pesado del crisol con muestra.

3.12.4.2 Cenizas

La obtención de ceniza se basó en el protocolo descrito por Novoa et al. (1993) se puso a calcinar la cantidad de crisoles de porcelana que se utilizaron para luego llevarse a peso constante, se le colocó de dos punto cinco a cinco gramos de muestra seca, se puso el crisol en la parrilla para poder calcinar la muestra, se pasó a la mufla a una temperatura de 550°C por un periodo de 12 horas, dejándolo enfriar y pasándolo a un desecador, para finalmente obtener el peso de la ceniza con la ayuda de unos cálculos (Figura 3.21).

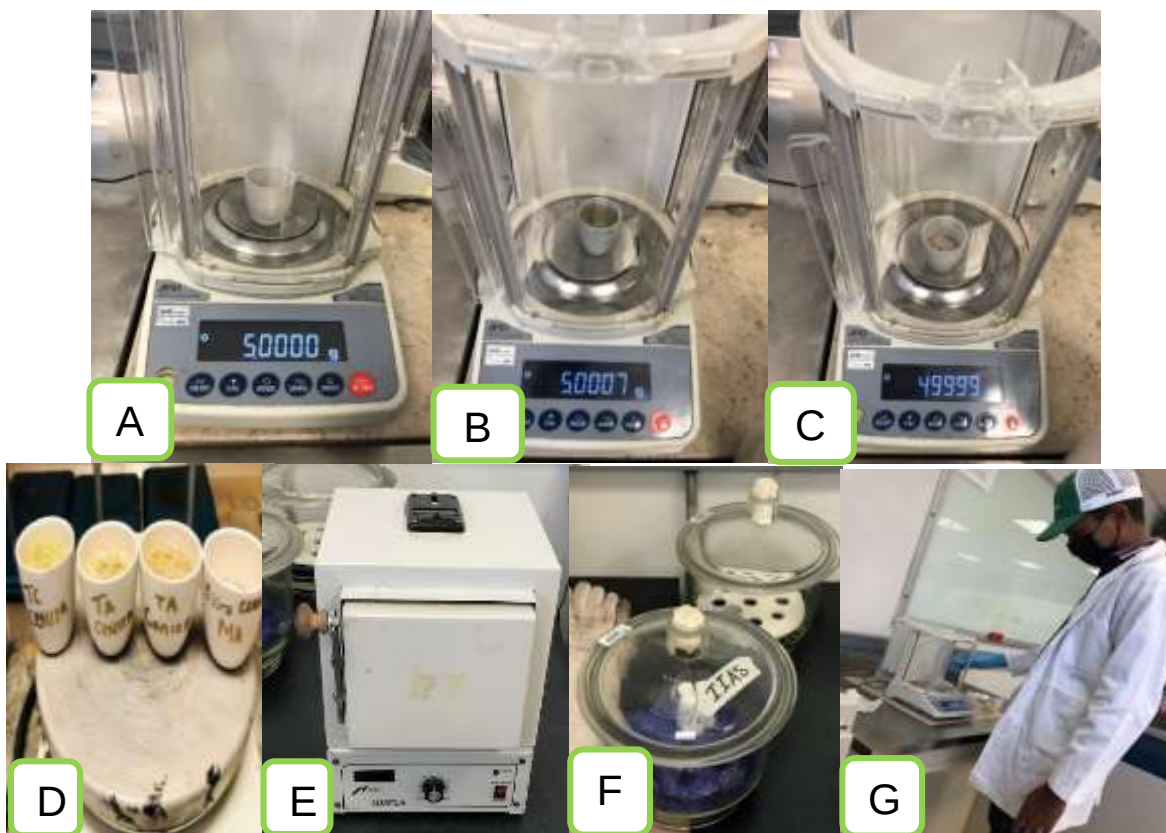


Figura 3.21 - A) Pesado de la muestra de maíz, B) Pesado de la muestra de trigo y C) Pesado de muestra de cebada, D) Calcinación de muestra, E) Colocación en la mufla, F) Muestra en disecador y G) Pesado de las cenizas.

3.12.4.3 Grasas

La determinación de grasa se comenzó por triturar cada una de las muestras de forraje hasta llegar a obtener un polvo fino, se pesaron cinco gramos aproximadamente de cada muestra, se pesaron trozos de algodón los cuales se utilizaron para evitar que la muestra se tirara, se pesaron los balones de fondo plano y se tomó el dato, se agregaron los 5 gramos de muestra a cada cartucho colocándoles el algodón para poderlos pasar al extractor Soxhlet se colocó arriba de un balón de fondo plano y se instaló el sistema conectando el extractor junto al refrigerante procurando que siempre este frio. Se agregó una cantidad adecuada de éter de petróleo al balón de fondo plano, se colocó el extractor arriba de una plancha para que el éter de petróleo se mantuviera caliente a una temperatura adecuada

durante tres horas para que pueda realizar bien los lavados de la grasa que se presenta en el cartucho, cuando el éter de petróleo llegó a la temperatura adecuada se comienza a evaporar y se condensa en el refrigerante, luego gotea hacia abajo al extractor Soxhelt y cuando el éter de petróleo se acumula en el extractor superando la altura del tubo de la izquierda del extractor, la presión hidrostática crea un sifón que evacua el líquido por el tubo de la izquierda hacia el balón de fondo plano y así sucesivamente, luego de las tres horas se evapora el éter de petróleo en la parrilla. Se llevó el balón de fondo plano al desecador para poderlo pesar en frío, se registraron los datos para poder realizar los cálculos posteriormente y así se obtuvo la grasa que se presenta cada muestra (Figura 3.22).

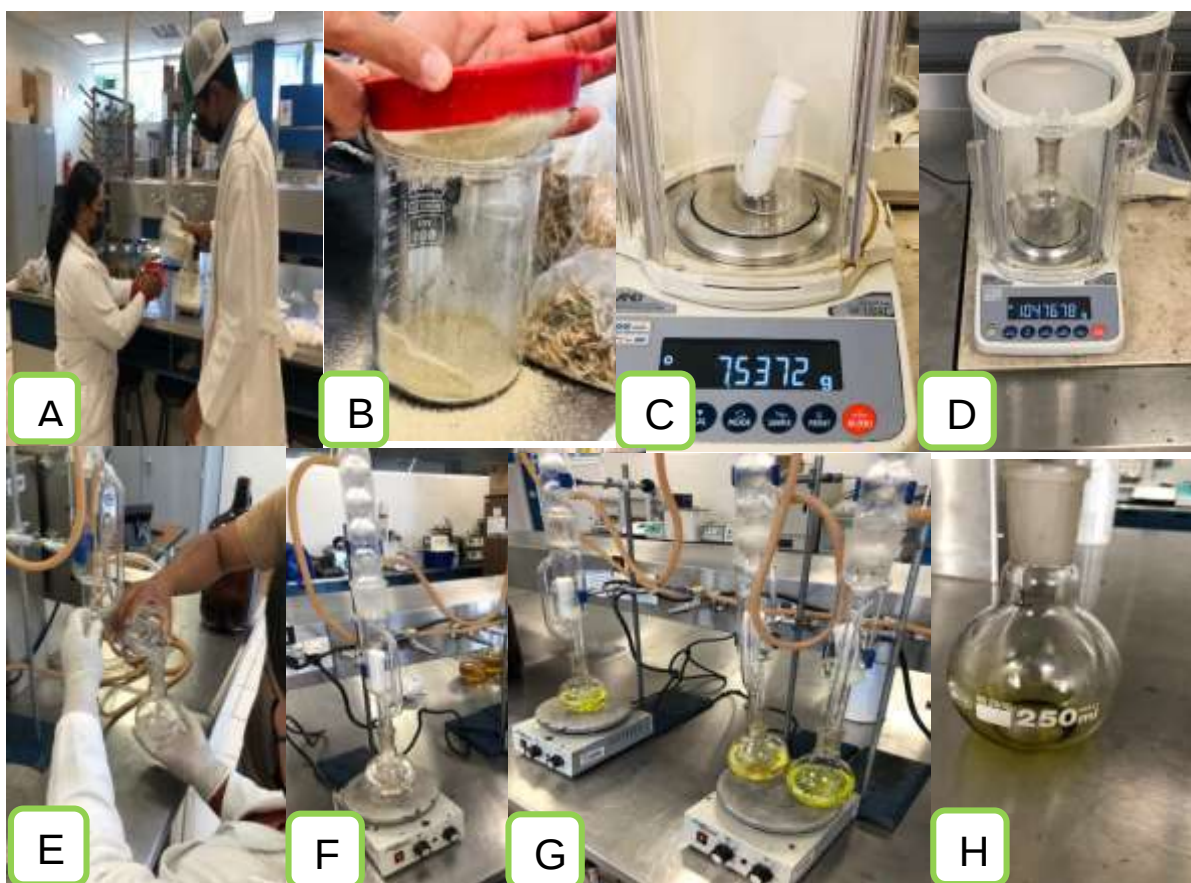


Figura 3.22 - A) Trituración de las muestras de forraje, B) Obtención de polvo fino, C) Peso del cartucho con muestra y algodón, D) Pesado del balón antes y después, E) Aplicación del éter de petróleo al balón, F) Muestras colocadas en el extractor Soxhlet, G) Muestras a las 3 horas y H) Grasas obtenidas.

3.12.4.4 Proteínas

El porcentaje de proteína se realizó en el laboratorio externo LAQUIMIA, utilizando el METÓDO INTERNO NMX-F-608-NORMEX-2011, preparando 200 g de cada tipo de muestra seca para poder obtener el valor de las proteínas. Para obtener los gramos de muestra seca, se comenzó por triturar el Forraje en una licuadora, después se pesó en bolsas y finalmente se mandaron al laboratorio.

3.12.4.5 Valor Anti Nutricional

Esta variable se realizó en el laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, tomando de igual manera una muestra de cinco de oros de cada tratamiento, llevándolas al laboratorio y así se obtuvieron los fenoles, saponinas y la citotoxicidad que presentaban los tratamientos.

3.12.4.6 Fenoles

Para la determinación de los fenoles se ocuparon tres gramos de cada muestra aproximadamente, agua destilada, roto vapor DLAB RE 100-Pro, balón de fondo plano y probeta, añadiendo los tres gramos de cada muestra al balón de 1000 mL, colocándole diez mL de agua destilada con una probeta, una vez colocados los mililitros de agua destilada se colocó el balón de fondo plano en el roto vapor ajustándolo correctamente, empezando con una temperatura de 40 °C, a 50 RPM, después de unos minutos cambia la temperatura a 50 °C hasta llegar a evaporarse y así obtener el concentrado de fenol el cual se pasó a otro balón de fondo plano (Figuras 3.23).

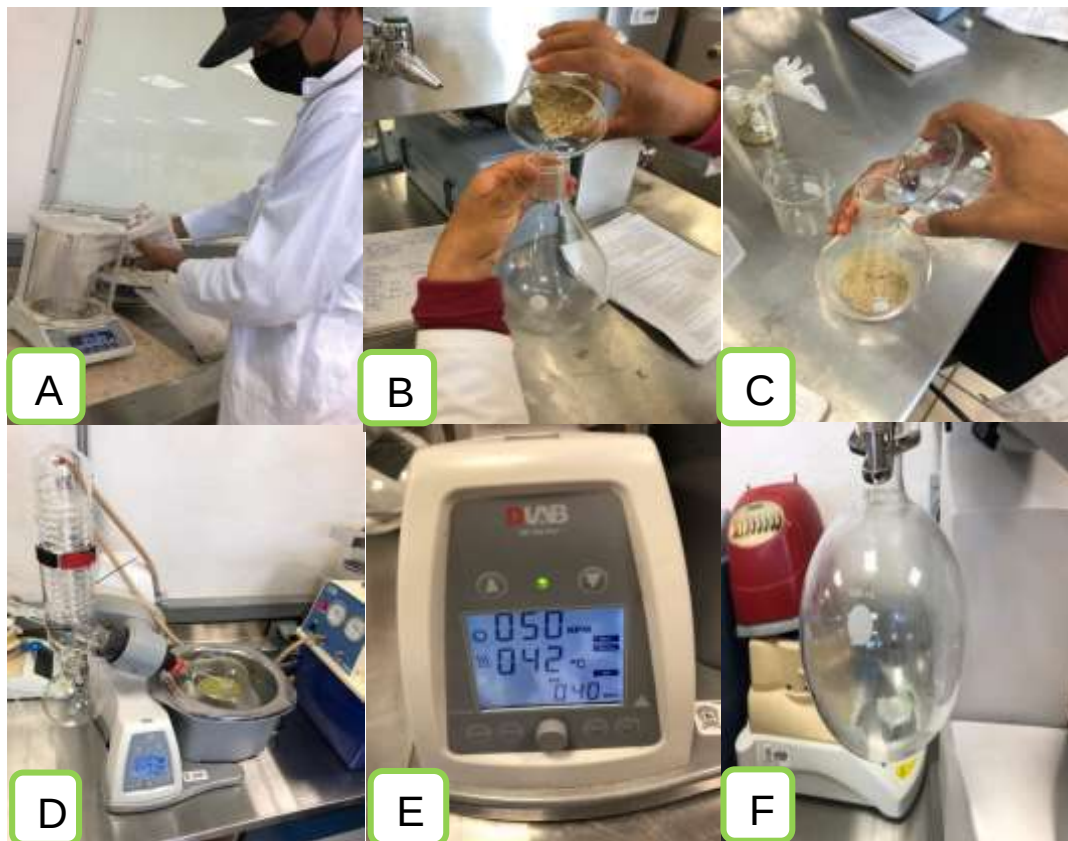


Figura 3.23 - A) Peso de la muestra, B) Colocación de muestra al balón, C) Aplicación de agua destilada, D) Muestra colocada en el roto vapor, E) Temperatura y RPM adecuado y F) No hubo presencia de fenoles en ningún tratamiento.

3.12.4.7 Saponinas

Para la detección de saponinas se utilizó la técnica de espuma la cual consistió en moler fragmentos de la planta con agua destilada esto con ayuda de un mortero, una vez ya molido se filtró y se pasó a los tubos de ensayo prosiguiendo por agitar, si la espuma se mantuvo por un periodo de cinco minutos quiere decir que la planta contiene saponinas, por el contrario, si se baja la espuma quiere decir que no cuenta con saponinas (Figura 3.24).



Figura 3.24 - A), B) y C) Selección de la muestra, Peso de la muestra y Colocación en mortero, D) Trituración de la muestra y E) Agitación de la muestra para determinar si presenta saponinas.

3.12.4.8 Citotoxicidad

Para la determinación de citotoxicidad se utilizó la metodología de Robles et al. (2016) la cual consistió en la preparación de la solución desencapsulante donde se pesaron 0,15 g de NaOH/un gramo de nauplios de artemia y 12 mL NaClO/un gramo.

Después de haber pesado los nauplios se agregaron a un recipiente con capacidad de dos litros, con ayuda de una espátula se homogenizo hasta llegar a la disolución completa del NaOH. Se vertieron los quistes que se hidrataron al tamiz de 120 u, para poder concentrarlos en un recipiente de cinco litros. Se comenzó agregando la

solución descapsulante en el recipiente y se homogenizó la solución con una espátula durante tres a cinco minutos, hasta que se observó un cambio de color marrón oscuro a naranja. Después con ayuda de un tamiz de 120 μ se vertió el agua con la solución, se enjuagó con abundante agua destilada para poder retirar el exceso de la solución descapsulante.

Pasado el tiempo y una vez enjuagados se colocaron los quistes en el recipiente de cinco litros se agregó agua destilada y 100 gramos de sal de mar, se colocó una piedra difusora y un termostato a 28 °C, para la eclosión se dejó en un periodo 48 horas con una intensidad de 1500 a 2500 Lux, se desconectó el termostato retirando la piedra difusora, se dejó el recipiente sin aireación durante 15 minutos, para que los quistes que no eclosionaron se puedan distinguir de los eclosionados.

Se extrajeron los nauplios con una Pipeta Pasteur y se colocaron en una caja Petri, para después llevarlos al estereoscopio y poder calcular la eficiencia de la eclosión.

Para la determinación de citotoxicidad de Forraje Verde Hidropónico (FVH) se pesaron tres gramos de muestra seca con 30 mL de metanol, se homogenizó, se sonó durante 15 min, se centrifugó (4000 rpm, 15 min 4 °C) y se filtró el sobranante, se concentró para obtener el rendimiento adecuado de la muestra, se utilizó el método de Artemia salina propuesto por (Molina et al., 2010), comenzando por tomar de 10-15 nauplios y se colocaron en pocillos de micro placas de 96 pozos, se adicionaron 150 μ L de extracto metanólico de la planta a diferentes concentraciones (10-1500 μ g/mL). Se dejó reposar en un refrigerador durante 24 h y se realizó el conteo de los nauplios muertos, realizando dos controles un positivo (+) y negativo (-).

Se calculó el porcentaje de la letalidad por cada una de las concentraciones mediante la ecuación de % letalidad = $TM/TV \times 100$, calculando la concentración letal media (CL) (Figura 3.25).

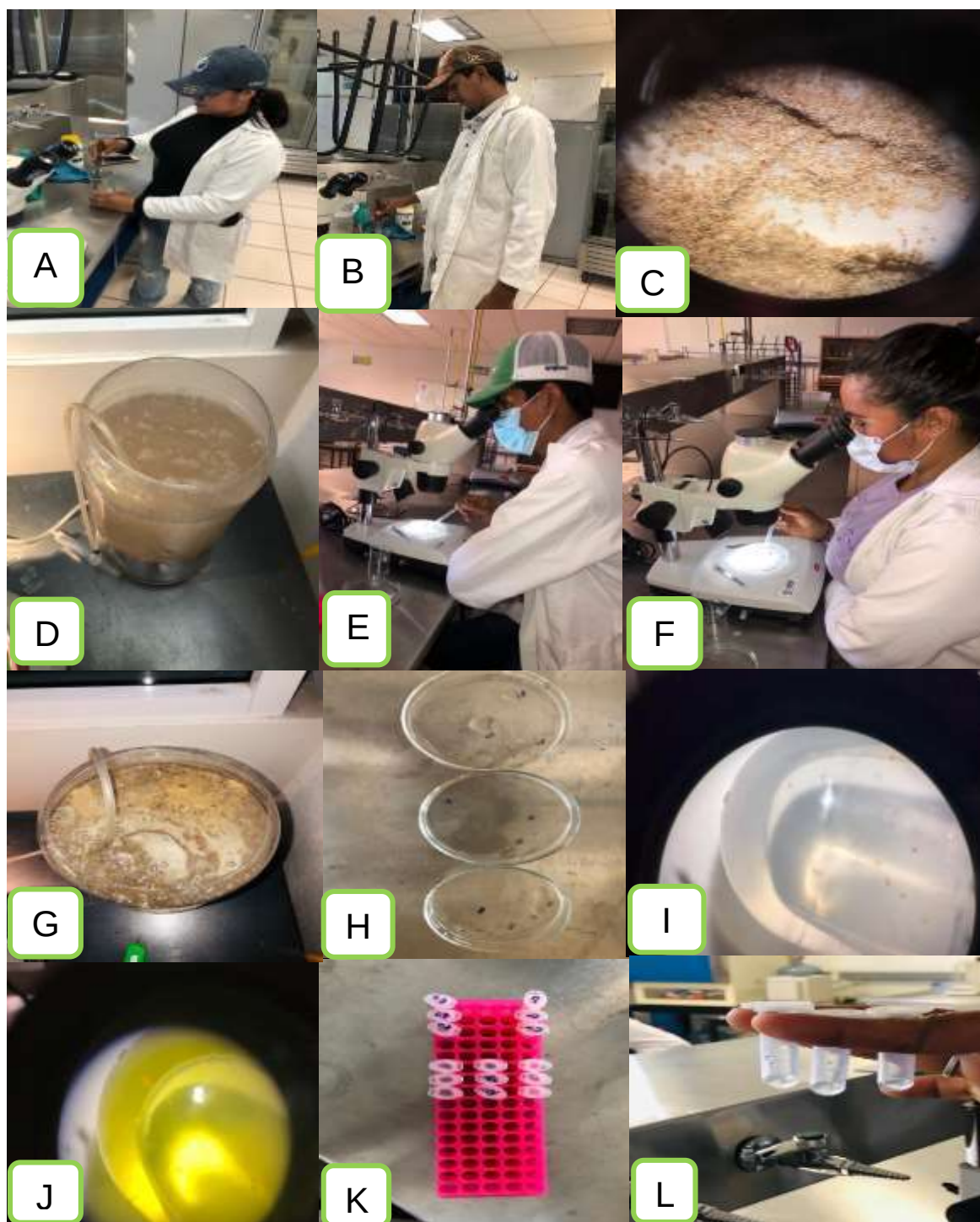


Figura 3.25 - A), B) Preparación de solución, C) Cambio de color de los nauplios, D) Eclosión durante 48 horas, E) y F) Observación de la eficiencia de eclosión, G) y H) Extracción de nauplios y colocación en caja Petri, I) y J) Nauplios muertos y vivos, K) Control negativo y positivo de nauplios, y L) Nauplios vivos después de agregar el extracto de muestra del FVH.

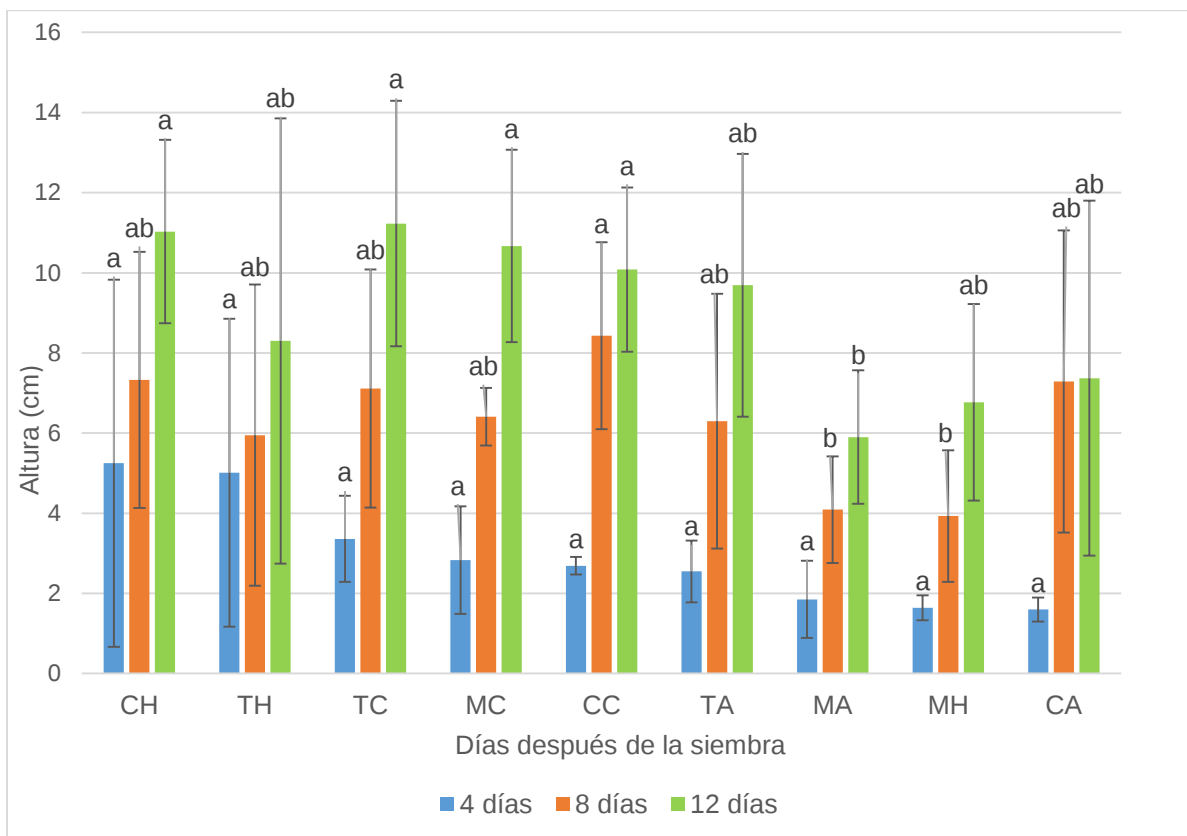
3.13 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y las medias de los tratamientos a una prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95% ($p \leq 0.05$), se utilizó el procedimiento incluido en el software InfoStat 2020.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ALTURA DE LAS PLANTAS

En la altura de las plantas durante el proceso de la producción de forraje, se presentaron diferencias estadísticas significativas a los ocho y 12 días de registro, mientras que a los cuatro días todos los tratamientos fueron iguales. A los ocho días el tratamiento de hidróxido de calcio (CC) obtuvo la mayor altura con 8.43 cm y superó con más de 51.49% a la especie de maíz tratada en agua (MA) y con hipoclorito de sodio (MH); sin embargo, fue estadísticamente igual a las especies de cebada y trigo con hipoclorito de sodio, trigo y maíz con hidróxido de calcio, así como trigo y cebada en agua. Al finalizar el proyecto a los 12 días, los tratamientos cebada con hipoclorito de sodio (CH), trigo con hidróxido de calcio (TC), maíz en agua (MA) y cebada con hidróxido de calcio (CC) presentaron la mayor altura, oscilando desde 10.08 hasta 11.03 cm de altura, superando con un 49.51% al maíz en agua (MA), siendo significativamente iguales los tratamientos trigo con hipoclorito (TH), trigo en agua (TA), maíz con hipoclorito (MH) y cebada en agua (CA). Según Romero et al. (2009) mencionan que la altura promedio para cosechar el forraje verde hidropónico debe ser entre 15 a 20 cm, debido al estado fenológico más adecuado para el almacenamiento de nutrientes en la planta, sin embargo, Soto (2012) reportó que, en un periodo de 12 días con una alta densidad de 5 kg por metro cuadrado, obtuvo una altura de 21.96 cm. Por lo tanto, en este experimento no se alcanzó dicha altura debido a la menor densidad de semilla utilizada para el forraje, esto quiere decir que a mayor densidad de siembra mayor será la altura de la planta, debido al proceso, por el cual pasaron las semillas desde la germinación hasta la producción, donde compiten entre ellas por la luz para su crecimiento y desarrollo en la altura.



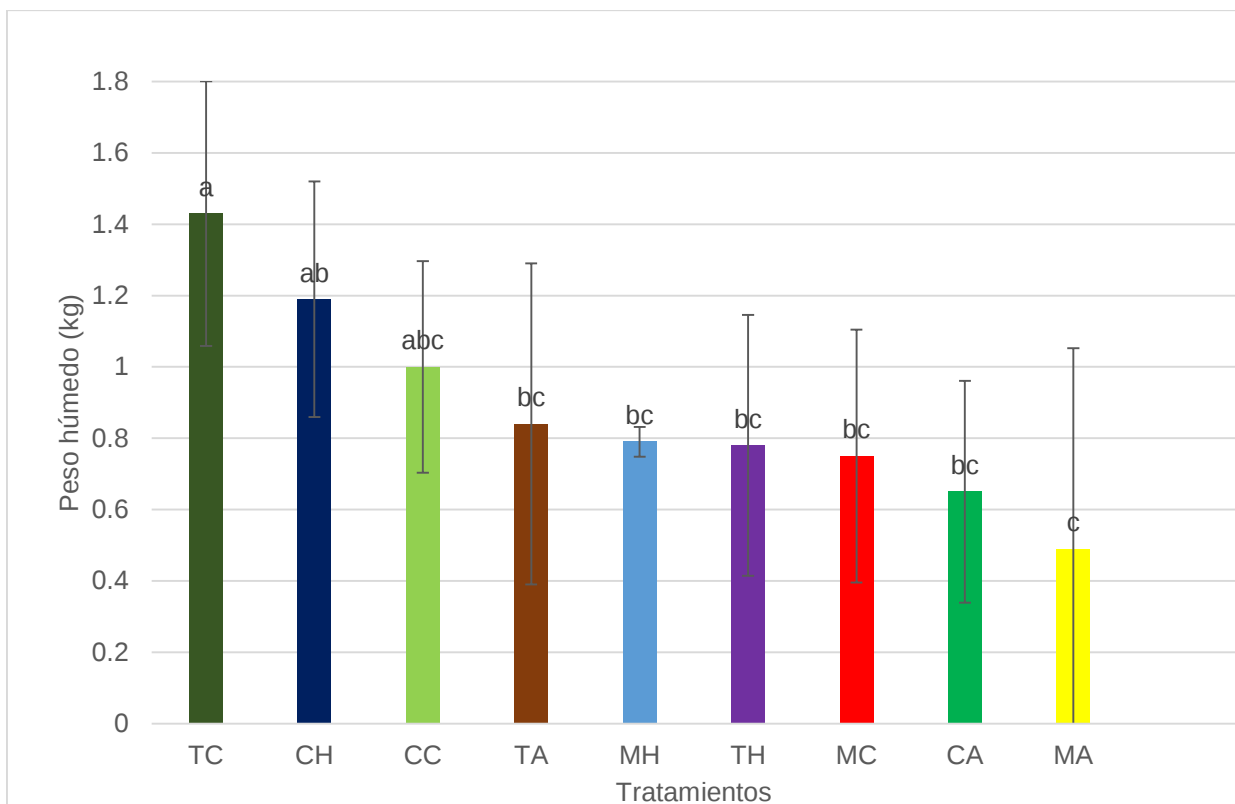
(CA) Cebada en agua (CC) Cebada en agua con hidróxido de calcio (CH) Cebada en agua con hipoclorito de sodio
 (MA) Maíz en agua (MC) Maíz en agua con hidróxido de calcio (MH) Maíz en agua con hipoclorito de sodio
 (TA) Trigo en agua (TC) Trigo en agua con hidróxido de calcio (TH) Trigo en agua con hipoclorito de sodio

Figura 4.1 - Varianza de altura durante el proceso de producción del forraje. Letras diferentes muestran diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.2 PESO HÚMEDO

A los 16 días de producción del forraje, se presentaron diferencias estadísticas significativas en el peso húmedo, obteniendo un mejor promedio en el tratamiento de trigo con hidróxido de calcio (TC) con una media de 1.43 kg (9.5 kg/m^2), superó

con 16.79% al trigo en agua (TA), maíz con hipoclorito de sodio (MH), trigo con hipoclorito de sodio (TH) maíz con hidróxido de calcio (MC) y cebada en agua (CA). Sin embargo, con la investigación realizada por Salas-Pérez et al. (2010) el cual indica que el rendimiento de peso fresco depende del día de cosecha y fertilización utilizada, ya que el agua tiene un bajo rendimiento y aporte nutricional en comparación del agua con fertilizante, el aporte de biomasa se ve más favorecido al aporte del fertilizante aplicando al menos 200 mg/L de N. Pese a lo cual, Barquero et al. (2019) mencionan que los valores elevados de peso fresco no son deseables en el material de forraje, ya que contienen un alto porcentaje de agua en las células de la planta, la cual no aporta nutrientes al ganado, así mismo el forraje en verde aumenta el paso de los alimentos por el tracto digestivo ocasionando una disminución en el peso del animal.



(CA) Cebada en agua

(CC) Cebada en agua con
hidróxido de calcio

(CH) Cebada en agua con
hipoclorito de sodio

(MA) Maíz en agua

(MC) Maíz en agua con
hidróxido de calcio

(MH) Maíz en agua con
hipoclorito de sodio

(TA) Trigo en agua

(TC) Trigo en agua con
hidróxido de calcio

(TH) Trigo en agua con
hipoclorito de sodio

Figura 4.2 - Varianza de peso de forraje verde hidropónico a los 16 días después de la siembra. Letras diferentes muestran diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.3 PESO SECO

En la Figura 4.3 se presenta los valores del peso seco del forraje, no mostrando diferencias estadísticas significativas, por lo tanto, todos los tratamientos son significativamente iguales donde el peso oscila desde 57.35 g trigo con agua (TA) hasta 181.83 g cebada con hidróxido de calcio (CC), con una diferencia de 31.54%.

El tratamiento cebado con hidróxido de calcio (CC) rebasa en peso seco a los tratamientos cebada con hipoclorito de sodio (CH), maíz con agua (MA), cebada con agua (CA), maíz con hipoclorito de sodio (MH), maíz con hidróxido de calcio (MC), trigo con hidróxido de calcio (TC) y trigo con hipoclorito de sodio (TH). De acuerdo a investigaciones realizadas por Varela (2017) indica que hay un incremento de la materia seca (MS) al pasar los días de la cosecha del FVH, según estudios comparados con el de él se obtuvieron resultados similares, donde se obtuvieron los mayores valores a los 15 días de cosecha, el rendimiento más bajo se muestra a los 12 días de cosecha independientemente de haberle aplicado fertilizantes. Dumont y Alomar (2005) indican que el contenido de materia seca (MS) y fibra aumenta con la madurez del cultivo, independientemente del método que se haya utilizado para la extracción de la materia seca. Por su lado, Sánchez et al. (2013) registraron 0.361 kg/m^2 de peso seco en forraje de cebada tratado con hidróxido de calcio y una densidad de siembra similar (3.51 kg/m^2), mientras que en el presente proyecto se obtuvo $1,212 \text{ kg/m}^2$ con una densidad de siembra de 3.33 kg/m^2 .

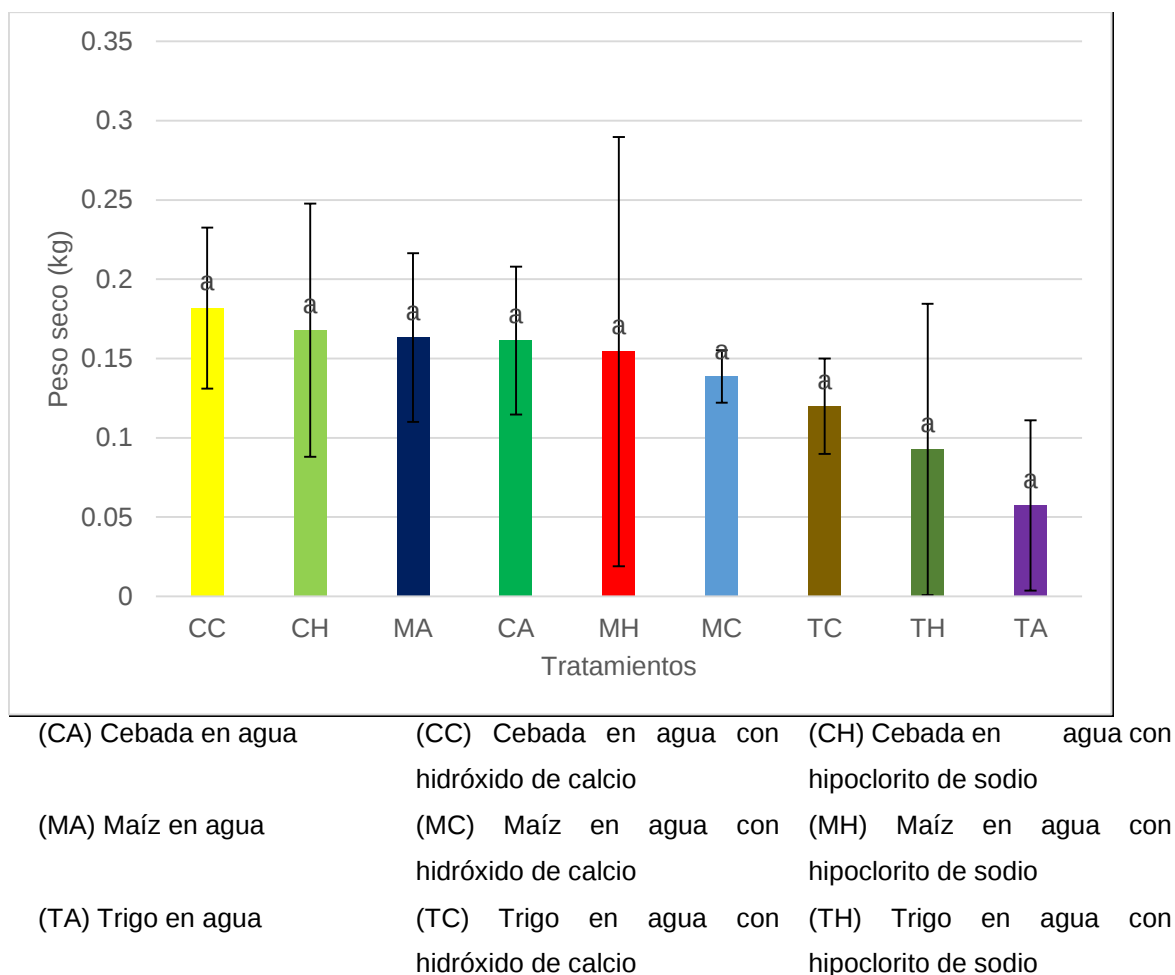


Figura 4.3 - Variación del peso seco durante el proceso de la producción de forraje verde hidropónico. Letras iguales por tratamiento no muestran diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.4 VALOR NUTRICIONAL

4.4.1 Grasa, ceniza y fibra

En la Tabla 4.1 se presentan los tratamientos y el nivel porcentaje de grasas, cenizas y fibra que se obtiene del forraje verde hidropónico, en el tratamiento de trigo con hipoclorito, cal y agua el porcentaje de grasa está entre el 16.968%, 22.11% y 21.444%, para el tratamiento de cebada con hidróxido de calcio, agua e

hipoclorito de sodio, el porcentaje de cada uno es de 19.902%, 18.386% y 23.312%, por último, el tratamiento de maíz con hipoclorito de sodio, hidróxido de calcio y agua, su porcentaje es del 26.112%, 21.83% y 22.416%.

El porcentaje de ceniza que aporta el FVH en los tratamientos de trigo con hipoclorito es de 47.326%, trigo con cal 71.54% y trigo en agua 8.466%, cebada con hipoclorito 56.632%, cebada con cal 15.806% y cebada en agua 41.676%, en el maíz su porcentaje de ceniza en los tratamientos oscila del 77.458% y 31.706%, Por último está el porcentaje en fibra que se obtiene del forraje donde los tratamientos de trigo con hipoclorito de sodio, hidróxido de calcio y agua es de 6.81%, 8.666% y 0.074%, donde el tratamiento de trigo con agua resulta ser el que menor fibra aporta, en la cebada el mayor aporte de fibra es en el tratamiento de cebada con agua mostrando un 6.068% mientras que el más bajo es cebada con hidróxido de calcio con un 0.442% en medio está el tratamiento de cebada con hipoclorito de sodio mostrando un 4.57%.

El tratamiento que aportó mayor porcentaje de grasa fue (MH) maíz con hipoclorito de sodio 1.305%, en ceniza (MC) maíz con hidróxido de calcio con el 3.872% y en fibra con un porcentaje de 8.666% el (TC) trigo con hidróxido de calcio. De acuerdo con una investigación realizada por Contreras et al. (2015), utilizando semillas de trigo y cebada para producir forraje verde hidropónico con una cantidad de 296 g por bandeja, obtenido como resultado en la fibra de cebada un 10.31% y trigo con el 18.20% obteniendo estos resultados a los 20 días de siembra de los granos, de acuerdo con Pérez (1995) el valor de fibra obtenido a los 20 días de colocación de las semillas se presentó con el 11.69% en la cebada. Resultados obtenidos por Guevara (2018) para determinar el aporte de ceniza del forraje verde hidropónico se utilizó un kilogramo por charola de semillas de cebada y maíz dejándolo por un periodo de 15 días, obteniendo con mejor resultado al maíz con un 16.83% de presencia de ceniza. De acuerdo con una investigación realizada por Sánchez (2019) se obtuvo el resultado de la ceniza con semilla de maíz a los 13 días de cosecha con un 22.22%, en donde los datos recaudados de proyecto son superiores a los resultados de los autores. Mencionando para la grasa una investigación

realizada por Borja y Perlara (2009) los días que se deje establecido el forraje en las charolas influye en los valores que se obtendrán en su aportación de valor nutricional, en este caso para obtención de la grasa mediante los días establecidos en semillas de maíz al cosechar a los 15 días con una altura de 18 cm se obtuvieron 2.5 g, a los 12 días de cosecha con una altura de 25 cm 3.2 g y a los 15 días con una altura de 27 cm 3.5 g en aportación de grasa.

Tabla 4.1 - Aportación del valor nutricional de los granos (Porcentaje (%) de grasa, ceniza y fibra que aporta cada tratamiento).

Tratamiento	Grasa	%	Ceniza	%	Fibra	%
(TH) Trigo en agua con hipoclorito de sodio	0.8484g	16.968%	2.3663g	47.326%	0.3405g	6.81%
(TC) Trigo en agua con hidróxido de calcio	1.1055g	22.11%	3.5772g	71.54%	0.4333g	8.666%
(TA) Trigo en agua	1.0722g	21.444%	0.4233g	8.466%	0.0037g	0.074%
(CH) Cebada en agua con Hipoclorito de sodio	0.9951g	19.902%	2.8316g	56.632%	0.0215g	0.43%
(CC) Cebada en agua con hidróxido de calcio	0.9193g	18.386%	0.7903g	15.806%	0.0221g	0.442%
(CA) Cebada en agua	1.1656g	23.312%	2.0838g	41.676%	0.3034g	6.068%
(MH) Maíz en agua con hipoclorito de sodio	1.3056g	26.112%	2.1519g	43.326%	0.2285g	4.57%
(MC) Maíz en agua con hidróxido de calcio	1.0915g	21.83%	3.8729g	77.458%	0.0184g	0.368%
(MA) Maíz en agua	1.1208g	22.416%	1.5853g	31.706%	0.0041g	0.082%

4.4.2 Obtención de proteínas

En la Tabla 4.2 se muestra el porcentaje de proteína que aportan las diferentes especies del forraje, encontrándose como los mejores tratamientos que aportan proteína cebada con agua, hidróxido de calcio e hipoclorito con el 11.67%. De acuerdo con Soto et al. (2012) mencionan que, en otras investigaciones el contenido

de proteína cambia de acuerdo al tipo de semilla, días de cosecha y densidad, se debe de proporcionar a los animales dentro de los 10 a 12 días, ya que si se lleva a pasar pierde el valor proteico, ya que la semilla durante los primeros días de germinación libera una proteína llamada hidrólisis por esta razón, la solubilidad de la proteína es cercana al 80%, sin embargo, se reporta una disminución de 40% de contenido de proteína a los 12 días esto respecto al FVH de trigo esto cambia dependiendo de las semillas a utilizar para la producción del forraje.

Tabla 4.2 - Porcentaje obtenido de proteínas, por cada 200g de biomasa.

Forraje Verde Hidropónico	Porcentaje de proteína (%)
Maíz (<i>Zea mays</i>)	6.95%
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	10.51%
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	11.67%

4.5 VALOR ANTI NUTRICIONAL

4.5.1 Fenoles y saponinas

En la Tabla 4.3 se muestra el análisis de metabolitos donde las especies evaluadas para la determinación de fenoles y saponinas fueron maíz, trigo y cebada, con los tratamientos agua, hidróxido de calcio e hipoclorito de sodio, siendo las saponinas las que estaban presentes en los extractos de maíz en agua (MA), maíz en agua con hidróxido de calcio (MC), maíz en agua con hipoclorito de sodio (MH), trigo en agua (TA) y cebada en agua (CA), mientras que los demás tratamientos no tuvieron presencia de saponinas, en el caso de los fenoles ningún tratamiento mostro presencia. De acuerdo con Martínez (2014), la diferencia en los niveles que se presenten de fenoles en semillas de cebada puede deberse a la naturaleza y por el extracto utilizado, en este caso el autor utilizó diferentes tipos de soluciones y obtuvo presencia de fenoles en la semilla de cebada disolviendo en 206.46 mg de ácido

galino/100 g. De acuerdo con Guerrero y Calderón (2017), la presencia de saponinas en las semillas no se puede presentar en algunos casos debido a que el proceso de germinación desempeña una actividad enzimática como un mecanismo de defensa en los granos y así prevenir la presencia de saponinas. Mena et al. (2015), estos metabolitos pueden llegar a presentar una amplia actividad biológica y farmacológica, desarrollando su efecto insecticida.

Tabla 4.3 - Análisis de metabolitos secundarios de diferentes granos.

Tratamiento	Fenoles	Saponinas
Maíz en agua	-	+
Maíz en agua con hidróxido de calcio	-	+
Maíz en agua con hipoclorito de sodio	-	+
Trigo en agua	-	+
Trigo en agua con hidróxido de calcio	-	-
Trigo en agua con hipoclorito de sodio	-	-
Cebada en agua	-	-
Cebada en agua con hidróxido de calcio	-	-
Cebada en agua con hipoclorito de sodio	-	+

El símbolo (-) representa la negatividad de presencia en la muestra y el símbolo (+), la presencia positiva de fenoles y saponinas en los tratamientos.

4.5.2 Citotoxicidad

En la Tabla 4.4 se puede apreciar los resultados que se obtuvieron de la citotoxicidad que presentó cada uno de los tratamientos, encontrándose altamente tóxicos los tratamientos de (TA) trigo en agua, (TC) trigo en agua con hidróxido de calcio y (MH) maíz en agua con hipoclorito de sodio, prosiguiendo con los tratamientos que presentaron un nivel menor toxico (TH) trigo en agua con hipoclorito de sodio, (MA) maíz en agua, (MC) maíz en agua con hidróxido de calcio, (CA) cebada en agua y (CH) cebada en agua con hipoclorito de sodio, encontrándose (CC) cebada en agua con hidróxido de calcio como el tratamiento que no presento toxicidad. De acuerdo con García et al. (2010) los resultados que se pueden obtener de la presencia de citotoxicidad en forrajes puede depender el control que se esté utilizando, ya que comúnmente se utiliza el de tritón x-100, el cual no es iónico usado para la permeabilización de las membranas de las células eucariotas provocando lisis celular. Robles et al. (2016) mencionan que los resultados que se pueden obtener dependen mucho de su composición, lugar de desarrollo, de la planta que se va a estudiar, raíz, fruto etc., así mismo como el tipo y condiciones de extracción de la muestra, los resultados se clasifican en extremadamente tóxico, altamente tóxico, moderadamente tóxico, ligeramente tóxico, prácticamente no tóxico y relativamente inocuo para el ganado.

Tabla 4.4 - Grados de toxicidad encontrada en las especies evaluadas.

Tratamientos	Número de nauplios antes de incubar		Número de nauplios después de incubar	% de nauplios muertos después de incubar a 24 horas con extracto	Grado de toxicidad
	Vivos	Muertos	Muertos	Muertos	
Trigo en agua	10	0	1	8	Altamente toxicó
Trigo en agua con hidróxido de calcio	10	0	1	9	Altamente toxicó
Trigo en agua con hipoclorito de sodio	10	0	0	10	Toxicó
Maíz en agua	10	0	0	10	Toxicó
Maíz en agua con hidróxido de calcio	10	0	0	10	Toxicó
Maíz en agua en agua con hipoclorito de sodio	10	0	0	8	Altamente toxicó
Cebada en agua	10	0	0	10	Toxicó
Cebada en agua con hidróxido de calcio	10	0	1	3	No toxico
Cebada en agua con hipoclorito de sodio	10	0	0	8	Toxicó

Toxicidad presente en cada uno de los tratamientos, encontrándose el (CC) Cebada con agua como el tratamiento sin presencia de toxicidad para el ganado

Nota: Se utilizaron 10 nauplios para el estudio

V. CONCLUSIÓN

5.1 CONCLUSIONES

El tratamiento con mayor porcentaje de grasa fue el maíz en agua con hipoclorito con 1.3056g y 26.112%.

El maíz con hidróxido de calcio presentó mayor porcentaje de ceniza presentando 3.8729g y 77.458%.

El tratamiento de trigo en agua con hidróxido de calcio fue quien obtuvo mayor cantidad de fibra con 0.4333 g y 8.666%.

Para el caso de la proteína el tratamiento que mostró mejor porcentaje fue la cebada mostrando el 11.67%.

La menor concentración de saponinas y fenoles fue en los tratamientos trigo en agua con hidróxido de calcio, trigo en agua con hipoclorito de sodio, cebada en agua con hidróxido de calcio y cebada en agua.

En la prueba de citotoxicidad el tratamiento que no presentó fue la cebada en agua con hidróxido de calcio mostrando menor mortalidad de artemias.

En la variable de peso húmedo se obtuvieron resultados similares entre los tratamientos trigo en agua con hidróxido de calcio, cebada en agua con hipoclorito de sodio y cebada en agua con hidróxido de calcio que al mismo tiempo presentaron las medias más altas, 1.4 kg, 1.19 kg, 1 kg en una superficie de 0.15 m² respectivamente.

En el parámetro de peso seco no se mostró diferencia estadística en ningún tratamiento, sin embargo, el peso oscila entre 57.35g (0.382 kg/m²) hasta 181.83g (1,212 kg/m²).

En la altura de las plantas se presentaron diferencias estadísticas a los ocho y doce días, el tratamiento de hidróxido de calcio obtuvo la mayor altura presentando 8.43 cm mientras que a los doce días la altura de los tratamientos osciló entre 10.08 cm a 11.03 cm.

Cumpliendo así la hipótesis planteada se confirma que el tratamiento mejor fue trigo en agua con hidróxido de calcio aportando mayor biomasa y valor nutricional.

VI. REFERENCIAS

- Amat, F. (1985). Utilización de Artemia en acuicultura. *Tecnología pesquera*, 57(11), 128-129.
- Alba, V. (2006). *Química de los alimentos*. Cámara Nacional de la Industria Mexicana.
- Alvarez Mollo, N. J. (2018). *Respuesta del forraje verde hidropónico de la aplicación de dos soluciones nutritivas en avena (Avena sativa) y cebada (Hordeum vulgare) en carpa solar* [Tesis de Doctorado, Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía]
- Barquero, V., Nieuwenhuys, A., y García, A. R. (2019). Efecto de diferentes concentraciones de sales fertilizantes sobre la producción primaria de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*.), San Carlos, Costa Rica. *Agro Innovación en el Trópico Húmedo*, 2(1), 12-17.
- Barbaro, L., Karlanian, M., y Mata, D. (2014). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- Badui, S. D. (2006). *Química de los alimentos* (4ª ed.) Pearson.
- Barioglio, C. F. (2006). Biomasa. En el *Diccionario de las Ciencias Agropecuarias*. Encuentro Grupo Editor Recuperado 20 de noviembre de 2023, de <https://books.google.co.ve/books?id=xzLQnBU6DOkC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Beltrano, J. y Giménez, D.O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

- Borja, T. C., y Perlará, R., M. (2009). Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. *Bioetnia*, 6(2), 127-134.
- Carballo Mondaca C.R. (2000). *Manual de procedimientos para germinar granos para alimentación animal*. SCRIBD.
- Capurro, J., Bragachini, M. y L. Bonetto (2010). Morfología y taxonomía de la cebada. *Prensa W*, 73(6), 7-10.
- Cerrillo, S.M.A., Reyes, A.S.J., Ahumada, J. A. R, y Barragán., H. B. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*, 37(12), 906 – 913.
- CRUZ, M. (2019). *Evaluación de parámetros fisicoquímicos en una cerveza utilizando triticale como adjunto* [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Ciencias Agrícolas]. [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/104878/Magaly%20tesis%20\(sin%20dato%20sensibles\).pdf?sequence=3](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/104878/Magaly%20tesis%20(sin%20dato%20sensibles).pdf?sequence=3)
- Contreras, J. L., Tunque, M., y Cordero, A. G. (2015). Rendimiento hidropónico de la arveja con cebada y trigo en la producción de germinados. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 26(1), 9-19.
- Chavarria, T. A., y Castillo, C. S. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. *Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(8), 1032-1039.

Darragh, A. (2005). Protein Effectiveness Index: a new method for expressing the value of dietary protein (4^{ed}) International.

Díaz, P. L., (2009). Interacciones moleculares entre plantas y microorganismos: saponinas como defensas químicas de las plantas y su tolerancia a los microorganismos. *Estudios Transdisciplinarios*, 1(2), 32-55.

Dumont, J. C., Anrique, R., y Alomar, D. (2005). Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. *Agricultura Técnica*, 65(4), 388-396.

Elizondo, S. J. (2015). Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal. *ECAG Informa*, 2(32), 36-39.

Editorial Complutense. (2003). Fenoles. En el *Diccionario de Química*. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de https://books.google.com.mx/books?id=VmdvQfFbq9UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Editorial Complutense. (2004). Vitaminas. En el *Diccionario de Biología*. Recuperado 20 de noviembre de 2023, de https://books.google.com.mx/books?id=16y_kUoOI5YC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Gaspar Reyes, W., Niño Velásquez, A., Alejos Cabrera, R., & Ynga Huamán, G. (2021). *Manual para la producción de Artemia franciscana como alimento para larvas y juveniles de peces*. (11 ed.). <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3531/1/Informe%2048-1%20Articulo8.pdf>

- García, M. E., Fernández, S. I., y Fuentes, L. A. (2013). Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con una base fuerte. *Repositorio Institucional*, 6-7.
- García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., & Romero-Paredes, J. (2013). Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía mesoamericana*, 24(1), 169-176.
- García, O. E., Infante, R. B., y Rivera, C. J. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*. 21 (1), 25-30.
- García, L., Verde, J., Castro, R., Chávez, A., Oranday, A., Núñez, A., y Rivas, C. (2010). Actividad biológica de un extracto de orujo de uva mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 41(4), 28-36.
- González, T. L., Téllez, V. A., Sampedro, J. G., y Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Salud pública y nutrición*, 8(2), 1-7.
- Guerrero, L., Apráez, E., y Calderón, D. (2017). Valoración nutricional y productiva de diferentes granos de cereales germinados. *Agro Sur*, 45(2), 11-19.
- Guevara, A. (2018). *Color de Cámara de Germinación en la Producción de Germinado Hidropónico de Cebada (Hordeum Vulgare L.) y Maíz (Zea Mays L.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/1895>
- Herrera, A. Depablos, L. López, R. Benezrra, M. y Ríos, L. (2007). Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico.

Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *FCV-LUZ*, 6(4), 372-379.

Herrera, T. E., Cerrillo, M. A., Juárez, A. S., Murillo, O. M., Ríos F. G., Reyes O., y Bernal, B. H. (2010). Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia*, 35(4), 284-289.

Jaume, A. N., Pereira, C.A., y Pereira, S. A. (2014). *Producción de forraje verde hidropónico* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Rafael].

Jiménez, B. (2021). *Condiciones ambientales óptimas para producción de forraje verde hidropónico como alternativa de solución para las épocas de heladas* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/79387>

Juárez, P., Morales, H. J., Sandoval, M., Gómez, A. A., Cruz, E., Juárez, C. R., y Catón, O. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. *Nueva época*, 4(13), 16-24.
<http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/2126>

Kumar, R., & D'mello, J. P. F. (1995). Anti-nutritional factors in forage legumes. *Tropical legumes in animal nutrition*, 4(5), 95-133.

López A. R., Murillo A. B., Rodríguez Q. G., (2009). Forraje verde hidropónico: Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121 – 126.

López A., R., Murillo, B., Troyo, E., Rodríguez, G., Romero, J. J., López, R., Naranjo, A., (2012). Forraje verde hidropónico, una alternativa para el

ganado de zonas áridas. *Ciencia, tecnología e Innovación para el Desarrollo de México*, 5(2), 107-126. http://pcti.mx/articulos?task=callelement&format=raw&item_id=409&element=02ff58a2-d75a-4c03-874d-37c9baa9f652&method=download

Maldonado, T. R., Álvarez, S. M., Acevedo, D. C., y Ríos S. E., (2013). Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Serie horticultura*, 19(2), 211-223.

Martínez, R. A., y Leyva G. A., (2014). La biomasa de los cultivos en el ecosistema. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11-20.

Martínez, L. A. L (2005). *Producción de forraje verde hidropónico* [Tesis doctoral, Centro de Investigación en Química Aplicada]. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/439/1/Rosa%20del%20Carmen%20Leija%20Casas.pdf>

Martínez, R. (2014). *Efecto del peróxido de hidrógeno en la calidad del forraje verde hidropónico* [Tesis de doctoral, Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/6774>

Mena Valdés, L., Tamargo Santos, B., Salas Olivet, E., Plaza Paredes, L. E., Blanco Hernández, Y., Otero González, A., y Sierra González, G. (2015). Determinación de saponinas y otros metabolitos secundarios en extractos acuosos de *Sapindus saponaria* L.(jaboncillo). *Cubana de Plantas Medicinales*, 20(1), 106-116.

Moreno, M. M. (2014). *Diseño de un sistema de cultivo de forraje verde hidropónico de maíz para la alimentación de los animales del proyecto caprino* [Tesis doctoral, Universidad francisco de paula Santander Ocaña].

- Moreno, I., Ramírez, A., Iglesias, L., y Plana, R. (2001). El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 55-67.
- Molina-Salinas, G. M., & Said-Fernández, S. (2006). A modified microplate cytotoxicity assay with brine shrimp larvae (*Artemia salina*). *Pharmacologyonline*, 3, 633-638.
- González, F. G., Abeledo, L. G., Serrago, R. A., Alzueta, I., García, G. A., y Lo Valvo, P. J., (2019). *Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de manejo*. CYTED.
- Naik, P. A., & Raman, K. (2003). Understanding the impact of synergy in multimedia communications. *Journal of marketing research*, 40(4), 375-388.
- Navarro, C, M, L. (2006). "*Caracterización morfológica y evaluación agronómica de 35 variedades comerciales de trigo (Triticum ssp.) Colectados en el peru*. [Tesis de pregrado, universidad nacional agraria lamolina facultad de agronomía]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2509/F01.C8-T.pdf?sequence=1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2001). Manual Técnico: Forraje Verde Hidropónico. <http://www.fao.org/3/a-ah472s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2002). Forraje Verde Hidropónico. https://guiaspdf.net/wp-content/uploads/2021/02/Guia-para-Hacer-Forraje-Verde-Hidroponico-GuiasPDF.Net_.pdf
- Ovando, C. E. G. (2009). *Metodología para el control de hongos y bacterias en sistemas de producción de forraje verde hidropónico* [Tesis de grado,

Centro de Investigación en Química Aplicada].
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/359/1/Carlos%20Enrique%20Gonzalez%20Ovando.pdf>

Paliwal, R. L., (2001). *Introducción al Maíz y su importancia: El maíz en los trópicos*. Food & agricultura org.

Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., y Bravo, J. A. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Boliviana de Química*, 31(2), 68-81.

Pérez, O. (1995). *Producción de forraje en base a germinados de cebada (Hordeum vulgare) y maíz (Zea mays)* [Tesis de Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10910>

Turriago, Portela N. (2022). *Prefactibilidad técnica para la implementación de producción de forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays) para la alimentación de caprinos en el municipio de Tabio departamento de Cundinamarca* [Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia].
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/12160>

Ramírez, C. V., y Soto, F. B., (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de Forraje Verde Hidropónico. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 79-91.

Ramos, C. (1999). El Uso de Aguas Residuales en Riegos Localizados y en Cultivos Hidropónicos. *Fórum Internacional de Horticultura y Tecnología*.

- Roel, A. (1997). *Comportamiento de algunas variables climáticas*. Producción animal.
- Romero, M. Córdoba, G. y Gallardo, E. (2009). Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Universitaria*, 19(2), 11-19.
- Robles, M., Aguilar, J., Gutiérrez, M., Rodríguez, F., Morales, J., Guerrero, P., y Sánchez, L., (2016). *Identificación cualitativa de metabolitos secundarios y determinación de la citotoxicidad de extractos de tempisque (sideroxylum capiri pittier)*. *Ciencias biológicas y de la salud*, 18 (3), 3-4.
- Ripusudan, L. Paliwal., y Gonzalo, G. (2001). *El maíz en los trópicos, mejoramiento y producción*. Food and Agriculture.
- Romero, M. E. V., Duarte, G. C., & Gallardo, E. O. H. (2009). Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Universitaria*, 19(2), 11-19.
- Rodríguez, S. (2006). *Como producir Forraje verde hidropónico* (3ª ed.). Diana.
- Ramos Gamiño, F. (2013). *Maíz, trigo y arroz: los cereales que alimentan al mundo* (5ª ed.). La ciencia a tu alcance.
- Sánchez, C. F., Moreno, P., Contreras, M. E., y Morales, G. J. (2013). Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. *Chapingo*, 19(4), 35-43.
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. D. P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., y Márquez-Hernández, C.

- (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 355-360.
- Sánchez, R. R. (1991). Producción de Oleaginosas y textiles (3ª ed.). Limusa
- Sánchez Del Castillo, F., Moreno Pérez, E. D. C., Contreras Magaña, E., y Morales Gómez, J. (2013). Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. *Serie horticultura*, 19(4), 35-43.
- Salas Durán, C. (2017). *Alimentación Alternativa de gallinas ponedoras: Utilización de forraje verde hidropónico*.
<https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/73164/Forraje%20hidrop%C3%B3nico%20en%20gallinas%20ponedoras.%20C.Salas.pdf?sequence=1>
- Sánchez Ecurra, Z. A. (2019). *Producción de germinado hidropónico de maíz (Zea mays) bajo la sombra de malla Raschel verde y calamina en Lambayeque* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Facultad De Ingeniería Zootecnia] http://repositorio.unprg.edu.pe:8080/bitstream/handle/20.500.12893/9854/S%C3%A1nchez_Ecurra_Zulmy_Ariacna.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Soto Bravo, F., & Ramírez Víquez, C. (2012). Effect of mineral nutrition on the yield and bromatological characteristics of corn hydroponic green forage. *Pastos y Forrajes*, 41(2), 98-104
- Stewart, W. M. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas. IPNI*, 6(12), 280-300.

Sneath, D. (2003). Land use, the environment and development in post-socialist Mongolia. *Oxford Development Studies*, 31(4), 441-459.

Torres Tigrero, C. M. (2018). *Análisis comparativo de costos de inversión de sistemas hidropónicos* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena Facultad de Ciencias Agrarias]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4561/1/UPSE-TAA-2018-0027.pdf>

Varela Rojas, P. M. (2017). Producción de biomasa y calidad nutritiva de Forraje Verde Hidropónico [Tesis de doctoral, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3713/1/tnf04v293.pdf>

Werner, P., Otto, Z. (1992). Manual for Field Trials in Plant Protection. (3^a ed). Plant Protection Division.

Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B., & Carrillo-Díaz, F. (2016). Hydroponics maize green forage production with watering every 24 hours. *Abanico Veterinario*, 6(1), 29-34.

VII. ANEXOS

Tabla 7.1 – Análisis de varianza de la altura a los 4 días.

CUADRO DE ANALISIS DE VARIANZA			(CS TIPO III)		
F.V	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	55.18	10	5.52	1.27	0.3255
TRATAMIENTO	44.03	8	5.5	1.26	0.3282
BLOQUE 1	11.16	2	5.58	1.28	0.3053
ERROR	69.78	16	4.36		
TOTAL	124.96	26			

Tabla 7.2 - Media de los tres bloques de la altura a los 4 días.

Bloque	Medias	N	E.E
3	3.27	9	A
2	2.97	9	A
1	2.19	9	A

Tabla 7.3 – Medias de los 9 tratamientos de altura a los 4 días.

TRATAMIENTO	MEDIAS	N	E.F	
CH	5.25	3	1.21	A
TH	5.01	3	1.21	A
TC	3.36	3	1.21	A
MC	2.83	3	1.21	A
CC	2.69	3	1.21	A
TA	2.55	3	1.21	A
MA	1.85	3	1.21	A
MH	1.64	3	1.21	A
CA	1.6	3	1.21	A

Tabla 7.4 – Análisis de varianza de altura a los 8 días.

F.V	CUADRO DE ANALISIS DE VARIANZA			(CS TIPO III)	P-VALOR
	SC	g1	CM	F	
MODELO	155.09	10	15.51	7.25	0.0003
TRATAMIENTO	101.54	2	50.77	23.72	< 0.0001
BLOQUE 1	53.55	8	6.69	3.13	0.0249
ERROR	34.25	16	2.14		
TOTAL	189.34	26			

Tabla 7.5 - Media de los bloques de la altura a los 8 días.

Bloque	Medias	n	E.E	
3	8.06	9	0.49	A
2	7.27	9	0.49	A
1	3.61	9	0.49	B

Tabla 7.6 - Media de todos los tratamientos en altura a los 8 días.

TEST: TUKEY ALFA=0 DMS=1.77954				
TRATAMIENTOS	MEDIAS	N	E.F	
CC	8.43	3	0.84	A
CH	7.33	3	0.84	A B
CA	7.29	3	0.84	A B
TC	7.11	3	0.84	A B
MC	6.41	3	0.84	A B
TA	6.3	3	0.84	A B
TH	5.95	3	0.84	A B
MA	4.09	3	0.84	B
MH	3.93	3	0.84	B

Tabla 7.7 - Análisis de varianza de la altura a los 12 días.

F.V	CUADRO DE ANALISIS DE VARIANZA			(CS TIPO III)	P-VALOR
	SC	GL	CM	F	
MODELO	246.6	10	24.66	9.27	0.0001
TRATAMIENTO	99.91	8	12.49	4.69	0.0042
BLOQUE 1	146.69	2	73.34	27.56	< 0.0001
ERROR	42.59	16	2.66		
TOTAL	289.19	26			

Tabla 7.8 - Media de los bloques de la altura a los 12 días.

Bloque	Medias	n	E.E	
3	10.82	9	0.54	A
2	10.64	9	0.54	A
1	5.79	9	0.54	B

Tabla 7.9 – Media de todos los tratamientos de altura a los 12 días.

TEST:TUKEY ALFA=0.05 DMS=4.73878				
TRATAMIENTOS	MEDIAS	N	E.F	
TC	11.23	3	0.94	A
CH	11.03	3	0.94	A
CC	10.8	3	0.94	A
MC	10.67	3	0.94	A
TA	9.69	3	0.94	A B
TH	8.3	3	0.94	A B
CA	7.37	3	0.94	A B
MH	6.77	3	0.94	A B
MA	5.9	3	0.94	B

Tabla 7.10 – Análisis de varianza de la altura de todos los tratamientos a los 4, 8 y 12 días.

	DE	S	VI	A	CI	ON
4 días			8 días			12 días
CH	4.58023289		CH	3.19357689		CH 2.2854613
TH	3.84210012		TH	3.75709107		TH 5.5569776
TC	1.07518991		TC	2.9708809		TC 3.0664855
MC	1.34496592		MC	0.71619364		MC 2.40069434
CC	0.2212088		CC	2.33258083		CC 2.05182845
TA	0.77105988		TA	3.17949682		TA 3.28032519
MA	0.96360434		MA	1.33061389		MA 1.6643317
MH	0.31432467		MH	1.63887156		MH 2.45424802
CA	0.3		CA	3.77233791		CA 4.42756517

Tabla 7.11 – Análisis de varianza del peso húmedo.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
MODELO	3.7	10	0.37	10.69	< 0.0001
TRATAMIENTO	1.96	8	0.24	7.07	0.0005

BLOQUE 1	1.74	2	0.87	25.15	< 0.0001
ERROR	0.55	16	0.03		
TOTAL	4.25	26			

Tabla 7.12 – Media de todos los tratamientos para peso húmedo.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
TC	1.43	3	0.11	A
CH	1.19	3	0.11	A B
CC	1	3	0.11	A B C
TA	0.84	3	0.11	B C
MH	0.79	3	0.11	B C
TH	0.78	3	0.11	B C
MC	0.75	3	0.11	B C
CA	0.65	3	0.11	B C
MA	0.49	3	0.11	C

Tabla 7.13 - Análisis de varianza del peso seco.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
MODELO	93648.55	10	9364.86	3.75	0.00093
TRATAMIENTO	39472.31	8	4934.04	1.98	0.1173
BLOQUE 1	54176.24	2	2797.25	10.85	0.0011
ERROR	39956.04	16	2497.25		
TOTAL	133604.59	26			

Tabla 7.14 – Medias de todos los tratamientos del peso seco.

Medias	n	E.E	
0.18183	3	28.85	A
0.16792	3	28.85	A
0.16333	3	28.85	A
0.16143	3	28.85	A
0.15441	3	28.85	A
0.13875	3	28.85	A
0.11991	3	28.85	A
0.09271	3	28.85	A
0.05735	3	28.85	A

7.6 CRONOGRAMA Y PRESUPUESTOS

Tabla 7.15 - Presupuesto del proyecto.

Materiales	Unidad	Cantidad	Costo
Estructura	Pieza	1	\$3,000.00
Bomba	Pieza	1	\$300.00
Tinaco	Pieza	1	\$500.00
Semillas	Kilogramo	15	\$300.00
Hipoclorito	Litro	5	\$80.00
Cal Agrícola	Kilogramo	5	\$70.00
Análisis de muestras	Pieza	3	\$950.00
Taimer	Pieza	1	\$300.00
Hule	Metro	5	\$150 .00
Total:			5,650

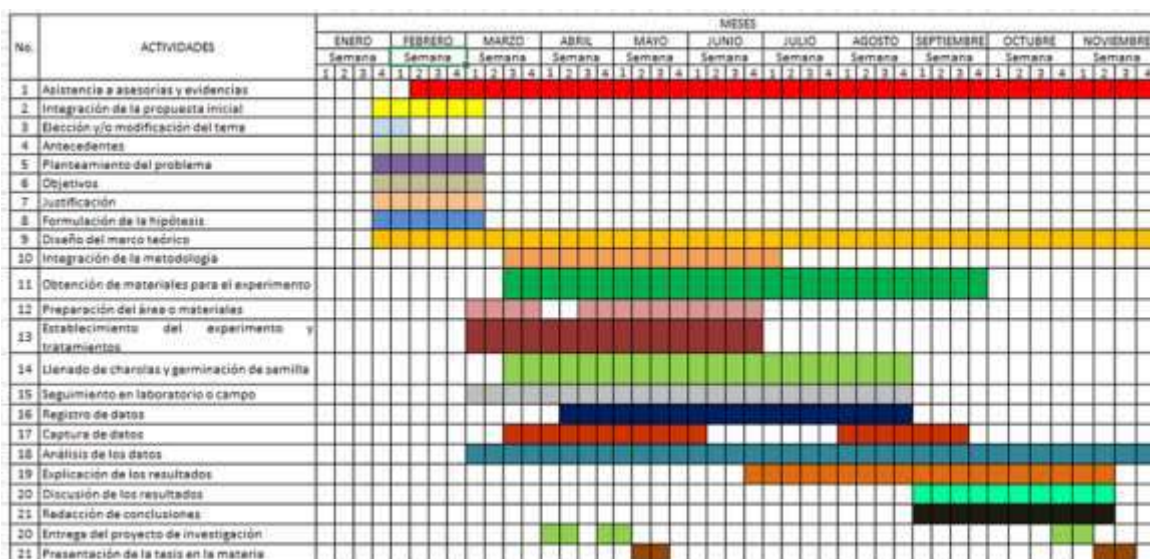


Figura 7.1 - Cronograma de actividades.