



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 21 de Septiembre del 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Luis Eduardo Cerquera Buitrago, con C.C. No. 1080297029,

José Eduardo Vivas Arrieta, con C.C. No. 1075300260,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado **“Evaluación de los parámetros de producción del forraje verde hidropónico utilizando semillas de Leucaena Leucocephala”** presentado y aprobado en el año **2021** como requisito para optar al título de **Ingeniero Agrícola**;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Luis Eduardo Cepeda Buitrago

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: José Eduardo Niño Arrieta



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO UTILIZANDO SEMILLAS DE *LEUCAENA LEUCOCEPHALA*

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cerquera Buitrago	Luis Eduardo
Vivas Arrieta	José Eduardo

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Sanabria Méndez	Nadia Brigitte
Bedoya Cardoso	Marlio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRÍCOLA

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

CIUDAD: Neiva-Huila **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2021 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 69.

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general ___ Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas
o Cuadros

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Acacia forrajera	Forage acacia	6. Fibra cruda	Crude fiber
2. Solución nutritiva	Nutritive solution	7. Ceniza	Ash
3. Bromatología	Bromatology	8. Peso fresco	Fresh weight
4. Materia seca	Dry matter	9. Rendimiento	Yield
5. Proteína cruda	Crude protein	10. Germinación	Germination

RESUMEN DEL CONTENIDO:

El forraje verde hidropónico es considerado de alto valor nutricional, alta digestibilidad y es apto para la alimentación animal. Con el objetivo de determinar los parámetros más significativos para la producción de forraje hidropónico utilizando semillas de *Leucaena leucocephala* se plantearon las siguientes fases experimentales: una primera fase experimental en la cual se evaluaron dos desinfectantes (hipoclorito de sodio NaClO e Hidróxido de Calcio Ca(OH)₂), con dos concentraciones (5% y 10%) y dos tiempos de exposición (30 min y 1 hora para el hipoclorito de sodio y 3 horas y 6 horas para el Hidróxido de Calcio), se usaron bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y para cada tratamiento se utilizaron 50 semillas. Las variables evaluadas fueron: Plantas germinadas (PG), Plantas contaminadas (PC) y Días de protección (DP). De igual forma se planteó una segunda fase experimental mediante un diseño factorial 2 x 3 para evaluar dos densidades de siembra (3.5 Kg/m² y 4.5 Kg/m² y tres concentraciones de la solución nutritiva propuesta por Sánchez et al., (2009)) al 100%, 50% y 0%. Para ello las semillas fueron sembradas en charolas de plástico rígido de 36.5 cm de largo por 24 cm de ancho y 2.5 cm de altura, dando un área de siembra de 0.0876 m² por charola y el sistema de riego usado en todos los tratamientos fue microaspersión. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, peso fresco, rendimiento en Kg•m⁻², relación de conversión, materia seca, cenizas, proteína y fibra cruda, de acuerdo a la metodología propuesta por Tovar, (2014) y la AOAC (1996). En todos los experimentos se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparaciones de medias (Tukey) para determinar las diferencias significativas con un nivel de significancia del 95%. Los tratamientos que alcanzaron el 100% la fase de desinfección fueron el T6 T7 y T8, sin embargo, con el tratamiento T7 se disminuye el tiempo de desinfección. El tratamiento T3 (D.S: 4.5 Kg•m⁻²; S.N: 100%) presentó un peso fresco promedio de 1,25 Kg y el mejor rendimiento promedio con 14.29 Kg•m⁻². No se observó con un nivel de confianza del 95% efecto sobre las variables bromatológicas de la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva, sin embargo, se logró un forraje de calidad aceptable para el consumo animal, con valores promedios del 20%



en materia seca; 17,02% de cenizas; 7,35% de proteína bruta en base húmeda y 3,54% de fibra cruda en base húmeda. Finalmente, la productividad de agua para producir un kilo de materia fresca y seca fue 250 Kg*m-3 y 51 Kg*m-3 respectivamente.

ABSTRACT:

Hydroponic green forage is considered to be of high nutritional value, high digestibility and is suitable for animal feed. In order to determine the most significant parameters for the production of hydroponic forage using *Leucaena leucocephala* seeds, the following experimental phases were proposed: a first experimental phase in which two disinfectants were evaluated (sodium hypochlorite NaClO and Calcium Hydroxide Ca(OH)₂) with two concentrations (5% and 10%) and two exposure times (30 min and 1 hour for sodium hypochlorite and 3 hours and 6 hours for Calcium Hydroxide). Completely randomized blocks were used with four repetitions and 50 seeds were used for each treatment. The variables evaluated were: germinated plants (GP), contaminated plants (CP) and days of protection (PD). In the same way, a second experimental phase was proposed through a 2 x 3 factorial design to evaluate two planting densities (3.5 Kg/m² and 4.5 Kg/m² and three concentrations of the nutrient solution proposed by Sánchez et al., (2009)) at 100% , 50% and 0%. For this, the seeds were sown in rigid plastic trays 36.5 cm long by 24 cm wide and 2.5 cm high, giving a sowing area of 0.0876 m² per tray and the irrigation system used in all treatments was micro sprinkling. The variables evaluated were: plant height; fresh weight; yield in Kg • m⁻²; conversion ratio; dry matter; ash; protein and crude fiber according to the methodology used by Tovar, (2014) and AOAC (1996). In all experiments analysis of variance and mean comparison tests (Tukey) were performed to determine significant differences with a significance level of 95%. The treatments that reached 100% of the disinfection phase were T6, T7 and T8; however, with the T7 treatment, the disinfection time was reduced. Treatment T3 (S.D: 4.5 Kg/m²; N.S: 100%) presented an average fresh weight of 1.25 Kg and a higher average yield of 14.29 Kg.m⁻². No effect was observed with a 95% confidence level on the bromatological variables of sowing density and concentration of the nutrient solution, however, an acceptable quality forage for animal consumption was achieved, with average values of 20% dry matter; 17.02% ash; 7.35% crude protein on a wet basis and 3.54% crude fiber on a wet basis. Finally, water productivity to produce one kilogram of fresh and dry matter was 250 kg*m⁻³ and 51 kg*m⁻³ respectively.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Nadia Brigitte Sanabria Méndez

Firma:

Nombre Jurado 1: Jennifer Katiusca Castro Camacho

Firma:

Jennifer Katiusca Castro Camacho

Nombre Jurado 2: Edinson Mujica Rodriguez

Firma:

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DEL FORRAJE
VERDE HIDROPÓNICO UTILIZANDO SEMILLAS DE *LEUCAENA*
*LEUCOCEPHALA***

LUIS EDUARDO CERQUERA BUITRAGO

JOSÉ EDUARDO VIVAS ARRIETA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SEDE NEIVA-HUILA

2021

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DEL FORRAJE
VERDE HIDROPÓNICO UTILIZANDO SEMILLAS DE *LEUCAENA*
*LEUCOCEPHALA***

LUIS EDUARDO CERQUERA BUITRAGO

JOSÉ EDUARDO VIVAS ARRIETA

DIRECTORA

MSc. NADIA BRIGITTE SANABRIA MÉNDEZ

CODIRECTOR

Dr. MARLIO BEDOYA CARDOSO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PREVIO PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

SEDE NEIVA-HUILA

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Para constancia firman los jurados

MSc. Edinson Mujica Rodriguez

MSc. Jennifer Katusca Castro Camacho

Para constancia firma la directora

MSc. Nadia Brigitte Sanabria Méndez

Para constancia firma el codirector

Dr. Marlio Bedoya Cardoso

DEDICATORIA

Dedico este gran logro en primer lugar a Dios por iluminarme en cada decisión tomada, brindarme la salud y protección para poder culminar esta etapa importante en mi vida. A mis padres, Rodrigo Cerquera Álvarez y María Elcy Buitrago, por el apoyo moral y económico, por sus consejos, valores inculcados y por esa preocupación de recibir una buena educación para poder salir adelante. A mis hermanos, María Leidy Cerquera Buitrago, José Rodrigo Cerquera Buitrago y Rosalía Cerquera Buitrago, por su apoyo en este proceso. A mi compañera de vida y de amor Mayerly Jhoanna Losada Lemus y nuestro hijo Luis Angel Cerquera Losada, son el motor, mi apoyo y la inspiración para luchar y seguir adelante ante las adversidades y obstáculos de la vida. A toda mi familia, en especial a los que partieron de este mundo. Finalmente a mis compañeros y profesores en especial a Jose Vivas por asumir este reto, y los profesores Nadia Brigitte Sanabria y Marlio Bedoya Cardoso por su apoyo incondicional, que formaron parte de mi proceso formativo como persona y como profesional.

Luis Eduardo Cerquera Buitrago

Dedico este logro a mi madre Gladys Edith Arrieta Gómez, quien ha estado a mi lado en las buenas y en las malas, en cada proceso y etapa de este arduo camino que hoy culmino, gracias a su esfuerzo y apoyo hoy en día soy mejor persona, amigo, novio e hijo. A mis padres Segundo Rafael Vivas y Jorge Alberto Florez por darme fuerza y apoyo para salir adelante, a mi hermana Leidy Paola Vivas por sus palabras de aliento que cada día me llenaban de confianza, a mi hermano Brayan Ricardo Vivas por brindarme su apoyo incondicional y demostrarme que todo en la vida se puede si se propone, a mi hermana Karen Bibiana Florez por estar pendiente de mí y brindarme su amor y cariño en cada momento de mi vida. Se lo dedico también a mi querido y gran amor Karla Nicolle Pérez que hizo parte de este proceso, gracias a su apoyo incondicional, sus consejos y su amor pude avanzar, crecer y mejorar cada día. Doy infinitas gracias a Luis Eduardo Cerquera por acompañarme en este proceso y lograr nuestros objetivos a pesar de todos los inconvenientes pudimos sacar adelante este proyecto. A la profesora Nadia Brigitte Sanabria y al profesor Marlio Bedoya Cardoso por su paciencia, tiempo, apoyo y dedicación para que todo saliera de la mejor manera posible, y a todas las personas que de una u otra manera hicieron parte de este proceso un sincero agradecimiento.

José Eduardo Vivas Arrieta

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

Dios, por sus bendiciones, sabiduría, iluminación y protección en nuestro proyecto de vida.

Nuestras Familias, por su apoyo y acompañamiento incondicional.

A los directores del proyecto Nadia Brigitte Sanabria Méndez y Marlio Bedoya Cardoso, quienes con sus conocimientos, orientación, consejos, compromiso y su gran apoyo, logramos llevar a cabo este gran proyecto.

A los docentes que formaron parte de nuestra formación y aquellos que aportaron al desarrollo de nuestro proyecto.

Al personal que labora en la facultad de ingeniería, los laboratoristas, por la colaboración, compromiso y orientaciones durante el desarrollo de las pruebas.

Finalmente a todos nuestros compañeros con quienes compartimos muchas experiencias, traspasos, tristezas y alegrías, y el apoyo brindado durante el transcurso de la carrera profesional de Ingeniería Agrícola.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	13
1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.2.	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo general.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
2.	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	17
2.1.	Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	17
2.2.	Forraje Verde Hidropónico	18
2.3.	El sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico	18
2.4.	Factores que inciden en la producción de Forraje Verde Hidropónico	19
2.5.	Ventajas y desventajas de la producción de Forraje verde Hidropónico	21
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.	Localización	22
3.2.	Fase uno: Selección de la mejor solución desinfectante	22
3.2.1.	Selección y pre-germinación del material vegetal.....	22
3.2.2.	Tratamientos de desinfección de la semilla.....	23
3.3.	Fase dos: Densidad de siembra y solución nutritiva.....	24
3.3.1.	Estructura y módulos del sistema para la producción del FVH de <i>Leucaena</i>	25
3.3.2.	Sistema de riego por microaspersión para la producción del FVH de <i>Leucaena</i>	26
3.3.3.	Cosecha del FVH de <i>Leucaena Leucocephala</i>	27
3.3.4.	Producción y uso eficiente del agua	28
3.3.5.	Análisis estadístico	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1.	Fase uno: Selección de la mejor solución desinfectante	29
4.1.1.	Porcentaje de plantas germinadas	29
4.1.2.	Porcentaje de plantas contaminadas.....	30
4.1.3.	Días de protección	32
4.2.	Fase dos: Densidad de siembra y solución nutritiva	33
4.2.1.	Solución nutritiva	33

4.2.2. Evaluación del sistema de riego	34
4.2.3. Altura de la planta del FVH de Leucaena	35
4.2.4. Peso fresco FVH de Leucaena	36
4.2.5. Rendimiento del FVH de Leucaena	36
4.2.6. Relación de conversión del FVH de Leucaena.....	37
4.2.7. Materia seca del FVH de Leucaena	38
4.2.8. Cenizas del FVH de Leucaena.....	40
4.2.9. Proteína cruda del FVH de Leucaena	41
4.2.10. Fibra cruda del FVH de Leucaena.....	42
4.2.11. Producción y uso eficiente del agua	43
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
6. BIBLIOGRAFIA.....	46
ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación de aportes de nutrientes con solución nutritiva de Sánchez et al., (2009) y la solución implementada en campo.....	25
Tabla 2.	Análisis de varianza para el porcentaje de semillas germinadas.....	29
Tabla 3.	Comparación de medias del porcentaje de semillas germinadas.....	30
Tabla 4.	Análisis de varianza para el porcentaje de semillas contaminadas	31
Tabla 5.	Comparación de medias del porcentaje de plantas contaminadas	31
Tabla 6.	Conductividad eléctrica (mS/cm) y pH de la solución nutritiva.	33
Tabla 7.	Clasificación de los goteros según Keller y Bliesner (1990).....	34
Tabla 8.	Coefficiente de uniformidad descrito por varios autores	34
Tabla 9.	Análisis de varianza altura de planta.	35
Tabla 10.	Comparación de medias, variable: Altura de plantas (cm).	35
Tabla 11.	Análisis de varianza peso fresco.	36
Tabla 12.	Comparación de medias, variable: Peso fresco (Kg).....	36
Tabla 13.	Análisis de varianza rendimiento del FVH.	37
Tabla 14.	Comparación de medias, variable: Rendimiento (Kg*m ⁻²).....	37
Tabla 15.	Análisis de varianza relación de conversión.	38
Tabla 16.	Comparación de medias, variable: Relación de conversión.....	38
Tabla 17.	Análisis de varianza materia seca	39
Tabla 18.	Comparación de medias, variable: Materia seca (%).....	39
Tabla 19.	Análisis de varianza cenizas.....	40
Tabla 20.	Comparación de medias, variable: Cenizas (%).....	41
Tabla 21.	Análisis de varianza proteína cruda.	41
Tabla 22.	Comparación de medias, variable: Proteína cruda(%).....	42
Tabla 23.	Análisis de varianza fibra cruda.	43
Tabla 24.	Comparación de medias, variable: Fibra cruda (%).	43
Tabla 25.	Uso y eficiencia del uso de agua (UEA) del FVH de leucaena.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura y componentes del sistema para la producción de FVH de <i>Leucaena leucocephala</i>	27
Figura 2. Porcentaje de semillas germinadas.....	29
Figura 3. Porcentaje de semillas contaminadas.....	30
Figura 4. Días que tarda en aparecer la primera enfermedad	32

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	Altura de la planta	53
Anexo B.	Peso fresco	54
Anexo C.	Rendimiento.....	55
Anexo D.	Relación de conversión	56
Anexo E.	Materia seca.....	57
Anexo F.	Cenizas	58
Anexo G.	Proteína cruda	59
Anexo H.	Fibra cruda	60
Anexo I.	Aforos de agua utilizada.....	61
Anexo J.	Desinfección de semillas	62
Anexo K.	Germinación de semillas	63
Anexo L.	Aforos microaspersores y lámina de agua para bandeja	64
Anexo M.	Desarrollo fenológico módulo 1.....	65
Anexo N.	Desarrollo fenológico módulo 2.....	66
Anexo Ñ.	Desarrollo fenológico módulo 3.....	67
Anexo O.	Cosecha	68
Anexo P.	Rotulado de muestras.....	69

RESUMEN

El forraje verde hidropónico es considerado de alto valor nutricional, alta digestibilidad y es apto para la alimentación animal. Con el objetivo de determinar los parámetros más significativos para la producción de forraje hidropónico utilizando semillas de *Leucaena leucocephala* se plantearon las siguientes fases experimentales: una primera fase experimental en la cual se evaluaron dos desinfectantes (hipoclorito de sodio NaClO e Hidróxido de Calcio Ca(OH)₂), con dos concentraciones (5% y 10%) y dos tiempos de exposición (30 min y 1 hora para el hipoclorito de sodio y 3 horas y 6 horas para el Hidróxido de Calcio), se usaron bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y para cada tratamiento se utilizaron 50 semillas. Las variables evaluadas fueron: Plantas germinadas (PG), Plantas contaminadas (PC) y Días de protección (DP). De igual forma se planteó una segunda fase experimental mediante un diseño factorial 2 x 3 para evaluar dos densidades de siembra (3.5 Kg/m² y 4.5 Kg/m² y tres concentraciones de la solución nutritiva propuesta por Sánchez et al., (2009)) al 100%, 50% y 0%. Para ello las semillas fueron sembradas en charolas de plástico rígido de 36.5 cm de largo por 24 cm de ancho y 2.5 cm de altura, dando un área de siembra de 0.0876 m² por charola y el sistema de riego usado en todos los tratamientos fue microaspersión. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, peso fresco, rendimiento en Kg·m⁻², relación de conversión, materia seca, cenizas, proteína y fibra cruda, de acuerdo a la metodología propuesta por Tovar, (2014) y la AOAC (1996). En todos los experimentos se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparaciones de medias (Tukey) para determinar las diferencias significativas con un nivel de significancia del 95%. Los tratamientos que alcanzaron el 100% la fase de desinfección fueron el T6 T7 y T8, sin embargo, con el tratamiento T7 se disminuye el tiempo de desinfección. El tratamiento T3 (D.S: 4.5 Kg·m⁻²; S.N: 100%) presentó un peso fresco promedio de 1,25 Kg y el mejor rendimiento promedio con 14.29 Kg·m⁻². No se observó con un nivel de confianza del 95% efecto sobre las variables bromatológicas de la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva, sin embargo, se logró un forraje de calidad aceptable para el consumo animal, con valores promedios del 20% en materia seca; 17,02% de cenizas; 7,35% de proteína bruta en base húmeda y 3,54% de fibra cruda en base húmeda. Finalmente, la productividad de agua para producir un kilo de materia fresca y seca fue 250 Kg·m⁻³ y 51 Kg·m⁻³ respectivamente.

SUMMARY

Hydroponic green forage is considered to be of high nutritional value, high digestibility and is suitable for animal feed. In order to determine the most significant parameters for the production of hydroponic forage using *Leucaena leucocephala* seeds, the following experimental phases were proposed: a first experimental phase in which two disinfectants were evaluated (sodium hypochlorite NaClO and Calcium Hydroxide Ca(OH)₂) with two concentrations (5% and 10%) and two exposure times (30 min and 1 hour for sodium hypochlorite and 3 hours and 6 hours for Calcium Hydroxide). Completely randomized blocks were used with four repetitions and 50 seeds were used for each treatment. The variables evaluated were: germinated plants (GP), contaminated plants (CP) and days of protection (PD). In the same way, a second experimental phase was proposed through a 2 x 3 factorial design to evaluate two planting densities (3.5 Kg/m² and 4.5 Kg/m² and three concentrations of the nutrient solution proposed by Sánchez et al., (2009)) at 100% , 50% and 0%. For this, the seeds were sown in rigid plastic trays 36.5 cm long by 24 cm wide and 2.5 cm high, giving a sowing area of 0.0876 m² per tray and the irrigation system used in all treatments was micro sprinkling. The variables evaluated were: plant height; fresh weight; yield in Kg • m⁻²; conversion ratio; dry matter; ash; protein and crude fiber according to the methodology used by Tovar, (2014) and AOAC (1996). In all experiments analysis of variance and mean comparison tests (Tukey) were performed to determine significant differences with a significance level of 95%. The treatments that reached 100% of the disinfection phase were T6, T7 and T8; however, with the T7 treatment, the disinfection time was reduced. Treatment T3 (S.D: 4.5 Kg/m²; N.S: 100%) presented an average fresh weight of 1.25 Kg and a higher average yield of 14.29 Kg.m⁻². No effect was observed with a 95% confidence level on the bromatological variables of sowing density and concentration of the nutrient solution, however, an acceptable quality forage for animal consumption was achieved, with average values of 20% dry matter; 17.02% ash; 7.35% crude protein on a wet basis and 3.54% crude fiber on a wet basis. Finally, water productivity to produce one kilogram of fresh and dry matter was 250 kg*m⁻³ and 51 kg*m⁻³ respectively.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento acelerado de la población ha conllevado a un aumento en la demanda de los productos agropecuarios, lo que ha generado expansión de la frontera agrícola y pecuaria a zonas que se consideran no aptas para el desarrollo de estas actividades por sus condiciones climáticas, tales como, escasez de lluvia, altas temperaturas, alta evaporación, así como suelos y aguas de riego de baja calidad. Según Tovar Estrada (2014), *“como consecuencia de un déficit alimentario o falta de forraje, henos, ensilajes o granos se han presentado importantes pérdidas de ganado y de animales menores”*.

En éste sentido el forraje verde hidropónico (FVH), se presenta como una alternativa de producción de alimento de alto contenido nutricional. El forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que resulta propicia para mitigar las principales dificultades encontradas en zonas áridas y semiáridas para la producción convencional de forraje (López *et al.*, 2009).

De acuerdo con Carranco, Z. (2005), la producción de forraje verde hidropónico ofrece grandes ventajas en comparación con el sistema de producción convencional, destacando algunas como: La disminución del espacio requerido, puesto que el sistema puede ser diseñado en forma modular en la dimensión vertical; la eficiencia en el ahorro de agua dado que para producir 1 kilo de materia seca de FVH cosechada en 14 días se consumen de 15 a 20 litros de agua, mientras que en el sistema convencional se requieren entre 270 a 635 litros de agua por kilo de materia seca (FAO, 2002). En cuanto a sus desventajas se encuentran: La falta de conocimiento e información técnica de ésta tecnología, y el alto costo de implementación.

Generalmente para el forraje verde hidropónico se utilizan germinados de semillas de gramíneas o leguminosas que se cosechan muy temprano y que son valorados por sus excelentes niveles de proteína y un adecuado balance en la fracción fibrosa, lo que proporciona alta digestibilidad de los nutrientes contenidos en estos alimentos en los animales que los consumen (Cabrejas *et al.*, 2008). Según lo expresado por Vargas, (2008) con el forraje hidropónico se puede alimentar ganado vacuno, porcino, caprino, equino, cunícola y una gran cantidad de animales domésticos con excelentes resultados.

Sin embargo, la mayoría de investigaciones realizadas en la producción de forraje hidropónico se han enfocado en el uso de semillas de maíz, trigo, arroz y soya principalmente (Juárez *et al.*, (2013), López *et al.*, (2009), Vargas, (2008)),

dejando de lado semillas de leguminosas como la Leucaena; que podría presentar excelentes características debido a que investigaciones realizadas en su uso como forraje demuestran que posee un alto contenido proteínico, complementando la alimentación de ganado y otras especies. Según Wheeler *et al.*, (1996), el forraje de Leucaena es considerado de alto valor nutritivo con contenido de proteína bruta de hasta 29%.

Por otro lado, las investigaciones sobre las propiedades de la Leucaena se han enfocado principalmente en las características del forraje de las hojas (Piñeiro *et al.*, (2017); Kannani *et al.*, (2006); Garcia *et al.*, (1996); Shelton & Brewbaker (1994), entre otros) y no en las del forraje hidropónico, en la actualidad Valoy *et al.*, (2012) realizaron una investigación, donde el objetivo fue determinar indicadores del valor nutritivo del hidroforraje de Leucaena (HFL) para ser utilizado en la alimentación de los conejos, sin embargo, los parámetros de la producción del hidroforraje se basan en los establecidos para otros cereales y leguminosas.

Por tanto, el siguiente trabajo de investigación tuvo el objetivo de establecer los parámetros específicos para la producción de forraje verde hidropónico a base de Leucaena leucocephala, tales como sistema de desinfección de semilla, densidades de siembra y solución nutritiva, que permitieran determinar las características del hidroforraje de Leucaena.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Una de las problemáticas más preocupantes a nivel mundial es la insuficiencia de alimentos, tanto de origen vegetal como animal (Rodríguez & Cristina, 2003), lo anterior se debe a la falta de continuidad en el proceso productivo tanto vegetal como animal (Sanderson *et al.*, 2003), ocasionado por las condiciones climáticas variables, dando como resultado una producción de forraje que no es constante y por ende una producción animal variable (Kochmann, 1976).

Por otro lado, los sistemas de producción de forraje convencional han venido experimentando serias dificultades marcadas por la situación actual del sector agropecuario; el intenso crecimiento en la tasa de urbanización y el aumento en el valor de las tierras se han encargado de desplazar las explotaciones pecuarias hacia sectores donde se reduce el potencial de producción forrajero (Vargas, 2008).

Así mismo Bonilla & Flores (2012), mencionan el impacto ambiental ocasionado por la agricultura y la producción pecuaria que contribuyen significativamente a las emisiones antropogénicas de CH₄, CO₂ y N₂O a la atmósfera. Estudios reportados por Harrison *et al.*, (2015), indican que el manejo nutricional de rumiantes a partir del uso de forrajes de alta calidad como el de leucaena favorecen en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, suprimiendo la metanogénesis entérica, reorientando la fermentación rumial hacia otros productos finales más útiles (Ouwerkerk *et al.*, 2008).

Los planteamientos anteriores permiten definir la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible producir forraje verde hidropónico utilizando *Leucaena leucocephala* con altos niveles nutricionales para la alimentación animal?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar los parámetros para la producción del forraje verde hidropónico para la *Leucaena leucocephala*.

1.2.2 Objetivos específicos

Definir el mejor método de desinfección de la semilla para obtener forraje verde hidropónico de *Leucaena leucocephala* libre de hongos.

Determinar la densidad de siembra para una mayor producción de forraje verde hidropónico a base *Leucaena leucocephala*.

Determinar la concentración de solución nutritiva óptima para la producción de forraje verde hidropónico y obtener un germinado de *Leucaena leucocephala* con alto valor nutritivo.

Determinar el contenido de materia seca, cenizas, proteína y fibra cruda de la *Leucaena leucocephala*.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 *Leucaena (Leucaena leucocephala)*

La *Leucaena leucocephala*, comúnmente conocida como Leucaena, es una palatable planta leguminosa forrajera cultivada en áreas tropicales y subtropicales en todo el mundo (Gorniak *et al.*, 2008).

La Leucaena tiene sus orígenes en América Central y la Península de Yucatán en México, donde el valor del forraje fue reconocido hace más de 400 años por los conquistadores españoles. Desde allí se ha extendido a la mayoría de los países tropicales del mundo donde es utilizada como cultivos de plantación y de sombrío (Shelton & Brewbaker, 1994).

Botánicamente, la Leucaena pertenece a la familia Mimosaceae; es la especie más conocida del género Leucaena y tiene una variedad de nombres comunes. Las hojas de Leucaena son altamente nutritivas para los rumiantes y muchas publicaciones con datos de excelentes producciones de animales confirman el valor forrajero de la Leucaena (Shelton & Brewbaker, 1994).

En investigaciones realizadas por Valoy *et al.*, 2012, donde evaluaron el hidroforraje de *Leucaena leucocephala* para la alimentación de conejos, encontraron que el hidroforraje de leucaena (HFL) muestra alta digestibilidad de la materia seca, elevados valores de proteína bruta, con equilibrada composición de los elementos de la pared celular, altos niveles de solubilidad y capacidad de absorción de agua. De igual forma encontraron que el alimento (HFL) mostró un alto porcentaje de proteína bruta 27%, respecto al contenido de este nutriente en el forraje de Leucaena, según lo reportado por Soca *et al.*, 2000, quienes encontraron 26.6% de proteína Bruta en época seca y 22.9% en época de lluvia en el forraje de Leucaena. Por otro lado, en investigaciones realizadas por Vargas, 2008, se encontró contenidos de proteína bruta a los 20 días de cosecha del hidroforraje de 7.92%, 9.61% y 11.48%, para arroz, maíz y sorgo respectivamente, valores inferiores a los reportados por Valoy *et al.*, 2012.

2.2 Forraje Verde Hidropónico

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal que se obtiene a partir de la germinación y crecimiento de semillas de cereales. El FVH es de alta digestibilidad, calidad nutricional y es apto para la alimentación animal (Juárez *et al.*, 2013).

El mismo autor menciona que la producción de forraje verde hidropónico (FVH) es una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía; en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad).

Con el forraje hidropónico se puede alimentar ganado vacuno, porcino, caprino, equino, cunícola y una gran cantidad de animales domésticos con excelentes resultados (Vargas, 2008). La producción de FVH tiene un ciclo de 10 a 14 días.

2.3 El sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico

El sistema para la producción de forraje verde hidropónico se compone de las siguientes etapas, cuyo éxito o fracaso dependerá de la planificación y el cumplimiento de cada uno de los aspectos que lo componen.

- **Selección del grano o semilla:** Principalmente se utilizan granos de cereales (maíz, trigo, cebada, avena y sorgo), leguminosas (alfalfa y leucaena). La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o el precio de adquisición (FAO, 2002). Por otro lado la eficiencia de la producción dependerá de la calidad y el porcentaje de germinación de la semilla escogida.
- **Lavado y desinfección de la semilla:** La semilla debe ser lavada y desinfectada con el fin de eliminar residuos, hongos y bacterias que puedan afectar la producción. Caamal & Valentín (1997), sugieren el uso de hipoclorito de sodio o hidróxido de Calcio para la desinfección de la semilla.
- **Imbibición de la semilla:** Se debe remojar la semilla por un periodo de 24 horas, con la finalidad de hidratar y estimular la germinación del embrión. Hidalgo (1985), indica que una vez terminado el proceso de imbibición, aumenta rápidamente la intensidad respiratoria y con ello las necesidades de oxígeno. Lo anterior deja en claro la importancia de esta etapa para garantizar el crecimiento acelerado de la semilla.
- **Densidad de siembra:** Una vez listas las semillas pre-germinadas, se establece la dosis de siembra la cual va a depender del tamaño de la bandeja y la semilla seleccionada. Según Tovar (2014) la capa de

la semilla no deberá sobrepasar 1.5 cm de espesor, así mismo la densidad por metro cuadrado van desde 2 Kg hasta 4 Kg.m⁻².

- **Riego:** Por lo general el sistema de riego empleado puede ser microaspersión, nebulización o por gravedad; siendo el de microaspersión el más utilizado. Tovar (2014), estipula que la dosis del riego dependerá del tipo de infraestructura. Por otro lado la frecuencia de los riegos varía de acuerdo al tipo de instalación, el sistema de riego, y en mayor proporción de las condiciones climáticas de la zona.
- **Solución nutritiva:** Tovar (2014), indica que la aplicación del riego con la solución nutritiva comienza una vez aparecen las primeras hojas (entre el cuarto y quinto día), los primeros tres días el riego debe hacerse solo con agua.
- **Cosecha:** La cosecha se realiza entre los 10 y 14 días, el material obtenido se compone de tallos, hojas, algunas semillas no germinadas, raicillas y residuos de la semilla germinada (Tovar, 2014).

2.4 Factores que inciden en la producción de Forraje Verde Hidropónico

- a) **Calidad de la semilla:** Se debe asegurar el uso de semilla certificada de calidad tanto genética como fisiológica. La semilla debe presentar un porcentaje de germinación no inferior al 75%, con el fin de evitar pérdidas en los rendimientos del forraje verde hidropónico (FAO, 2002).
- b) **Iluminación:** Si bien durante los primeros tres primeros días de germinación la presencia de luz no es deseable, hasta el cuarto o quinto día las bandejas deben estar expuestas en un ambiente de luz tenue y con oportuno riego con el fin facilitar la aparición de brotes y el desarrollo radicular (Meza, 2005).
- c) **Temperatura:** Es una de las variables más importantes del proceso de producción, por lo cual es necesario el control dentro de los rangos establecidos. Según la FAO (2002), el rango óptimo para la producción de FVH se sitúa entre los 18°C y 26°C; un exceso de temperatura puede

generar el crecimiento de hongos, y una temperatura baja retarda el crecimiento (Valdivia, 1997).

- d) Humedad relativa:** La humedad relativa en el interior del recinto de producción no debe ser inferior al 90% (FAO, 2002). Valores mayores al 90% y sin una adecuada aireación pueden provocar problemas críticos de índole fitosanitario, principalmente enfermedades fungosas difíciles de lidiar y suprimir, asimismo el incremento de los costos operacionales. Para lograr un buen desarrollo del forraje Resh (1992), aconseja mantener una temperatura de 22 a 25 °C y una humedad relativa de 65 a 70 %.
- e) Calidad del agua de riego:** Tovar (2014), afirma que la condición básica del agua para el uso en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad, y cuyo origen puede ser de pozo, de lluvia o domiciliario.
- f) pH del agua:** El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 y 7, y salvo raras excepciones como son las especialmente la leucaena, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en Forraje Verde Hidropónico, no se comportan adecuadamente por encima del valor 7 (FAO, 2002).
- g) Conductividad eléctrica del agua de riego:** Este parámetro indica la concentración de sales en una solución, haciendo referencia a la solución nutritiva que se aplica al forraje. Siendo el rango óptimo de CE de la solución nutritiva de 1.5 a 2.0 mS/cm. Se debe tener en cuenta que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 - 150 miligramos por litro de agua (Ramos, 1999).

2.5 Ventajas y desventajas de la producción de Forraje verde Hidropónico

Dentro de las ventajas de producir FVH se tienen las siguientes:

- ✓ **Ahorro de agua:** Al considerar que la pérdida de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración es mínima comparada con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca, mientras que para la producción de un

kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12 % a 18 % (Lomelí, 2000; Chang *et al.*, 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

- ✓ **Eficiencia en el uso de espacio:** El FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical, lo que permite optimizar el espacio útil (FAO, 2002).
- ✓ **Eficiencia de producción:** Dado que la producción de FVH tiene un ciclo corto que oscila de 10 a 14 días.
- ✓ **Calidad nutricional:** Además de ser un producto inocuo, el FVH posee una alta calidad y palatabilidad (Dosal, 1987). Es un germinado muy rico en vitaminas, especialmente la A y E, tiene grandes cantidades de carotenoides, cuyo contenido puede variar de 250 a 350 mg por kg de materia seca (MS), posee una elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo, alta digestibilidad, puesto que la presencia de lignina y celulosa es escasa, además es muy apetecible (Valdivia, 1996, citado por Rodríguez *et al.*, 2003), su aspecto, sabor, color y textura le confieren una elevada palatabilidad a la vez que aumenta la asimilación de otros alimentos.

Como desventajas se tienen principalmente:

- ✓ **Poco conocimiento de la técnica de producción de FVH:** La falta de conocimientos por parte del productor sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiente, entre otros (FAO, 2002), pueden llevar al fracaso de cualquier proyecto productivo.
- ✓ **Alto costo de inversión inicial:** Morales (1987), afirma que el costo de implementación es elevado, y dicho costo varía de acuerdo al tipo de infraestructura y la cantidad de forraje a producir. La práctica de la metodología a piso y en túnel es quizás la más económica y accesible (FAO, 2002).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

La primera fase del trabajo correspondiente a determinar el mejor método de desinfección de las semillas se llevó a cabo en el laboratorio de geotecnia de la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana ubicada en la Av. Pastrana Borrero con Cra 1a (Neiva-Huila), y la segunda fase correspondiente a determinar la mejor densidad de siembra y solución nutritiva, se ejecutó en la terraza de una vivienda ubicada en el conjunto Brisas del Magdalena, en la ciudad de Neiva. La evaluación de los parámetros altura de la planta, peso fresco, rendimiento en $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$, relación de conversión y cenizas, se llevaron a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio de suelos de la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana (Neiva-Huila). Los análisis correspondientes a materia seca, proteína cruda y fibra cruda fueron realizados en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

3.2 Fase uno: Selección de la mejor solución desinfectante

3.2.1 Selección y pre-germinación del material vegetal

Se obtuvo la semilla certificada de *Leucaena leucocephala* (SEMICOL S.A) en el Comité de Ganaderos del Huila, posteriormente se realizó la selección de la semilla llevándola a un recipiente con agua, con el fin de eliminar semillas no aptas para el proceso de germinación (Grano vano, con poco peso y/o sin germen).

Después las semillas fueron sometidas al proceso térmico conocido como “Escarificación”, que consistió en sumergir las semillas en agua caliente a temperatura de 80 °C por un intervalo de 2 minutos. Luego se sometieron al proceso de imbibición por 24 horas.

3.2.2 Tratamientos de desinfección de la semilla

Para la desinfección de la semilla se evaluaron los siguientes tratamientos usando dos soluciones diferentes: a) Soluciones de Hipoclorito de sodio comercial (ASPROQUIN LTDA) y b) Soluciones de Hidróxido de calcio (Minerales del Sur). Cada solución fue evaluada en cuatro tratamientos y cuatro repeticiones en bloques completamente al azar, con 50 semillas por cada repetición.

- T1: Se remojaron las semillas en Hipoclorito de sodio (NaClO) comercial al 5% durante 30 minutos.
- T2: Se remojaron las semillas en Hipoclorito de sodio (NaClO) comercial al 5% durante 1 hora.
- T3: Se remojaron las semillas en Hipoclorito de sodio (NaClO) comercial al 10% durante 30 minutos.
- T4: Se remojaron las semillas en Hipoclorito de sodio (NaClO) comercial al 10% durante 1 hora.

Posteriormente las semillas se enjuagaron con agua para eliminar trazas de solución clorada y se colocaron en cajas de Petri esterilizadas para su germinación.

- T5: Se remojaron las semillas en Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 5% durante 3 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos.
- T6: Se remojaron las semillas en Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 5% durante 6 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos.
- T7: Se remojaron las semillas en Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 10% durante 3 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos.
- T8: Se remojaron las semillas en Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 10% durante 6 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos.

Posteriormente las semillas se enjuagaron con agua para eliminar trazas de solución de Hidróxido de calcio y se colocaron en cajas de Petri esterilizadas para su germinación. Finalmente se evaluó un último tratamiento sin ninguna solución desinfectante, aplicando únicamente agua.

- T9 (Testigo): Tratamiento sin solución desinfectante, aplicando únicamente agua.

Las variables evaluadas fueron:

- a. Plantas germinadas: Número de semillas germinadas respecto al total.
- b. Plantas contaminadas: Número de semillas contaminadas respecto al total.
- c. Días de protección: Número de días en aparecer el primer signo de enfermedad, evaluado en un periodo de 15 días.

3.3 Fase dos: Densidad de siembra y solución nutritiva

Una vez definida la mejor solución desinfectante, la mejor concentración y el tiempo de exposición se evaluaron dos densidades de siembra y tres concentraciones de la solución nutritiva, mediante los siguientes tratamientos:

- T1: 3.5 Kg de semilla por metro cuadrado y solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2009) al 100%.
- T2: 3.5 Kg de semilla por metro cuadrado y solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2009) al 50%.
- T3: 4.5 Kg de semilla por metro cuadrado y solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2009) al 100%.
- T4: 4.5 Kg de semilla por metro cuadrado y solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2009) al 50%.
- T5: 3.5 Kg de semilla por metro cuadrado y sin la aplicación de solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2009).
- T6: 4.5 Kg de semilla por metro cuadrado y sin la aplicación de solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2009).

El diseño experimental utilizado fue factorial 2x3 con tres repeticiones. En la tabla 1 se muestra la comparación de aportes de nutrientes con solución nutritiva de Sánchez *et al.*, (2009) y la solución implementada en la presente investigación, cuyos valores de referencia se expresan en partes por millón (ppm) tanto para los macronutrientes como para los micronutrientes, la cual se utilizó para elaborar la solución nutritiva aplicada al hidroforraje de *Leucaena*. Una vez preparada la solución nutritiva se midió la conductividad eléctrica en milisiemens (mS/cm) y el pH, si el valor del pH era muy básico se procedía a regularlo usando ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 100%, hasta lograr que el pH estuviese cercano a 6.0.

Tabla 1. Comparación de aportes de nutrientes con solución nutritiva de Sánchez *et al.*, (2009) y la solución implementada en campo.

Solución nutritiva propuesta por Sánchez <i>et al.</i> , (2009)		Solución nutritiva implementada en campo	
Elemento	Partes por millón (ppm)	Elemento	Partes por millón (ppm)
N	250	N	213,9
P	60	P	60
K	250	K	256,1
Ca	300	Ca	200
Mg	60	Mg	60
S	200	S	180,2
Fe	3	Fe	3
Mn	0,5	Mn	0
B	0,5	B	0,5
Cu	0,1	Cu	0
Zn	0,1	Zn	1,25

La solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2009) se utilizó como modelo de referencia en cuanto a la concentración de los elementos en ppm, debido a la imposibilidad de obtener las fuentes comerciales de los fertilizantes utilizados por el autor.

3.3.1 Estructura y módulos del sistema para la producción del FVH de *Leucaena*

El sistema de producción para el FVH de *Leucaena* se compone de tres tanques plásticos (PAVCO) con capacidad de almacenamiento de 300 litros cada uno; tres electrobombas, dos de 0.5 hp (Pedrollo QB 60) con descarga máxima de 40 l/s y una de 1 hp (Barnes PUMP PK 60) de descarga máxima 50 l/s; la tubería de succión usada es PVC (PAVCO) con diámetro de 1" y la de descarga PVC con diámetro de ½", adicional a ello para los riegos con solución nutritiva se instaló un filtro de anillos de 120 mesh de 1" pulgada de diámetro; tres módulos o estantes metálicos de medidas 1 m de alto, 46 cm largo y 60 cm ancho y ángulo de inclinación aproximado de 7°, con capacidad para seis bandejas plásticas cada uno; cada bandeja tiene las siguientes dimensiones 36.5 cm de largo por 24 cm de ancho y 2.5 cm de alto, para un área de siembra de 876 cm² debido a que el espesor de semilla fue de 1 cm.

Las bandejas previamente a la siembra de las semillas fueron sumergidas en una solución de Hipoclorito de sodio al 10%, durante cinco minutos para desinfectarlas.

3.3.2 Sistema de riego por microaspersión para la producción del FVH de *Leucaena*

Se realizó el diseño del sistema de riego por microaspersión utilizando manguera de baja densidad de ½” pulgada, se instaló un manómetro (RiTHERM) a la entrada de la manguera para controlar la presión de operación del sistema; se usó un microaspersor (NETAFIM tipo GYRONET modelo 027 color café) por bandeja. Así mismo se llevó a cabo el aforo de los microaspersores a diferentes presiones: 8 PSI, 20 PSI, 36 PSI Y 44 PSI siguiendo la metodología establecida por la norma mexicana NMX-O-084-SCFI (2001) “Rociadores para riego presurizado – especificaciones y métodos de prueba (Irrigation sprayers – specifications and test methods)”; con ello se realizó la evaluación y caracterización de los microaspersores (Coeficiente de variación, coeficiente de uniformidad y ecuación del emisor).

El tiempo de riego empleado fue de 2 minutos cada dos horas por módulo, aplicándose 7 riegos durante un día con un total de 14 minutos/día/riego/módulo usando un temporizador (Timer IPSA modelo TE-102) por módulo previamente programados. La presión de operación utilizada fue de 20 PSI, al sustituir en la ecuación la carga de operación, se obtiene un gasto $Q = 22.52 L/h$ y 5.26 litros aplicados durante los 14 minutos/día de operación del sistema de riego. En cada charola se colocó un microaspersor y teniendo en cuenta que un módulo constaba de seis charolas, fueron aplicados 31.56 L/día/módulo. Los 6 primeros días de germinación, el riego fue únicamente agua, posterior a ello con la formación inicial de raíces se inició la aplicación de la solución nutritiva de acuerdo a los tratamientos ya mencionados.

En la figura 1 se observa la estructura y componentes para la producción del FVH de *Leucaena*.



Figura 1. Estructura y componentes del sistema para la producción de FVH de *Leucaena leucocephala*

3.3.3 Cosecha del FVH de *Leucaena leucocephala*

La cosecha del forraje se realizó 15 días después de la siembra, las variables evaluadas fueron:

- a) Altura de la planta: Se seleccionaron cinco plantas por bandeja midiendo con una regla graduada en cm, colocándola desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja superior.
- b) Peso fresco: Corresponde al peso de forraje de cada charola, para ello se suspendió el riego seis horas antes de la cosecha y se registró el peso en gramos en una balanza de precisión de 0.1 g.
- c) Rendimiento en $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2}$: Corresponde a la relación del peso de forraje producido y el área de cada charola.
- d) Relación de conversión: Se consideró como la relación entre la cantidad de forraje producido en una charola y la cantidad de semillas sembradas por charola.
- e) Materia seca: Se siguió la metodología descrita por De García y Gallardo (2011).
- f) Cenizas: Se cuantificó por el método de calcinación en la mufla descrita por De García y Gallardo (2011).
- g) Proteína cruda: Se cuantificó por el método de Kjeldahl descrito en el manual de métodos de análisis químicos de la AOAC, 1996.

h) Fibra cruda: Se cuantificó de acuerdo a la metodología propuesta por la AOAC, 1996.

3.3.4 Producción y uso eficiente del agua

Se determinó la cantidad de agua necesaria para producir 1 Kg de materia fresca y materia seca de forraje de leucaena a través de la recolección del agua en tubos de drenaje, conociendo la lámina de agua entregada de 214 ml por bandeja y la lámina de agua drenada, con la diferencia de los datos se obtuvo el agua útil. También se calculó la eficiencia del uso de agua (Kg/m^3), relacionando la producción de forraje fresco y seco con el agua de riego empleada.

3.3.5 Análisis estadístico

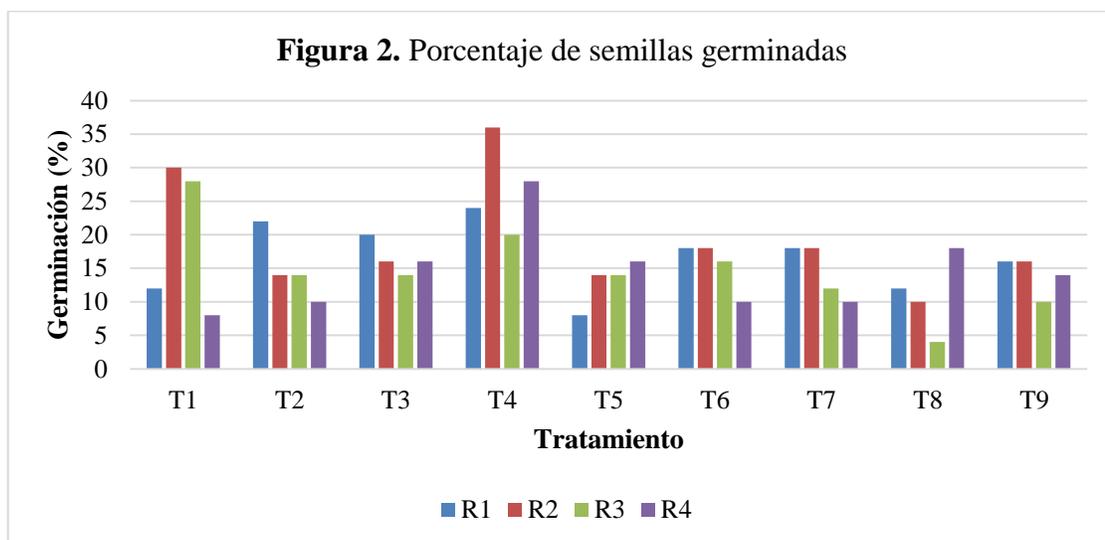
En todos los experimentos ya mencionados se realizaron análisis de varianza con el fin de establecer si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Así mismo se ejecutaron pruebas de comparación de medias (Tukey), con un nivel de confianza del 95%. Para ello se empleó el paquete estadístico del software STATGRAPHICS.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fase uno: Selección de la mejor solución desinfectante

4.1.1 Porcentaje de plantas germinadas

La figura 2 que muestra el porcentaje germinación para cada uno de los tratamientos.



Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) como se observa en la tabla 2, encontrando que el desinfectante tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de germinación de la semilla, pero no la concentración y el tiempo de exposición, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 2. Análisis de varianza para el porcentaje de semillas germinadas

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Desinfectante	354,667	2	177,333	5,78	0,0064
B:Concentracion	12,0	1	12,0	0,39	0,5355
C:TiempoExp	8,33333	1	8,33333	0,27	0,6053
INTERACCIONES					
AB	78,0	2	39,0	1,27	0,2922
AC	28,6667	2	14,3333	0,47	0,6304
BC	27,0	1	27,0	0,88	0,3541
RESIDUOS					
TOTAL (CORREGIDO)	1674,67	47			

Al realizar la prueba de comparación de medias (Tukey con nivel de confianza del 95%), se observa en la tabla 3 que el tratamiento que mejor porcentaje de germinación presentó, fue el tratamiento T4 que corresponde a la desinfección de las semillas en Hipoclorito de sodio (NaClO) comercial al 10% durante 1 hora. De acuerdo con Tovar (2014), la utilización de Hipoclorito genera un impacto positivo en cuanto a germinación se refiere respecto al uso de cal encontrando valores medios en la germinación. Por otro lado los tratamientos T1, T3, T6, T2, T7 y T9 no presentaron diferencias significativas, así mismo T5 y T8 no muestran diferencias.

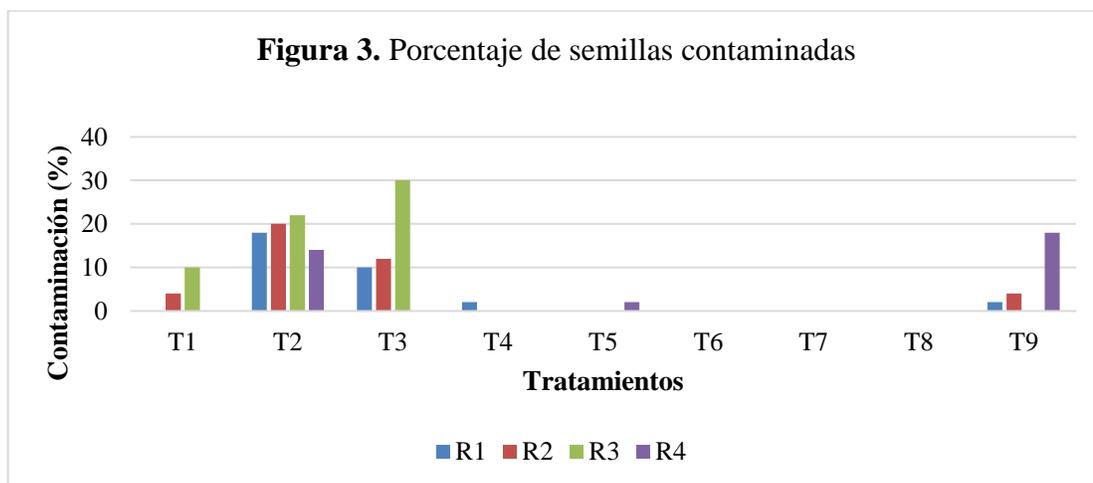
Tabla 3. Comparación de medias del porcentaje de semillas germinadas

Tratamiento	Media*
T4	27 ^a
T1	19,5 ^{ab}
T3	16,5 ^{ab}
T6	15,5 ^{ab}
T2	15 ^{ab}
T7	14,5 ^{ab}
T9	14 ^{ab}
T5	13 ^b
T8	11 ^b

*En la comparación de medias, obsérvese que las medias estadísticamente iguales se identifican con la misma letra.

4.1.2 Porcentaje de plantas contaminadas

La figura 3 que muestra el porcentaje contaminación para cada uno de los tratamientos, destacando los tratamientos T6, T7 Y T8 cuyo porcentaje de contaminación fue del 0%..



En la tabla 4 se observa que para un nivel de significancia del 95% se encuentra que el desinfectante tiene efecto significativo sobre el porcentaje de contaminación de las semillas al igual que la interacción entre concentración y tiempo de exposición.

Tabla 4. Análisis de varianza para el porcentaje de semillas contaminadas

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Desinfectante	636,5	2	318,25	6,40	0,004
B:Concentracion	27,0	1	27,0	0,54	0,4657
C:TiempoExpo	1,33333	1	1,33333	0,03	0,8708
INTERACCIONES					
AB	45,5	2	22,15	0,46	0,6363
AC	5,16667	2	2,58333	0,05	0,9494
BC	243,0	1	243,0	4,89	0,0332
RESIDUOS	1889,5	38	49,7237		
TOTAL (CORREGIDO)	2848,0	47			

En la tabla 5, se observa que los tratamientos que menor porcentaje de contaminación presentaron fueron los tratamientos con cal (T6, T7 y T8), entre dichos tratamientos no presentaron diferencias significativas. Muñoz, *et al.*, (S.F), obtuvieron una buena respuesta con el uso de cal al 10% durante 3 horas para la desinfección de semillas. El tratamiento con mayor porcentaje de contaminación fue el tratamiento T2 que corresponde a la desinfección de las semillas en Hipoclorito de sodio (NaClO) comercial al 5% durante 1 hora. Los tratamientos T3, T4 Y T9 no presentaron diferencias significativas, de igual forma los tratamientos T1 y T5.

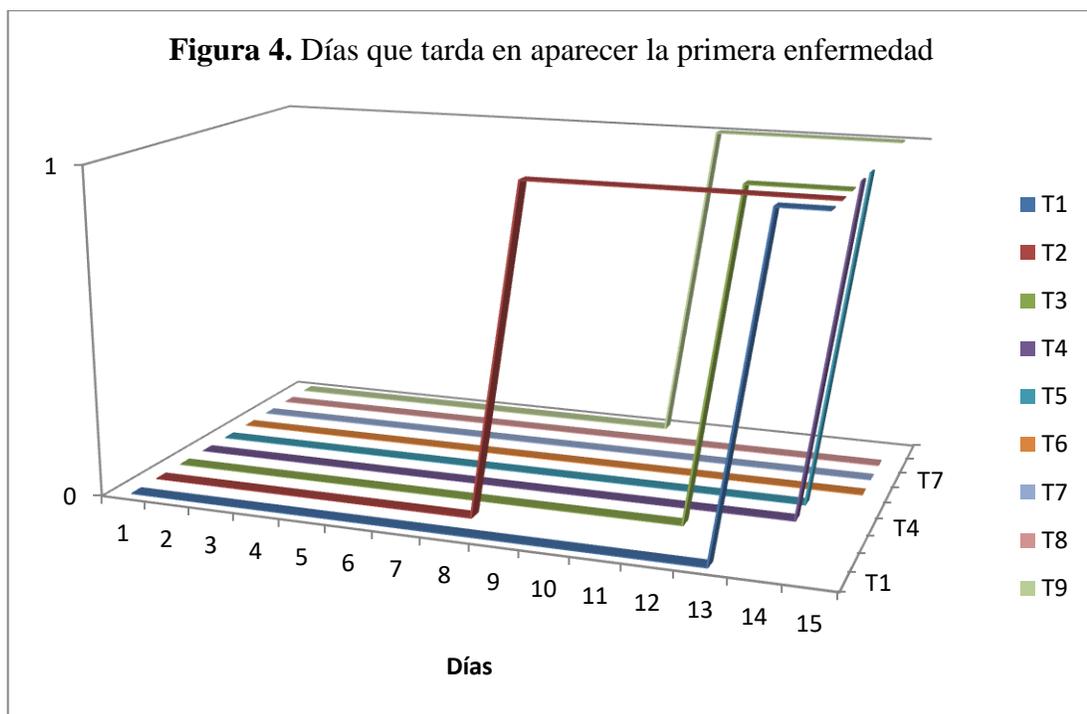
Tabla 5. Comparación de medias del porcentaje de plantas contaminadas

Tratamiento	Media*
T2	18,5 ^a
T3	13 ^{ab}
T9	6 ^{ab}
T1	3,5 ^{bc}
T5	0,5 ^{bc}
T4	0,5 ^{ab}
T8	0 ^c
T7	0 ^c
T6	0 ^c

*En la comparación de medias, obsérvese que las medias estadísticamente iguales se identifican con la misma letra.

4.1.3 Días de protección

La figura 4 muestra los días que tarda en aparecer los hongos, como se observa los tratamientos que ofrecieron protección contra los hongos durante los 15 días evaluados fueron el tratamiento T6 (Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) al 5% durante 6 horas), T7 (Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) al 10% durante 3 horas) y T8 (Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) al 10% durante 6 horas), respecto a los tratamientos con Hipoclorito, los cuales aseguran en promedio 12 días de protección contra hongos, destacando el tratamiento T4 (Hipoclorito de sodio (NaClO) comercial al 10% durante 1 hora) con 14 días de protección. En cuanto al testigo (solo agua), solo garantiza 10 días de protección y en el transcurso de los siguientes días la proliferación de hongos aumentó rápidamente, lo que no ocurrió con los tratamientos con Hipoclorito, a pesar que solo se protege en promedio 12 días las semillas tratadas, la proliferación de hongos fue lenta.



En el eje Y, el valor de 0 indica los días protegidos y el valor de 1 expresa el fin de la protección.

Prince (2014) indica que el objetivo de la cal y el hipoclorito es modificar el pH del agua, elevando el pH a valores muy alcalinos, ambiente donde los hongos y otros microorganismos no pueden sobrevivir. En su discusión afirma que los tratamientos con cal mostraron una respuesta aceptable para la desinfección de la semilla, mientras que el hipoclorito fue el menos efectivo.

Con el fin de ejecutar la siguiente fase se escogió el tratamiento T7 (Hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) al 10% durante 3 horas) como la mejor solución desinfectante de la semilla al presentar menor porcentaje de contaminación de semillas, ofrecer más días de protección, un porcentaje de semillas germinadas aceptable y la disminución del tiempo operacional para la desinfección de la semilla de leucaena.

4.2 Fase dos: Densidad de siembra y solución nutritiva

4.2.1 Solución nutritiva

La tabla 6 muestra las variables controladas: pH inicial y final y Conductividad eléctrica (CE) inicial y final en la solución nutritiva.

Tabla 6. Conductividad eléctrica (mS/cm) y pH de la solución nutritiva.

Tanque	pH inicial	pH final	CE inicial (mS/cm)	CE final (mS/cm)
1 (100% S.N)	6,83	6,27	2,81	2,7
2 (50% S.N)	7,4	6,3	1,87	1,6
3 (Sin S.N)	7,9	-	0,2	-

Como se observa en la tabla anterior, el tanque 3, no se hizo la corrección del pH al ser el testigo. Por otro lado el valor del pH para los tanques 1 y 2 fueron corregidos a un valor cercano entre 6 y 6,5; Juárez *et al.*, (2013), indican que las leguminosas, como es el caso de la leucaena, pueden desarrollarse con pH cercano a 7,5; sin embargo con el fin de favorecer la disponibilidad y absorción de los nutrientes recomienda el rango de pH de 5,5 a 6,5. Así mismo, para la CE el autor sugiere un valor en torno a 1,5 a 2 dS/m, como se evidencia el tanque 1 sobrepasa dicho rango, el aumento de la concentración de sales en la solución nutritiva puede causar estrés en la planta afectando variables de rendimientos tales como, materia fresca, numero de hojas, entre otros, como lo mencionan Carrasco *et al.*, (2007).

4.2.2 Evaluación del sistema de riego

Una vez evaluados los emisores seleccionados mediante la norma mexicana NMX-O-084-SCFI (2001), se obtuvo el coeficiente de variación de los emisores. Keller y Bliesner (1990) realizaron una tabla para clasificar un gotero según su coeficiente de variación como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de los goteros según Keller y Bliesner (1990)

Clasificación de los goteros según Cv		
Tipo	Rango Cv	Clasificación
Emisor puntual	$Cv < 0.05$	Excelente
	$0.05 < Cv < 0.07$	Promedio
	$0.07 < Cv < 0.11$	Marginal
	$0.11 < Cv < 0.15$	Pobre
	$0.15 < Cv$	Inaceptable
	$Cv < 0.1$	Excelente

Los emisores evaluados se clasifican como excelente al tener un coeficiente de variación $Cv < 0.05$. El Cv del emisor 1 fue de $Cv = 0.01139$, emisor 2 $Cv = 0.00738$ y el emisor 3 $Cv = 0.00185$. De acuerdo con Vélez *et al.*, (2013) la calidad de un emisor está dado por el coeficiente de variación, por lo tanto, con los emisores evaluados se garantiza un buen funcionamiento y eficiencia del sistema de riego implementado.

Por otro lado, otra característica evaluada fue el coeficiente de uniformidad (CU). La tabla 8 muestra los coeficientes de uniformidad con las diferentes ecuaciones propuestas por varios autores.

Tabla 8. Coeficiente de uniformidad descrito por varios autores				
Presión/Ecuación	Christiansen	Hart y Reynolds	Keller y Karmeli 1975	Barragán <i>et al</i>
8 PSI	99,37	95,51	86,42	92,85
20 PSI	99,68	97,71	91,99	96,36
36 PSI	99,89	99,21	97,40	98,74
44 PSI	99,95	99,64	98,82	99,43

Los resultados indican que los emisores proporcionan uniformidades superiores al 86% en presiones de 8 PSI y superiores al 91% en presiones desde 20 a 40 PSI.

4.2.3 Altura de la planta del FVH de Leucaena

En la tabla 9 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de la planta. Para un nivel de significancia del 95% se observa que tanto la concentración de la solución nutritiva como la densidad de siembra tienen efecto significativo sobre la variable altura de la planta.

Tabla 9. Análisis de varianza altura de planta.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	4,79391	2	2,39696	21,65	0,0001
B:DENSIDAD	0,98	1	0,98	8,85	0,0116
INTERACCIONES					
AB	0,176933	2	0,0884667	0,80	0,4723
RESIDUOS	1,32853	12	0,110711		
TOTAL (CORREGIDO)	7,27938	17			

Las medias obtenidas en la tabla 10 evidencian que el tratamiento T6 presentó una buena respuesta, sin embargo no es posible asegurar que las concentraciones de la solución nutritiva tengan una incidencia en la altura de la planta, puesto que los módulos fueron afectados por las condiciones climáticas de la zona (Pocas horas de luz solar y precipitaciones). Los tratamientos T3 y T4 no presentaron diferencias significativas, al igual que los tratamientos T1 y T2.

La densidad de siembra tuvo una incidencia importante en la altura, pues a mayor densidad de siembra, mayor es la altura de la planta. Este comportamiento como lo explica Rojas y Rovalo (1985), citado por Tovar (2014); se debe a que en altas densidades de siembra, existe una mayor competencia por los elementos ambientales que inciden en el crecimiento de las plantas principalmente la luz, que genera una mayor elongación en tallos y hojas. Por ende se destaca la influencia de la densidad de siembra de 4.5 Kg*m⁻² en la altura del FVH de Leucaena.

Tabla 10. Comparación de medias, variable: Altura de plantas (cm).

Tratamiento	Media
T6 (4.5 Kg/m ² ; 0%)	9.79 ^a
T5 (3.5 Kg/m ² ; 0%)	9.2 ^{ab}
T4 (4.5 Kg/m ² ; 50%)	8.79 ^{bc}
T3 (4.5 Kg/m ² ; 100%)	8.43 ^{bc}
T1 (3.5 Kg/m ² ; 100%)	8.25 ^c
T2 (3.5 Kg/m ² ; 50%)	8.17 ^c

4.2.4 Peso fresco FVH de Leucaena

En la tabla 11 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable, peso fresco, indicando con un nivel de significancia del 95% que la densidad de siembra tiene efecto significativo sobre la variable: peso fresco.

Tabla 11. Análisis de varianza peso fresco.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	0,007399	2	0,0036995	0,53	0,6043
B:DENSIDAD	0,395753	1	0,395753	56,21	0,0000
INTERACCIONES					
A.B	0,00253011	2	0,00126506	0,18	0,8378
RESIDUOS	0,084492	12	0,007041		
TOTAL (CORREGIDO)	0,490174	17			

Las medias obtenidas en la tabla 12 indican que los tratamientos que tuvieron una mayor densidad de siembra (T3, T6 y T4) obtuvieron un mayor promedio en peso fresco de FVH de Leucaena. Los tratamientos T1, T5 y T2 no presentaron diferencias significativas. Según Tovar (2014), la variable de peso fresco está directamente relacionada con el rendimiento ($\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y con la relación de conversión (RC) aunque esta última no presentó diferencias significativas entre densidades.

Tabla 12. Comparación de medias, variable: Peso fresco (Kg).

Tratamiento	Media
T3 (4.5 Kg/m^2 ; 100%)	1.25 ^a
T6 (4.5 Kg/m^2 ; 0%)	1.23 ^{ab}
T4 (4.5 Kg/m^2 ; 50%)	1.176 ^{ab}
T1 (3.5 Kg/m^2 ; 100%)	0.933 ^d
T5 (3.5 Kg/m^2 ; 0%)	0.924 ^d
T2 (3.5 Kg/m^2 ; 50%)	0.913 ^d

4.2.5 Rendimiento del FVH de Leucaena

En la tabla 13 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable, rendimiento del FVH de Leucaena, evidenciando con un nivel de confianza del 95% que la densidad de siembra tiene efecto significativo sobre la variable: rendimiento del FVH.

Tabla 13. Análisis de varianza rendimiento del FVH.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	0,962633	2	0,481317	0,52	0,6048
B DENSIDAD	51,6467	1	51,6467	56,29	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,328144	2	0,164072	0,18	0,8385
RESIDUOS	11,0124	12	0,9177		
TOTAL (CORREGIDO)	63,9499	17			

Las medias obtenidas en la tabla 14 indican que los tratamientos que tuvieron una mayor densidad de siembra (T3, T6 y T4) obtuvieron un mayor promedio en el rendimiento del FVH de Leucaena. Los tratamientos T1, T2 y T5 no presentaron diferencias significativas, al igual que los tratamientos T4 y T6.

Tabla 14. Comparación de medias, variable: Rendimiento (Kg*m⁻²).

Tratamiento	Media
T3 (4.5 Kg/m ² ; 100%)	14.29 ^a
T6 (4.5 Kg/m ² ; 0%)	14.06 ^{ab}
T4 (4.5 Kg/m ² ; 50%)	13.43 ^{ab}
T1 (3.5 Kg/m ² ; 100%)	10.66 ^d
T5 (3.5 Kg/m ² ; 0%)	10.55 ^d
T2 (3.5 Kg/m ² ; 50%)	10.42 ^d

4.2.6 Relación de conversión del FVH de Leucaena

En la tabla 15 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable, relación de conversión del FVH de Leucaena, demostrando con un nivel de confianza del 95% que la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva no presentan efecto significativo sobre la variable: relación de conversión del FVH. El hecho de que no existan diferencias, indica que, aunque el peso fresco incrementa con la mayor densidad de siembra, esta no afecta la conversión de la semilla dentro de la bandeja.

Tabla 15. Análisis de varianza relación de conversión.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	0,0558333	2	0,0279167	0,50	0,6162
B:DENSIDAD	0,0320889	1	0,0320889	0,58	0,4612
INTERACCIONES					
AB	0,0126778	2	0,00633889	0,11	0,8928
RESIDUOS	0,6644	12	0,0553667		
TOTAL (CORREGIDO)	0,765	17			

El rendimiento del FVH obtenido en el presente trabajo fue aceptable, ya que en promedio alcanzó una RC de 3:1 (3 kilogramos de forraje producido por kilogramo de semilla sembrada). Sneath y Mcintosh (2003), manifiestan que se puede considerar un buen rendimiento en forrajes hidropónicos cuando la relación de conversión es 5:1; sin embargo, en la presente investigación no se alcanzó dicho rendimiento; por otro lado, Tovar (2014) considera que la relación obtenida es aceptable teniendo en cuenta que las condiciones ambientales no favorecieron en la acumulación de unidades de calor, según datos del IDEAM a finales del mes de febrero y comienzos del mes de marzo del 2021, el índice de precipitación mensual estuvo entre un 120% y 160% por encima de lo normal.

Las medias obtenidas en la tabla 16 indican que, la densidad de siembra de 4.5 Kg*m⁻² y concentración de la solución nutritiva al 100% presentó la mayor media siendo la RC de 3.18, respecto a los demás tratamientos. Sin embargo dicha diferencia no fue significativa.

Tabla 16. Comparación de medias, variable: Relación de conversión.

Tratamiento	Media
T3 (4.5 Kg/m ² ; 100%)	3.18 ^a
T6 (4.5 Kg/m ² ; 0%)	3.12 ^a
T1 (3.5 Kg/m ² ; 100%)	3.05 ^a
T5 (3.5 Kg/m ² ; 0%)	3.01 ^a
T4 (4.5 Kg/m ² ; 50%)	2.98 ^a
T2 (3.5 Kg/m ² ; 50%)	2.97 ^a

4.2.7 Materia seca del FVH de Leucaena

En la tabla 17 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable, materia seca (%) del FVH de Leucaena, revelando con un nivel de confianza del 95% que la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva no presentan efecto significativo sobre la variable: materia seca.

Tabla 17. Análisis de varianza materia seca.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	6,75111	2	3,37556	1,06	0,3766
B:DENSIDAD	5,01389	1	5,01389	1,58	0,2333
INTERACCIONES					
A.B	9,88444	2	4,94222	1,55	0,2513
RESIDUOS	38,1933	12	3,18278		
TOTAL (CORREGIDO)	59,8428	17			

En cuanto al contenido de materia seca obtenido por el FVH con la semilla de Leucaena, se puede considerarse como muy bueno, ya que su promedio fue de 20%, y es superior a los reportados por Vargas (2008), cuyos contenidos porcentuales de materia seca en los forrajes de Arroz, Maíz y sorgo fue de 15,82%; 11,54%; y 11,48% respectivamente. Valiente *et al.*, (2016), obtuvieron un porcentaje de materia seca de FVH de trigo de 11,35%, valor inferior al logrado en el presente trabajo.

Es importante mencionar que el incremento de la materia seca está relacionado con el número de los días de cosecha, tal como lo reportan en su trabajo Herrera *et al.*, (2010); así mismo, varía en función de la cantidad de aplicación de Nitrógeno (Dumont *et al.*, 2005), y de las condiciones climáticas de la zona. Valoy *et al.*, (2012) reportaron un promedio de 23,6% de materia seca en hidroforraje de Leucaena cosechado a los 25 días, en la presente investigación se obtuvo un promedio del 20% de materia seca del FVH de Leucaena cosechado a los 15 días.

Las medias obtenidas en la tabla 18 indican que, la densidad de siembra de 4.5 Kg*m⁻² y concentración de la solución nutritiva al 50% presentó la mayor media siendo del 20.93% de materia seca, respecto a los demás tratamientos, aunque dicha diferencia no fue significativa.

Tabla 18. Comparación de medias, variable: Materia seca.

Tratamiento	Media
T4 (4.5 Kg/m ² ; 50%)	20.93 ^a
T3 (4.5 Kg/m ² ; 100%)	20.77 ^a
T2 (3.5 Kg/m ² ; 50%)	20.50 ^a
T5 (3.5 Kg/m ² ; 0%)	20.13 ^a
T6 (4.5 Kg/m ² ; 0%)	19.77 ^a
T1 (3.5 Kg/m ² ; 100%)	17.77 ^a

4.2.8 Cenizas del FVH de Leucaena

En la tabla 19 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable, cenizas (%) del FVH de Leucaena, indicando que la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva no presentan efecto significativo sobre la variable cenizas con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 19. Análisis de varianza cenizas.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	29,4225	2	14,7112	2,07	0,1686
B:DENSIDAD	2,59161	1	2,59161	0,37	0,5569
INTERACCIONES					
AB	4,7757	2	2,38787	0,34	0,7208
RESIDUOS	85,1661	12	7,09718		
TOTAL (CORREGIDO)	121,956	17			

Se obtuvo en promedio un 17,2% de cenizas, el cual representa un valor muy alto comparado con valores encontrados en otros forrajes. Vargas (2008), obtuvo porcentajes de cenizas en los hidroforrajes de Arroz, Maíz y sorgo del 9,17%; 2,41%; y 6,54% respectivamente. Maldonado *et al.*, (2013), reportaron un valor de 4.05% de cenizas obtenido a partir del FVH de trigo. Tovar (2014), obtuvo un 7,95% de cenizas en FVH de cebada con una concentración de la solución nutritiva del 100%. El valor del porcentaje cenizas hallado en el presente trabajo se considera excesivamente alto y podría atribuirse a la cutícula que recubre la semilla y las semillas que quedaron sin germinar influyen en el valor de este parámetro, esto dependerá de la especie y variedad de la semilla utilizada. Según la FAO (2002) y Carballo (2000), encontraron valores de cenizas de la cutícula en arroz y sorgo de 2% y 1,84% respectivamente.

Nutricionalmente el valor de las cenizas tiene poca relevancia, pues Crampton y Harris (1979) indican que la composición de las cenizas de los productos vegetales es muy variable, no solo en su totalidad sino en sus componentes parciales, como es el caso del silicio, elemento que carece de valor nutritivo y puede ser tóxico.

Las medias obtenidas en la tabla 20 indican que, la densidad de siembra de 3.5 Kg*m⁻² y concentración de la solución nutritiva al 100% presentó la mayor media siendo del 18.69% de cenizas, respecto a los demás tratamientos, aunque dicha diferencia no fue significativa.

Tabla 20. Comparación de medias, variable: Cenizas.

Tratamiento	Media
T1 (3.5 Kg/m ² ; 100%)	18.69 ^a
T6 (4.5 Kg/m ² ; 0%)	18.14 ^a
T3 (4.5 Kg/m ² ; 100%)	17.95 ^a
T5 (3.5 Kg/m ² ; 0%)	17.64 ^a
T2 (3.5 Kg/m ² ; 50%)	16.43 ^a
T4 (4.5 Kg/m ² ; 50%)	14.40 ^a

4.2.9 Proteína cruda del FVH de Leucaena

En la tabla 21 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable, proteína cruda (%) del FVH de Leucaena, mostró que la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva no presentan efecto significativo sobre la variable proteína cruda, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 21. Análisis de varianza proteína cruda.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: CONCENTRACION	3,01778	2	1,50889	1,61	0,2402
B:DENSIDAD	1,805	1	1,805	1,93	0,1904
INTERACCIONES					
AB	3,41333	2	1,70667	1,82	0,2039
RESIDUOS	11,2467	12	0,937222		
TOTAL (CORREGIDO)	19,4828	17			

Se logró en promedio un 7,35% en base húmeda de proteína cruda, el cual se considera un valor bajo pero aceptable, puesto que el contenido mínimo de proteína cruda que debe tener un FVH es de 7%, con ello se garantiza la fermentación de los carbohidratos estructurales a nivel de rumen (Van Soest, 1994). Un factor a considerar en la influencia de los bajos niveles de proteína cruda es el día de cosecha, según Torres (2013), como estrategia en el manejo del sistema productivo de FVH, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, aunque varios estudios aconsejan no extender más allá de los 12 días, a partir de dicha edad se inicia una disminución significativa en el valor nutricional del forraje, lo anterior se debe a la maduración de la plántula, durante el desarrollo de órganos estructurales como tallos y pecíolos, el nitrógeno se moviliza a las plantas más jóvenes, como consecuencia disminuye la fracción de biomasa activa y promueve una dilución del nitrógeno en la planta (Herrera *et al.*, 2010).

Herrera *et al.*, (2010), reportaron una disminución de 40% en el contenido de proteína cosechado a los 12 días (12,6% PC), respecto al registrado a los 10 días (21% PC) en FVH de trigo. Vargas (2008), obtuvo porcentajes de proteína cruda en los forrajes de Arroz, Maíz y sorgo del 7,92%; 9,61%; y 10,47% respectivamente, los cuales fueron superiores al obtenido en el presente trabajo, teniendo en cuenta que el autor cosechó a la edad de 20 días.

Contrariamente en el trabajo desarrollado por Valiente *et al.*, (2016), a los 8 días de cosecha obtuvo (3,4% PC BH) y a los 10 días de cosecha (2,67% PC BH) a partir del FVH de trigo, dichos valores fueron inferiores a los alcanzados en la presente investigación. Lo anterior permite inferir que los valores dependerán también del tipo de semilla y la variedad, así como de las condiciones de producción del FVH. Por otro lado el valor logrado es alto comparado con los resultados obtenidos por Carballo (2000), a partir de germinado de Maíz y trigo con 2,74% PC y 2,6% PC respectivamente.

Las medias obtenidas en la tabla 22 indican que, la densidad de siembra de 4.5 Kg*m⁻² y concentración de la solución nutritiva al 100% presentó la mayor media siendo de 8.2% de proteína cruda, respecto a los demás tratamientos, no obstante, dicha diferencia no fue significativa.

Tabla 22. Comparación de medias, variable: Proteína cruda.

Tratamiento	Media
T3 (4.5 Kg/m ² ; 100%)	8.2 ^a
T4 (4.5 Kg/m ² ; 50%)	8.1 ^a
T2 (3.5 Kg/m ² ; 50%)	7.5 ^a
T5 (3.5 Kg/m ² ; 0%)	7.1 ^a
T6 (4.5 Kg/m ² ; 0%)	6.6 ^a
T1 (3.5 Kg/m ² ; 100%)	6.5 ^a

4.2.10 Fibra cruda del FVH de Leucaena

En la tabla 23 se observa el análisis de varianza (ANOVA) para la variable, fibra cruda (%) del FVH de Leucaena, indicando con nivel de confianza del 95% que la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva no presentan efecto significativo sobre la variable fibra cruda.

Tabla 23. Análisis de varianza fibra cruda.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	0,734444	2	0,367222	1,64	0,2338
B:DENSIDAD	0,0938889	1	0,0938889	0,42	0,5290
INTERACCIONES					
AB	0,534444	2	0,267222	1,20	0,3359
RESIDUOS	2,68	12	0,223333		
TOTAL (CORREGIDO)	4,04278	17			

El resultado obtenido en promedio de fibra cruda en base húmeda fue 3,54%. Carballo (2000), alcanzó porcentajes de fibra cruda a partir de germinado de Maíz y trigo de 1,98% FC y 2,51% FC respectivamente; valores inferiores a los logrados en el presente trabajo. Ndaru *et al.*, (2020), reportaron un valor de 5,61% FC con un tiempo de cosecha de 8 días en Maíz hidropónico, alcanzando un valor máximo de 10,9% FC del forraje cosechado a los 20 días. Los mismos autores indican que el aumento del porcentaje de FC tiene una relación con el tiempo de cosecha, puesto que el contenido de fibra bruta comprende en el desarrollo fenológico la acumulación de celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes de la pared celular de la planta (Araújo, *et al.*, 2018).

Las medias obtenidas en la tabla 24 indican que, la densidad de siembra de 3.5 Kg*m⁻² y concentración de la solución nutritiva al 50% presentó la mayor media siendo de 3.9% de fibra cruda, respecto a los demás tratamientos, sin embargo, dicha diferencia no fue significativa.

Tabla 24. Comparación de medias, variable: Fibra cruda.

Tratamiento	Media
T2 (3.5 Kg/m ² ; 50%)	3.9 ^a
T4 (4.5 Kg/m ² ; 50%)	3.63 ^a
T6 (4.5 Kg/m ² ; 0%)	3.63 ^a
T3 (4.5 Kg/m ² ; 100%)	3.57 ^a
T5 (3.5 Kg/m ² ; 0%)	3.57 ^a
T1 (3.5 Kg/m ² ; 100%)	3.0 ^a

4.2.11 Producción y uso eficiente del agua

La tabla 25 muestra los resultados obtenidos del agua utilizada y el uso eficiente del agua para producir 1 Kg de materia fresca y 1 Kg de materia seca, para las densidades de 3,5 Kg/m² y 4,5 Kg/m² del FVH de leucaena.

Tabla 25. Uso y eficiencia del uso de agua (UEA) del FVH de leucaena.

Densidad de siembra (Kg/m ²)	Peso fresco promedio (Kg/bandeja)	Materia seca promedio (Kg/bandeja)	Total de agua usada (l/bandeja)	Total de agua usada (l/Kg materia fresca)	Total de agua usada (l/Kg materia seca)	UEA (Kg materia fresca/m ³)	UEA (Kg materia seca/m ³)
3,5	0,924	0,179	3,7	4,04	20,8	247	48
4,5	1,220	0,249	4,9	4,00	19,6	250	51

La tabla anterior indica que para producir 1 kilo de materia fresca de FVH de leucaena se necesitan aproximadamente 4 litros de agua, así mismo para obtener 1 kilo de materia seca de FVH de leucaena tan solo se requieren aproximadamente 20 litros de agua. El ahorro de agua del sistema de FVH es muy significativo si se compara con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, las cuales requieren entre 270 a 635 litros de agua por Kg de materia seca (FAO, 2002).

Bradley & Marulanda (2001), reportaron que la técnica de producción de FVH requiere sólo un 10-20% del agua necesaria para producir la misma cantidad de cultivo en tierra, mientras que Al-Karaki & Al-Momani (2011) establecen que solo se necesita un 3-5% de agua.

Por otro lado, respecto al uso eficiente del agua se tiene que para una densidad de siembra de 3,5 Kg*m⁻² se obtienen 247 Kg de materia fresca y 48 Kg de materia seca por cada m³ de agua utilizada, y para una densidad de siembra de 4,5 Kg*m⁻² se obtienen 250 Kg de materia fresca y 51 Kg de materia seca por cada m³ de agua utilizada. Al-Karaki & Al-Hashimi (2012), reportaron valores superiores en cultivos hidropónicos de Alfalfa, Cebada, sorgo y trigo; siendo el uso eficiente de agua de 521 Kg materia fresca/m³ y 43 Kg materia seca/m³; 645 Kg materia fresca/m³ y 110 Kg materia seca/m³; 585 Kg materia fresca/m³ y 111 Kg materia seca/m³; 552 Kg materia fresca/m³ y 97 Kg materia seca/m³; respectivamente. Lo anterior se debe a la condición del diseño del riego implementado en la presente investigación, el cual establecía el uso de un microaspersor por bandeja, además de la poca separación entre bandejas dadas por la estructura y al considerar la lámina de riego dado por el traslape de los microaspersores (el aporte de lámina por bandeja fue de 214 ml incluyendo el traslape), esto indica que un solo microaspersor hubiese sido suficiente para regar dos bandejas por nivel, reduciendo la lámina a la mitad y por ende aumentaría el uso eficiente del agua.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tratamientos con cal, T6 (Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 5% durante 6 horas), T7 (Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 10% durante 3 horas) y T8 (Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 10% durante 6 horas) presentaron un 100% de efectividad en la desinfección de las semillas de leucaena, de acuerdo a la efectividad y el tiempo que se requiere para desinfectar la semilla el tratamiento T7 fue mejor.

La densidad de siembra de $4.5 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y la concentración de solución nutritiva del 100%, presentó un peso fresco promedio de 1,25 Kg y una mayor producción de FVH de Leucaena con rendimiento promedio de $14.29 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

El FVH a partir de semillas de Leucaena se presenta como una alternativa aceptable para la alimentación animal, obteniendo un hidroforraje con valores promedios del 20% en materia seca; 17,02% de cenizas; 7,35% de proteína bruta en base húmeda y 3,54% de fibra cruda en base húmeda.

No se observa con un nivel de confianza del 95% efecto sobre las variables bromatológicas de la densidad de siembra y la concentración de la solución nutritiva, no obstante, a partir de la comparación de medias y teniendo en cuenta la producción de FVH de Leucaena, el mejor tratamiento es la densidad de $4.5 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y concentración de solución nutritiva al 100%.

La producción de FVH de leucaena es una buena opción para el uso racional del agua, puesto que el ahorro de agua es notable, requiriendo aproximadamente 20 litros de agua para producir 1 kilo de materia seca, en comparación con otras especies forrajeras cuyo requerimiento oscila entre 270 a 635 litros de agua para obtener 1 kilo de materia seca.

Se recomienda para futuros trabajos de producción de forraje hidropónico, la producción bajo sistema cerrado, es decir, bajo invernadero, con el fin de controlar variables climáticas como temperatura, humedad relativa y luz solar; pretendiendo con ello mejorar los rendimientos y valores nutricionales del forraje en estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Karaki, G. N., & Al-Momani, N. (2011). Evaluation of some barley cultivars for green fodder production and water use efficiency under hydroponic conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 7(3), 448-457.
- Al-Karaki, G. N., & Al-Hashimi, M. (2012). Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Conditions. *ISRN Agronomy*, 1–5. <https://doi.org/10.5402/2012/924672>
- AOAC 1996. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, (14 th ed).
- Araújo, J. D. S., de Oliveira, G. F., Lima, H. C., da Silva, J. S., Santos, L. D., de Souza, M. N.,... & Parente, M. (2018). Organic substrates for production of corn hydroponic forage for animal feed. *Academia Journal of Agricultural Research*, 6(2), 38-41.
- Bonilla, J., & Flores, C. L. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2), 215-246.
- Bradley, P., & Marulanda, C. (2001). SIMPLIFIED HYDROPONICS TO REDUCE GLOBAL HUNGER. *Acta Horticulturae*, 554, 289–296. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2001.554.31>.
- Caamal, C., & Valentín, V. (1997). Evaluación de métodos de desinfección de semillas y de duración del ciclo de cultivo de forraje verde hidropónico. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 74 p.
- Cabrejas, M. A., Díaz, M. F., Aguilera, Y., Benítez, V., Mollá, E., & Esteban, R. M. (2008). Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. *Food Chemistry*, 107(3), 1045-1052. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.09.020.

- Carballo, C. 2000. Manual de procedimientos para germinar granos para la alimentación animal (en línea). Culiacán, México. Recuperado el 14 de Junio de 2021, de <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/germinados.htm>.
- Carrasco, G., Ramírez, P., & Vogel, H. (2007). Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. *Idesia (Arica)*, 25(2), 59-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000200007>.
- Catálogo Netafim. (S.F). GYRONET™ LR & LRD. Netafim.com. Recuperado el 6 de mayo de 2021, de <https://www.netafim.com/4ab73d/en/bynder/9C964173-D0AA-4F6F-B12F95E709E21B0B-gyronet-lr--lrd--data-sheet.pdf>.
- Chang, M., Hoyos, M., & Rodríguez, A. (2000). Producción de forraje verde hidropónico. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú, 65-88.
- Crampton, E. W., & Harris, L. E. (1979). *Nutrición Animal Aplicada*. 2da edición. Acribia. Zaragoza, España.
- De García, M. S., & Gallardo, A. (2011). Guía para el análisis bromatológico de muestras de forrajes. Universidad de Panamá, PAN.
- Dosal, J. J. M. (1987). Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de avena producido bajo condiciones de hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.
- Dumont, J. C., Anrique, R., & 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. DOI: 10.4067/S0365-28072005000400005.
- FAO, Técnico, M (2002). *Forraje Verde Hidropónico*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América latina y el Caribe. Santiago: Caribe.

- Garcia, G. W., Ferguson, T. U., Neckles, F. A., & Archibald, K. A. E. (1996). The nutritive value and forage productivity of *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 60(1-2), 29-41. DOI: 10.1016/0377-8401(95)00922-1.
- Gorniak, S. L., Pfister, J. A., Lanzonia, E. C., & Raspantini, E. R. (2008). A note on averting goats to a toxic but palatable plant, *Leucaena leucocephala*. *Applied Animal Behaviour Science*, 111(3-4), 396-401. DOI: 10.1016/j.applanim.2007.06.005
- Harrison, M. T., McSweeney, C., Tomkins, N. W., & Eckard, R. J. (2015). Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agricultural Systems*, 136, 138-146. DOI: 10.1016/j.agsy.2015.03.003.
- Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Rios-Rincón, F. G., Reyes-Estrada, O., & Bernal-Barragán, H. (2010). Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia*, 35(4), 284-289.
- Hidalgo, L. (1985). Producción de forraje en condiciones de hidroponía. I. Evaluaciones preliminares en avena y triticale. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.
- Juárez López, P., Morales Rodríguez, H. J., Sandoval-Villa, M., Danés, A. A. G., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R.,... & Ortiz-Catón, M. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. *Revista Fuente nueva época Año*, 4(13).
- Kanani, J., Lukefahr, S. D., & Stanko, R. L. (2006). Evaluation of tropical forage legumes (*Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Leucaena leucocephala* and *Desmanthus bicornutus*) for growing goats. *Small Ruminant Research*, 65(1-2), 1-7. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.04.028.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). Sprinkle and trickle irrigation.

- Kochmann, S. B. (1976). Mejoramiento de la eficiencia reproductiva del ganado bovino para carne. Universidad A y M de Texas.
- Lomeli, Z. H. M. (2000). Forraje verde hidropónico. El forraje del futuro... Hoy. *Agrocultura*, 63, 15-18.
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., & Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121-126.
- Maldonado Torres, R., Álvarez Sánchez, M., Acevedo, D. C., & Ríos Sánchez, E. (2013). Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(2), 211-223.
- Meza Carranco, Z. (2005). Evaluación de variedades de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Muñoz, M., Muñoz, L., & Peñalver, L. (S.F). Evaluación del maíz (*Zea mays*) y la *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) en forraje verde hidropónico como solución a la alimentación de ganado. Trabajo de práctica integral. Universidad Surcolombiana, Sede Neiva-Huila.
- Morales Orueta, A. F. (1987). Forraje hidropónico y su fertilización en la alimentación de corderos precozmente destetados. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.
- Ndaru, P. H., Huda, A. N., Prasetyo, R. D., Shofiatun, U., Nuningtyas, Y. F., & Ndaru, R. K. (2020, April). Providing High Quality Forages with Hydroponic Fodder System. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 478, No. 1, p. 012054). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/478/1/012054
- NMX-O-084-SCFI (2001). Rociadores para riego presurizado – especificaciones y métodos de prueba (Irrigation sprayers – specifications and test methods).

- Ouwerkerk, D., Turner, A. F., & Klieve, A. V. (2008). Diversity of methanogens in ruminants in Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(7), 722-725. DOI: 10.1071/EA08049.
- Piñeiro-Vázquez, A. T., Jiménez-Ferrer, G. O., Chay-Canul, A. J., Casanova-Lugo, F., Díaz-Echeverría, V. F., Ayala-Burgos, A. J., ... & Ku-Vera, J. C. (2017). Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 228, 194-201. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009.
- Prince Arreola, R. (2014). Evaluación de la eficiencia en el control de hongos en FVH mediante el uso de productos químicos. Tesis de grado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Ramos, C. (1997). El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Fórum Internacional de Horticultura y Tecnología (Fitech), III FITECH-La automatización de la Hidroponía y Fertirrigación, Valencia (España).
- RESH H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España pp. 174-179.
- Rodríguez, H., Rodríguez, A., Flores, I., Sánchez, E., Grado, A., Grado, A., & Grado, A. (2003). Utilización del forraje verde hidropónico como suplemento para vacas lactantes durante la sequía. *Hidroponía. Lo más cerca del futuro*, 147-149.
- Rodríguez, S., & Cristina, A. (2003). Cómo producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados: forraje verde hidropónico (No. SB126. 5 R72).
- Rojas, G., M.; Rovalo, M. 1985. *Fisiología Vegetal Aplicada*. McGraw-Hill. D. F. 302 p.
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. D. C., & Cruz-Arellanes, E. L. (2009). Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(1), 67-73.

- Sanderson, M. A., Labreveux, M., Hall, M. H., & Elwinger, G. F. (2003). Nutritive value of chicory and English plantain forage. *Crop science*, 43(5), 1797-1804. DOI: 10.2135/cropsci2003.1797.
- Shelton, H. M., & Brewbaker, J. L. (1994). *Leucaena leucocephala*-the most widely used forage tree legume. *Forage tree legumes in tropical agriculture*. (Eds. RC Gutteridge and HM Shelton). CAB International. Wallingford, UK, 15.
- Sneath, R; Mcintosh, F. (2003). Review of hydroponic fodder production for beef cattle. On farm. Me at & Livestock Australia Limited. Australia. 54 p.
- Soca, M., Simón, L., Cáceres, O., & Francisco, A. G. (2000). Valor nutritivo del heno de árboles leguminosos. II. *Leucaena Leucocephala* CV. CNIA-250. *Pastos y Forrajes*, 23(2).
- Torres, D. (2013). Establecimiento de un invernadero para forraje verde hidropónico y siembra de dos gramíneas, maíz y avena, en la quinta experimental punzara. Universidad nacional de Loja. Área agropecuaria y de recursos naturales renovables. 13 p.
- Tovar Estrada, M. E (2014). Producción de forraje verde hidropónico/por Martha Esther Tovar Estrada (No. Tesis CD-417.).
- Valdivia, E. (1997, August). Producción de forraje verde hidropónico. In Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú (pp. 91-99).
- Valiente, O., Álvarez, R., Alonso, N., & Corrales, M. (2016). EVALUATION OF PERFORMANCE, BROMATOLOGICAL COMPOSITION AND DIGESTIBILITY IN VITRO GREEN WHEAT HYDROPONIC FORAGE HARVESTED (*Triticum* spp) AT 8 AND 10 DAYS. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6(2), 42–46. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.02.42-46>.
- Valoy, B. L., López, M. C., Navarro, M. V., Agüero, V. S., de la Ribera, J. R., Savón, L., & Sosa, W. (2012). Indicadores del valor nutritivo del Hidroforraje

de *Leucaena leucocephala* para la alimentación de conejos. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 13(2), 1-12.

- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Cornell university press.
- Vargas Rodríguez, C. F. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana, 19(2), 233. <https://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>
- Wheeler, R. A., Chaney, W. R., Johnson, K. D., & Butler, L. G. (1996). *Leucaena* forage analysis using near infrared reflectance spectroscopy. Animal Feed Science and Technology, 64(1), 1-9. DOI: 10.1016/S0377-8401(96)01047-4.

ANEXOS

Anexo A. Altura de la planta

Altura de plantas (cm)						
Bandeja	A1	A2	A3	A4	A5	Altura promedio (cm)
T1-1	8,3	8,4	9,1	8	8,5	8,46
T1-2	7,8	8	7,5	8,2	8,4	7,98
T1-3	8,5	8	8,6	8,1	8,3	8,3
T2-1	9,1	8,7	8	8,5	7,8	8,42
T2-2	8,6	9,5	8,5	8	8,3	8,58
T2-3	7,5	7,3	7,8	7,3	7,6	7,5
T3-1	9,1	8	8,8	8,5	8,7	8,62
T3-2	8	8,5	7,9	8,3	8	8,14
T3-3	9,1	8,9	8,2	8	8,5	8,54
T4-1	8,5	8,8	8	8,3	8,5	8,42
T4-2	8,5	8,7	9	9,3	8,9	8,88
T4-3	8,6	10	9,2	8,5	9	9,06
T5-1	9,2	8,8	9,4	8,6	9	9
T5-2	9,5	9	9,1	8,9	9,3	9,16
T5-3	9,5	9,7	9,5	8,7	9,8	9,44
T6-1	10,5	10,1	9,8	9,5	10,2	10,02
T6-2	8,9	10	9,5	9,7	10,1	9,64
T6-3	9,1	9,8	9,5	10	10,2	9,72

Anexo B. Peso fresco

Peso fresco del FVH (Kg)				
Bandeja	Peso total fresco (g)	Peso Tara (g)	Peso fresco (g)	Peso fresco (Kg)
T1-1	1093	222	871	0,871
T1-2	1115	230	885	0,885
T1-3	1269	224	1045	1,045
T2-1	1072	222	850	0,85
T2-2	1146	222	924	0,924
T2-3	1194	230	964	0,964
T3-1	1432	221	1211	1,211
T3-2	1350	230	1120	1,12
T3-3	1656	230	1426	1,426
T4-1	1345	221	1124	1,124
T4-2	1427	222	1205	1,205
T4-3	1431	231	1200	1,2
T5-1	1103	221	882	0,882
T5-2	1160	224	936	0,936
T5-3	1190	235	955	0,955
T6-1	1423	229	1194	1,194
T6-2	1455	222	1233	1,233
T6-3	1491	223	1268	1,268

Anexo C. Rendimiento

Rendimiento del FVH			
Bandeja	Peso fresco (Kg)	Área bandeja (m2)	Rendimiento (Kg/m2)
T1-1	0,871	0,0876	9,94
T1-2	0,885	0,0876	10,10
T1-3	1,045	0,0876	11,93
T2-1	0,85	0,0876	9,70
T2-2	0,924	0,0876	10,55
T2-3	0,964	0,0876	11,00
T3-1	1,211	0,0876	13,82
T3-2	1,12	0,0876	12,79
T3-3	1,426	0,0876	16,28
T4-1	1,124	0,0876	12,83
T4-2	1,205	0,0876	13,76
T4-3	1,2	0,0876	13,70
T5-1	0,882	0,0876	10,07
T5-2	0,936	0,0876	10,68
T5-3	0,955	0,0876	10,90
T6-1	1,194	0,0876	13,63
T6-2	1,233	0,0876	14,08
T6-3	1,268	0,0876	14,47

Anexo D. Relación de conversión

Relación de conversión			
Bandeja	Forraje producido (Kg)	Semilla utilizada (Kg)	Relación de conversión (Kg forraje/Kg semilla)
T1-1	0,871	0,3066	2,84
T1-2	0,885	0,3066	2,89
T1-3	1,045	0,3066	3,41
T2-1	0,85	0,3066	2,77
T2-2	0,924	0,3066	3,01
T2-3	0,964	0,3066	3,14
T3-1	1,211	0,3942	3,07
T3-2	1,12	0,3942	2,84
T3-3	1,426	0,3942	3,62
T4-1	1,124	0,3942	2,85
T4-2	1,205	0,3942	3,06
T4-3	1,2	0,3942	3,04
T5-1	0,882	0,3066	2,88
T5-2	0,936	0,3066	3,05
T5-3	0,955	0,3066	3,11
T6-1	1,194	0,3942	3,03
T6-2	1,233	0,3942	3,13
T6-3	1,268	0,3942	3,22

Anexo E. Materia seca

Materia seca	
Tratamientos	M.S (%)
T1-1	14,6
T1-2	20,6
T1-3	17,8
T2-1	21,9
T2-2	19,2
T2-3	20,4
T3-1	21,3
T3-2	22,8
T3-3	18,2
T4-1	22,5
T4-2	20,5
T4-3	19,8
T5-1	20,8
T5-2	19,9
T5-3	19,7
T6-1	19,2
T6-2	19,6
T6-3	20,5

Anexo F. Cenizas

Cenizas	
Tratamientos	Cenizas (%)
T1-1	19,51
T1-2	19,22
T1-3	17,35
T2-1	14,70
T2-2	17,69
T2-3	16,90
T3-1	18,01
T3-2	18,41
T3-3	17,42
T4-1	11,05
T4-2	18,44
T4-3	13,72
T5-1	19,79
T5-2	12,55
T5-3	20,57
T6-1	20,20
T6-2	15,76
T6-3	18,44

Anexo G. Proteína cruda

Proteína cruda base húmeda		Proteína cruda base seca
Tratamientos	PC BH (%)	PC BS (%)
T1-1	5,5	37,9
T1-2	7,7	37,3
T1-3	6,4	36,1
T2-1	7,9	36
T2-2	7	36,3
T2-3	7,6	37,3
T3-1	7,7	36,2
T3-2	10,4	45,6
T3-3	6,6	36,3
T4-1	8,3	36,8
T4-2	8,3	40,4
T4-3	7,8	39,2
T5-1	7,1	34,3
T5-2	7,1	35,7
T5-3	7	35,5
T6-1	6,1	32
T6-2	7	35,5
T6-3	6,8	33,2

Anexo H. Fibra cruda

Fibra cruda base húmeda		Fibra cruda base seca
Tratamientos	FC BH (%)	FC BS (%)
T1-1	2,5	16,8
T1-2	3,5	16,9
T1-3	2,9	16,3
T2-1	4,5	20,5
T2-2	3,4	17,9
T2-3	3,7	17,9
T3-1	3,5	16,5
T3-2	4	17,5
T3-3	3,2	17,6
T4-1	4,4	19,4
T4-2	3,6	17,6
T4-3	2,9	14,8
T5-1	3,7	18
T5-2	3,6	18,2
T5-3	3,4	17,5
T6-1	3,7	19,1
T6-2	3,5	18,1
T6-3	3,7	18,1

Anexo I. Aforos de agua utilizada

Día	Aforos Agua útil	
	ml utilizados D.S: 4.5 Kg/m2 FR:7 riegos	ml utilizados D.S: 3.5 Kg/m2 FR: 7 riegos
1	0	0
2	0	0
3	21	4,67
4	44,33	21
5	137,67	44,33
6	214,67	91
7	254,33	175
8	352,33	245
9	422,33	310,33
10	480,67	373,33
11	576,33	462
12	672	560
13	809,67	688,33
14	896	760,67

Anexo J. Desinfección de semillas



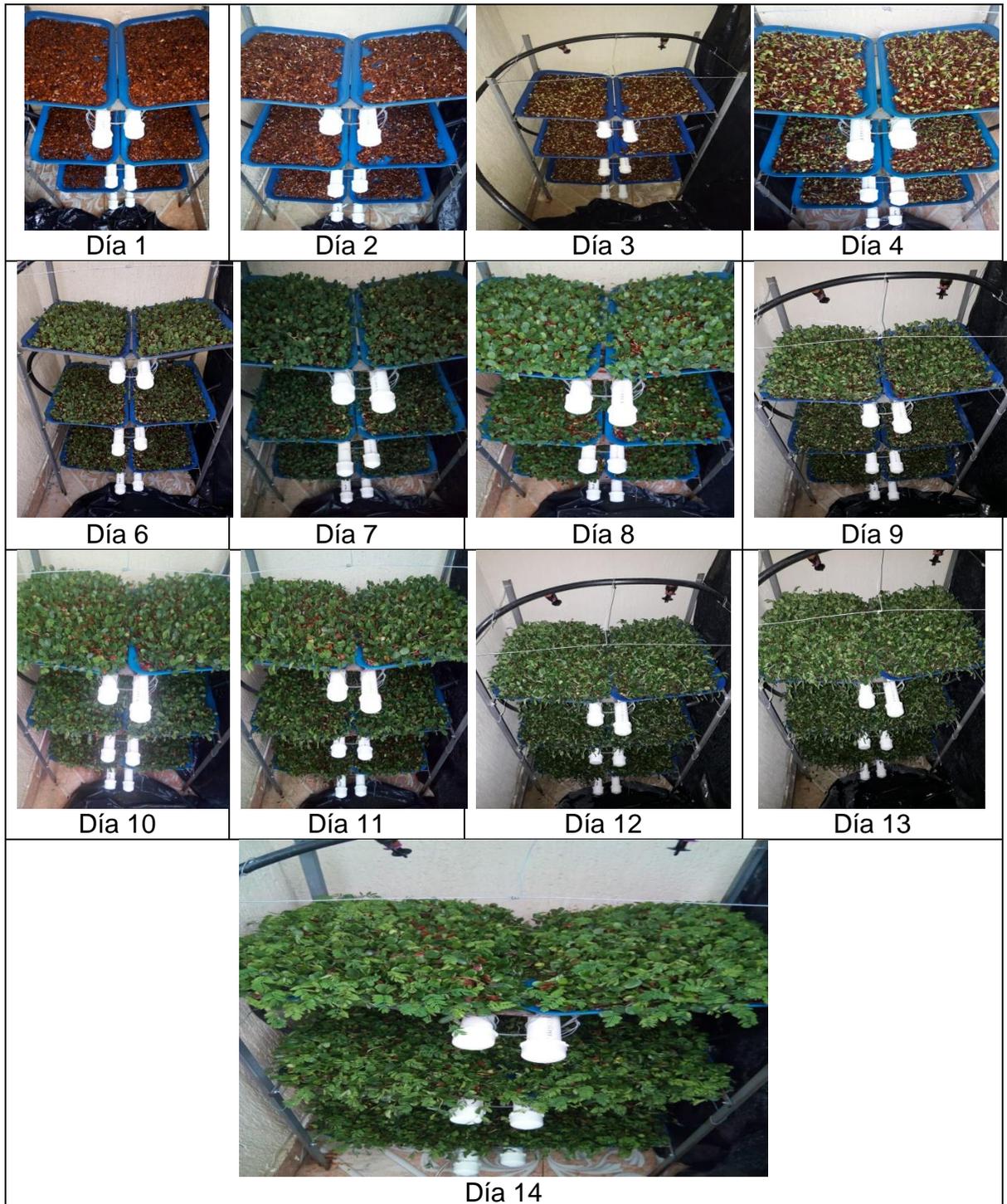
Anexo K. Germinación de semillas



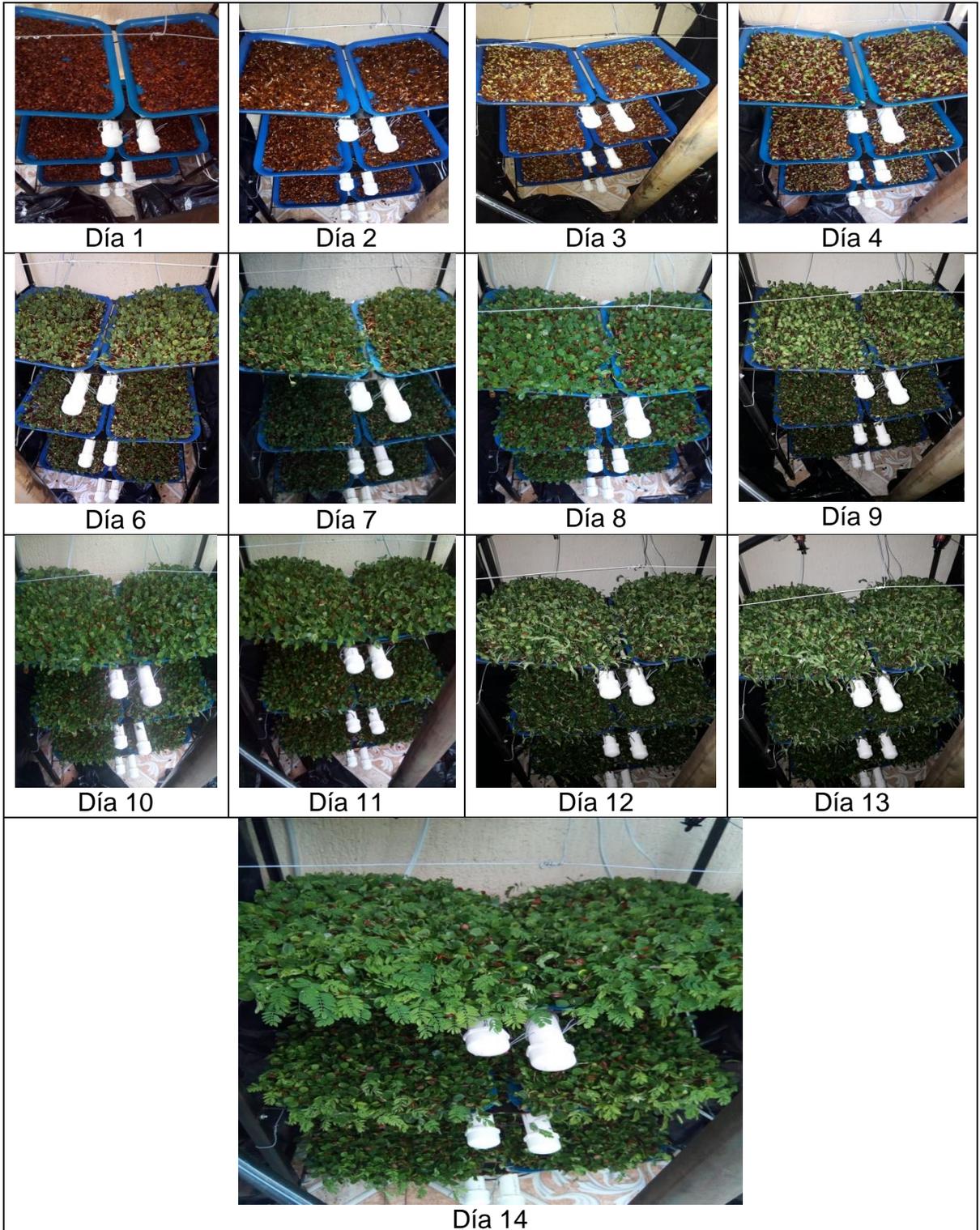
Anexo L. Aforos microaspersores y lámina de agua para bandeja



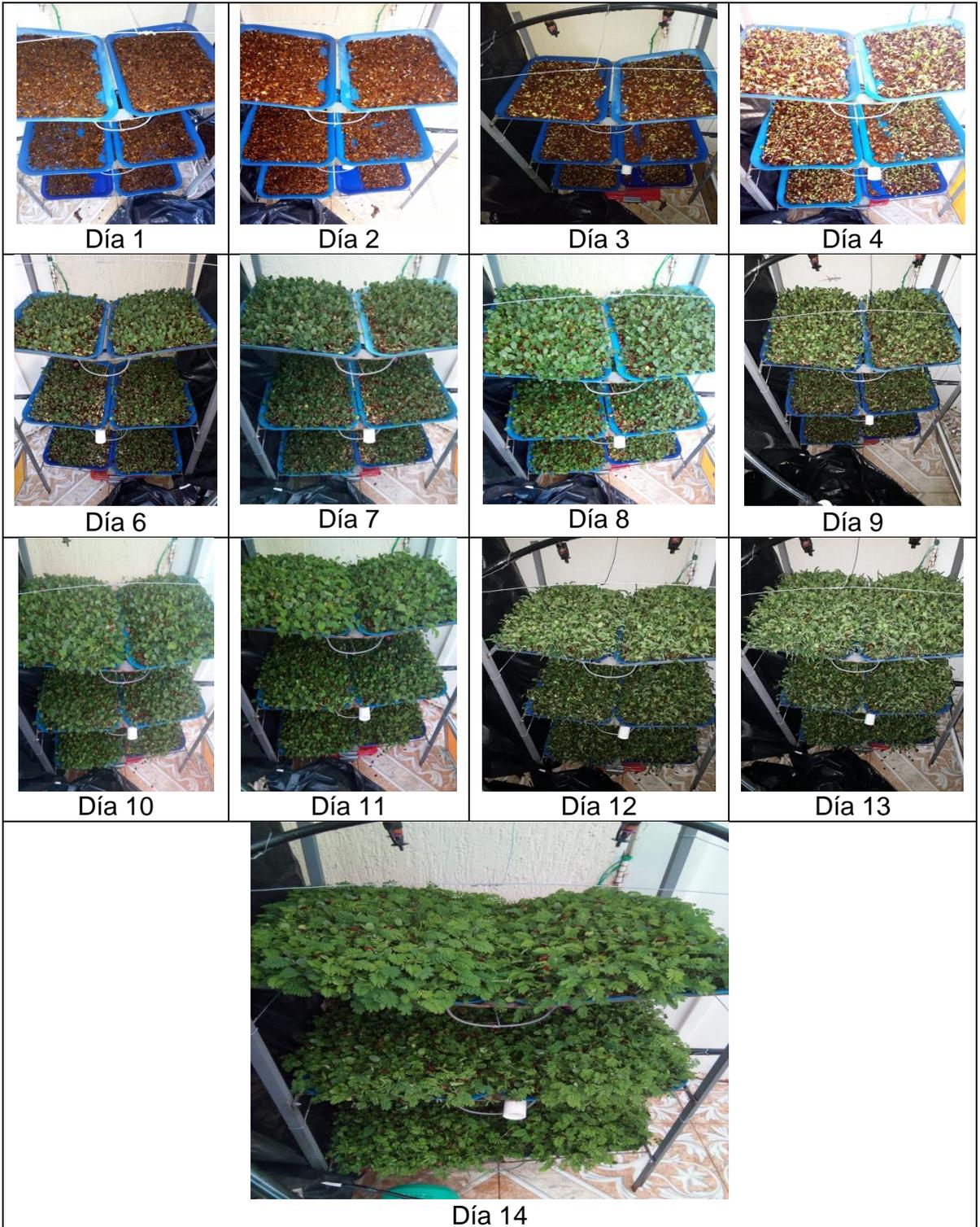
Anexo M. Desarrollo fenológico módulo 1



Anexo N. Desarrollo fenológico módulo 2



Anexo Ñ. Desarrollo fenológico módulo 3



Anexo O. Cosecha



Anexo P. Rotulado de muestras

